



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 2

MADEIRA ENGENHEIRADA EM ESTAÇÕES: INOVAÇÃO EM CONSTRUÇÃO
SUSTENTÁVEL DE BAIXO CARBONO

1. INTRODUÇÃO

Este artigo parte do entendimento de que as discussões sobre a crise climática exigem que a construção civil e a infraestrutura urbana revejam não apenas o desempenho de seus ativos em operação, mas também as escolhas materiais, os métodos construtivos e as cadeias produtivas que viabilizam sua implantação. Na infraestrutura metroferroviária, essa questão assume uma condição particular. Embora os sistemas sobre trilhos sejam reconhecidos por reduzir emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa) associadas à mobilidade urbana (BRASIL, 2024), sua implantação depende de obras complexas e com elevado consumo de materiais. Assim, a sustentabilidade do setor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

deve ser examinada também pela forma como os edifícios de superfície são projetados e construídos.

Historicamente, as grandes obras públicas desempenharam papel decisivo na consolidação de cadeias produtivas e na difusão de soluções construtivas, como ocorreu com o concreto armado e o aço (LAGE, 2017). Nesse sentido, o setor metroferroviário pode ser compreendido não apenas como consumidor de tecnologias já consolidadas, mas como indutor de novos sistemas produtivos e construtivos, especialmente quando estes respondem às exigências de sustentabilidade e industrialização.

É nesse contexto que se insere a madeira engenheirada, especialmente nas formas de madeira laminada colada (MLC) e madeira laminada cruzada (CLT), como tecnologia capaz de articular matéria-prima renovável, previsibilidade técnica e fabricação em ambiente controlado (OLIVEIRA, 2023; SOUSA, 2025; OLIVEIRA et al., 2024). Ao ampliar o repertório de soluções de baixo carbono para a construção civil, esses sistemas também podem abrir novas possibilidades para edifícios de superfície associados à infraestrutura metroferroviária.

Dessa forma, a hipótese que orienta este artigo é que a madeira engenheirada pode ser incorporada de forma tecnicamente fundamentada em componentes específicos da infraestrutura metroferroviária, a partir dos critérios normativos previstos na ABNT NBR 7190:2022 e na Instrução Técnica nº 08/2025 do Corpo de Bombeiros de São Paulo. Os



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

benefícios potenciais incluem rapidez de montagem, leveza dos componentes, redução de interferências na operação, menor geração de resíduos e qualificação espacial.

Para discussão e proposta de aplicação, o trabalho adota metodologia baseada em revisão bibliográfica, análise normativa, levantamento institucional e seleção de precedentes nacionais e internacionais. A síntese dessas fontes fundamentou a formulação de diretrizes preliminares para implantação, monitoramento da construção e avaliação de projetos-piloto em edificações metroferroviárias de superfície.

Com isso, busca-se demonstrar que a adoção da madeira engenheirada não deve ser entendida apenas como gesto simbólico, mas como possibilidade concreta e tecnicamente responsável de inovação arquitetônica, alinhada com objetivos de ESG (Ambiental, Social e Governança) e redução de GEE.

2. DIAGNÓSTICO

2.1 Histórico: Infraestrutura, Indústria e Arquitetura Pública

No Brasil, a construção pesada, composta pela infraestrutura de “rodovias, túneis, aeroportos, portos, ferrovias, metrovias [...]” (LAGE, 2017, p. 5), revela como a necessidade de viabilizar grandes obras impulsionou conhecimentos técnicos, frequentemente associados à colaboração com especialistas estrangeiros. Esse processo também exigiu o crescimento da capacidade produtiva nacional, fortalecendo indústrias e cadeias produtivas de grande escala. Como exemplo, destaca-se a consolidação da



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

indústria cimenteira nacional em meados dos anos 1920, essencial ao processo de industrialização e urbanização das décadas seguintes (LAGE, 2017).

Nesse contexto, os sistemas construtivos não apenas viabilizaram obras públicas, mas também passaram a expressar projetos políticos e institucionais de cada período, demonstrando a relação entre política, técnica construtiva e arquitetura. Em Brasília, a plasticidade do concreto armado tornou-se símbolo de modernidade e industrialização e, posteriormente, o concreto aparente passou a comunicar racionalidade e eficiência nas edificações públicas (CONTIER, 2015; ZEIN, 2005).

No setor metroferroviário, a implantação da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo constitui exemplo significativo dessa articulação. O projeto relacionou avanços técnicos decorrentes da colaboração com engenheiros alemães do consórcio, o crescimento urbano e econômico da cidade e a participação decisiva do arquiteto Marcello Fragelli, cuja atuação contribuiu para associar o uso do concreto armado à qualidade arquitetônica e espacial das estações (TERAZAKI, 2011).

O reconhecimento posterior dessas obras reforça que a infraestrutura também produz valor arquitetônico, social e patrimonial. Moraes e Oliveira (2017) registram que, em 2017, as estações da Linha 1-Azul Armênia, Liberdade, Portuguesa-Tietê e Santana foram tombadas pelo CONPRESP (Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo). A essa lista acrescentam-se,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ainda, aproximadamente 50 tombamentos de bens, conjuntos e estações ferroviários pelo CONDEPHAAT (SÃO PAULO, [s.d.]).

Dessa forma, o setor metroferroviário pode ser entendido não apenas como estrutura de engenharia e meio de transporte sustentável, mas também como agente ativo de estímulo à economia, ao desenvolvimento tecnológico e à produção de arquitetura pública. Essa trajetória indica que os compromissos institucionais assumidos pelo setor se materializam tanto na operação dos sistemas quanto nas escolhas construtivas e espaciais que configuram suas estações e edifícios associados. Atualmente, esses compromissos passam a se relacionar de modo mais direto à sustentabilidade ambiental, como será apresentado nos próximos tópicos.

2.2 Sustentabilidade, crise climática e compromissos do setor metroferroviário

Desde as primeiras discussões internacionais até o Acordo de Paris, o debate ambiental passou de uma preocupação genérica com a proteção da natureza para uma agenda voltada à governança climática, à redução de emissões e à transformação dos padrões produtivos (CHILETTO, 2021). Nesse cenário, a Agenda 2030 da ONU e seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) oferecem um marco importante para o setor metroferroviário, especialmente pelo ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), mas também pelos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para mitigação de GEE, o *World Green Building Council* (WGBC) defende uma abordagem baseada no “carbono de ciclo de vida inteiro”, englobando tanto o carbono operacional quanto o carbono incorporado dos materiais e seus impactos no fim de vida. A WGBC estabelece como meta que novas infraestruturas reduzam significativamente o carbono incorporado até 2030 e alcancem o nível líquido zero até 2050 (WORLD GREEN BUILDING COUNCIL, 2019). Essa abordagem é fundamental para o setor de transportes, uma vez que pátios, terminais, passarelas e edifícios operacionais passam a ter seu desempenho ambiental avaliado não apenas pela prestação do serviço, mas também pelas escolhas de projeto e cadeias produtivas associadas à sua implantação.

No contexto brasileiro, esses compromissos dialogam diretamente com a nova NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada), que estabelece o compromisso de reduzir as emissões líquidas de GEE em relação aos níveis de 2005. Especificamente no âmbito da mobilidade, orienta-se a neutralidade de emissões até 2050, elegendo o fortalecimento do modal ferroviário e o aumento da eficiência logística como estratégias centrais para a descarbonização (BRASIL, 2026).

Alinhado a essas diretrizes políticas e climáticas, o setor metroferroviário nacional passou a incorporar práticas sustentáveis e de inovação em seu escopo de atuação. Levantamento realizado nos portais institucionais das principais empresas operadoras e concessionárias de sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos no Brasil indica que a sustentabilidade já se consolidou como elemento de identidade do setor: das 14



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

instituições analisadas, 13 apresentam compromissos explícitos com o tema em suas diretrizes de governança (CBTU, 2024; METROFOR, [s.d.]; METRÔ-SP, [s.d.]; METRÔ-DF, 2026; CPTM, [s.d.]; MOTIVA, [s.d.]; LINHA UNI, 2024; METRÔ BH, [s.d.]; METRÔRIO, [s.d.]; TIC TRENDS, [s.d.]; TRENSURB, 2025; CTB, [s.d.]; SUPERVIA, [s.d.]; RIOTRILHOS, 2018). O conceito de inovação, por sua vez, aparece de forma desigual, identificado em 8 das 14 empresas.

As empresas analisadas foram selecionadas com base no Balanço do Setor Metroferroviário (ANPTrilhos, 2026) e, tratando-se de um levantamento preliminar destinado a identificar a presença dos temas sustentabilidade e inovação no repertório institucional do setor, não foram avaliadas todas as empresas nacionais do segmento.

Contudo, na maioria dos casos, tanto a sustentabilidade quanto a inovação permanecem associadas à operação dos sistemas. O Metrô de São Paulo, entretanto, amplia essa abordagem ao incorporar a dimensão construtiva, uma vez que sua “Instrução de Projeto de Acabamentos” estabelece expressamente a necessidade de “economia de recursos naturais e materiais e aplicação de técnicas inovadoras [...]” (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 2022, p.8).

A partir desse levantamento, foi possível identificar o engajamento do setor metroferroviário com a sustentabilidade em três níveis: o institucional, expresso nas missões e políticas de governança corporativa; o operacional e climático, associado à eficiência energética e modernização tecnológica; e o projetual e construtivo,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

relacionado às escolhas de materiais. Embora este último ainda seja o menos presente nos canais institucionais, ele é decisivo para a agenda de baixo carbono, pois interfere diretamente no impacto ambiental da infraestrutura urbana.

É precisamente nesse terceiro nível que se justifica a discussão sobre a madeira engenheirada como alternativa de aplicação em edifícios metroferroviários de superfície. Longe de representar uma substituição indiscriminada dos sistemas convencionais em aço e concreto, sua inserção propõe uma resposta técnica, regulamentada e responsável a uma agenda setorial que já reconhece a sustentabilidade e a inovação como premissas indissociáveis da infraestrutura contemporânea.

2.3 Construção Civil e Carbono Incorporado

A construção civil ocupa posição central na crise climática porque combina elevado consumo energético, uso intensivo de materiais, geração de resíduos e emissões distribuídas ao longo de todo o ciclo de vida das edificações e infraestruturas (LAGE, 2017; CHILETTO, 2021). Segundo o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), as emissões de GEE associadas aos edifícios representaram, em 2019, cerca de 21% do total mundial; quando consideradas apenas as emissões de CO₂, essa participação alcançou aproximadamente 31%. Esses valores incluem emissões diretas e indiretas provenientes do consumo de eletricidade, calor e emissões associadas à produção dos materiais da construção civil (CABEZA *et al.*, 2022).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Dados mais recentes da UNEP (*United Nations Environment Programme*) reforçam esse diagnóstico ao indicar que o setor de edifícios e construção representou, em 2023, aproximadamente 34% das emissões globais de CO₂ e 32% da demanda mundial de energia, permanecendo fora da trajetória necessária para o atendimento das metas do Acordo de Paris (UNEP, 2025).

No Brasil, essa discussão assume relevância porque a construção civil foi historicamente estruturada em torno do concreto armado, amplamente utilizado por sua disponibilidade, custo relativamente baixo, durabilidade e familiaridade técnica (LAGE, 2017). O problema, portanto, não se limita à intensidade de carbono do material por unidade de massa, mas à dependência histórica e ao emprego em grandes volumes, que tornam expressiva sua contribuição para as emissões de GEE (CABEZA *et al.*, 2022).

O WGBC aponta que o cimento responde por cerca de 7% das emissões globais de CO₂, enquanto o aço contribui com aproximadamente 7% a 9%, sendo parcela significativa dessas produções destinada à construção (WORLD GREEN BUILDING COUNCIL, 2019). Assim, a predominância do concreto armado não deve ser compreendida apenas como escolha técnica ou econômica, mas também como fonte de emissões incorporadas a ser enfrentada por estratégias de redução e substituição parcial.

Discutir carbono incorporado significa, portanto, deslocar parte da responsabilidade climática para as fases iniciais de planejamento e projeto, quando ainda é possível reduzir volumes, selecionar sistemas mais leves e especificar materiais de menor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

impacto, além de projetar para desmontagem e circularidade. No setor metroferroviário, essa abordagem é especialmente relevante para estações, acessos, passarelas, coberturas, pátios e edifícios técnicos, nos quais as decisões materiais podem influenciar diretamente o impacto ambiental da infraestrutura.

Diante desse cenário, discutir a madeira engenheirada não representa uma mudança temática, mas um desdobramento direto do problema identificado. Se a construção civil e a infraestrutura precisam reduzir suas emissões incorporadas, torna-se necessário investigar alternativas capazes de substituir parcialmente o uso de cimento e aço, sobretudo em edifícios e componentes de superfície. Produtos como MLC e CLT, quando provenientes de manejo sustentável e aplicados em componentes de longa vida útil, podem armazenar carbono biogênico e reduzir emissões associadas à produção de materiais convencionais (OLIVEIRA *et al.*, 2024).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Madeira Engenheirada: Ciclo Produtivo e Potencial Ambiental

A madeira engenheirada corresponde a um conjunto de produtos industrializados que combinam a matéria-prima madeira com processos de classificação, secagem, tratamento preservativo, seleção, colagem, prensagem, usinagem e controle de qualidade. Esses produtos partem da separação da madeira em peças menores para retirada de imperfeições e posterior recomposição por adesivos e/ou ligações



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

mecânicas, formando elementos de maior dimensão, resistência e estabilidade (OLIVEIRA, 2023; SOUSA, 2025).

Destacam-se neste artigo a MLC, também conhecida como *Glulam*, composta por lamelas coladas paralelamente para a fabricação de vigas, pilares e elementos curvos sob medida, e a madeira laminada colada cruzada, ou *Cross-Laminated Timber* (CLT), formada por camadas coladas perpendicularmente entre si, possibilitando aplicação em paredes e lajes (OLIVEIRA, 2023; CHILETTO, 2021).

O ciclo produtivo começa na origem da matéria-prima, proveniente de florestas plantadas de pinus e eucalipto, sem necessidade de utilização de espécies nativas (SOUSA, 2025; OLIVEIRA *et al.*, 2024). Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o país possui 7,83 milhões de hectares de eucalipto e 1,92 milhão de hectares de pinus (IBÁ, 2025), de forma que o contexto florestal apresenta potencial para produção de produtos engenheirados, embora seu uso estrutural dependa de manejo adequado (CHILETTO, 2021 apud LEITE, 2018).

No processo de fabricação da MLC e do CLT, é possível executar cortes, furos, encaixes e aberturas antes do envio ao canteiro, reduzindo improvisações, retrabalhos e resíduos (OLIVEIRA, 2023; CHILETTO, 2021). Na montagem, os componentes chegam pré-fabricados e preparados para içamento e fixação, favorecendo rapidez e menor interferência no canteiro (CHILETTO, 2021; OLIVEIRA, 2023; SOUSA, 2025).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

No contexto brasileiro, a durabilidade exige atenção em razão da umidade, da ação de fungos e do ataque de insetos como cupins e brocas. Por ser um material orgânico, a madeira pode sofrer degradação biológica, perda de resistência e redução da vida útil quando exposta a condições inadequadas (ROMAGNANO; BRAZOLIN, 2005). Dessa forma, devem-se adotar medidas construtivas e tratamentos preservativos, como evitar contato com o solo, exposição desnecessária à chuva e acúmulo de água.

Os tratamentos preservativos fungicidas e inseticidas são, em sua maioria, químicos, frequentemente impregnados sob pressão em autoclave, o que confere maior penetração do tratamento e ampliação da vida útil; porém, também torna a gestão ambiental mais complexa ao fim do ciclo de vida (BENEVENTE, 1994; CHILETTO, 2021).

Isso ocorre especialmente quando a madeira recebe preservativos químicos ou contém adesivos estruturais, uma vez que tratamentos como CCA e CCB demandam gerenciamento específico por conterem elementos potencialmente contaminantes, como cobre, cromo, arsênio e boro. O IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) aponta que a destinação em aterros preparados pode constituir alternativa controlada (ROMAGNANO; BRAZOLIN, 2005).

Entre os preservativos de desenvolvimento mais recente, o azol de cobre micronizado (MCA) passou a ser comercializado como alternativa aos produtos da primeira geração por não incorporar arsênio nem cromo ou boro. Entretanto, o MCA não deve ser



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

caracterizado como isento de impactos, mas como alternativa preservativa de perfil ambiental potencialmente mais favorável (AYANLEYE, 2023; SISLER et al., 2018).

A presença de adesivos e preservativos não anula o potencial ambiental do material, mas reforça a necessidade de prolongar a vida útil dos componentes, evitar deterioração precoce, projetar conexões reversíveis e viabilizar desmontagem e reutilização antes do descarte (ROMAGNANO; BRAZOLIN, 2005).

Do ponto de vista ambiental, o potencial da madeira engenheirada decorre de três fatores: o uso de matéria-prima renovável; o armazenamento temporário de carbono biogênico durante a vida útil dos componentes; e a possibilidade de substituir parcialmente materiais cuja produção exige maior quantidade de energia e gera emissões significativas. Gustavsson (2000 *apud* CHILETTO, 2021) indica que a madeira pode armazenar aproximadamente 1,10 tonelada de CO₂ por metro cúbico. No caso do CLT, uma avaliação *cradle-to-gate* de um produto canadense reportou impacto líquido de aproximadamente -678 kg CO₂eq/m³, considerando o carbono biogênico armazenado no produto (STRUCTURLAM PRODUCTS LP, 2013 *apud* PUETTMANN et al. 2019).

Comparações entre soluções estruturalmente equivalentes tornam mais evidente o benefício potencial da substituição de materiais. O CLT *Handbook* (2019) apresenta a avaliação de seis alternativas estruturais para um edifício residencial de quatro pavimentos, na qual a solução em concreto apresentou impacto climático de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

aproximadamente 100 kg CO₂eq/m² superior ao da alternativa em CLT, diferença equivalente a cerca de 10 toneladas de CO₂eq para uma unidade habitacional de 100 m² (SWEDISH WOOD, 2019, p. 14). Em uma avaliação *cradle-to-gate* de alternativas para um edifício comercial de médio porte, a solução em madeira laminada apresentou potencial de aquecimento global 71% inferior ao da solução equivalente em concreto armado (ROBERTSON *et al.*, 2012 *apud* PUETTMANN *et al.*, p. 19). Em relação ao consumo energético, estudos reunidos por Ayanleye (2023) indicam valores aproximadamente 12% e 20% superiores para sistemas em concreto e aço, respectivamente, quando comparados a sistemas construtivos em madeira (WANG *et al.*, 2014; LIANG *et al.*, 2020 *apud* AYANLEYE, 2023).

Esses resultados não podem ser transferidos diretamente para qualquer edificação ou para o contexto metroferroviário brasileiro, pois variam conforme as premissas metodológicas e as condições de produção e transporte. Ainda assim, as comparações demonstram que há potencial da MLC e do CLT na redução das emissões e do consumo energético pela substituição parcial de concreto e aço.

3.2 Normatização da Madeira e Resistência ao Fogo

Entre as barreiras culturais e técnicas associadas ao uso da madeira na construção civil, a segurança contra incêndio é uma das mais recorrentes, pois a combustibilidade do material ainda tende a ser confundida com fragilidade estrutural ou risco de colapso imediato (FELIX, 2020). Essa percepção não corresponde ao comportamento de peças



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

robustas de madeira engenheirada, que, quando expostas ao fogo, carbonizam superficialmente e formam uma camada isolante capaz de reduzir a propagação do calor para o núcleo da seção (OLIVEIRA, 2023).

No Brasil, esse campo avançou com a revisão da ABNT NBR 7190, publicada em 2022, que passou a ter um conjunto mais amplo de normas para estruturas de madeira. A Parte 1 da norma estabelece critérios gerais de dimensionamento, durabilidade e verificação em situação de incêndio, aplicáveis à madeira laminada colada e a painéis estruturais unidos por adesivos ou conectores mecânicos (ABNT, 2022).

As partes complementares da norma abrangem a classificação visual e mecânica das peças, a caracterização das propriedades da madeira, os ensaios de ligações, os métodos aplicáveis a conectores e a caracterização da madeira laminada colada e dos painéis de madeira laminada colada cruzada. Isso demonstra que a MLC e a CLT já estão inseridas no escopo regulatório nacional de projeto, fabricação e avaliação técnica (ABNT, 2022).

A segurança contra incêndio ganhou outro instrumento importante no Estado de São Paulo com a publicação da Instrução Técnica nº 08/2025, Parte 2, do Corpo de Bombeiros, dedicada aos sistemas construtivos em madeira. O documento classifica as construções em três tipos: madeira massiva totalmente protegida; madeira massiva aparente, exceto em *shafts* e espaços ocultos; e *wood frame* protegido por revestimentos contrafogo. Também estabelece TRRF (Tempo Requerido de Resistência



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

ao Fogo) de 60, 90 ou 120 minutos, conforme a altura e o tipo construtivo (SÃO PAULO, 2025).

Segundo a IT 08/2025, o dimensionamento das estruturas em situação de incêndio deve seguir a metodologia da ABNT NBR 7190, que dispõe de caminho regulatório baseado no dimensionamento da seção transversal residual, na possibilidade do uso de revestimentos e na comprovação por ensaios para demonstração da resistência do sistema ao fogo (SÃO PAULO, 2025; ABNT, 2022).

A seção transversal residual consiste na madeira que não foi carbonizada após incêndio, portanto, o cálculo prevê que, após o dimensionamento estrutural da peça, seja adicionada uma “espessura de segurança”, determinada pela expressão:

$$e_{ef} = e_{carb,n} + k_0 e_0$$

Em que $e_0 = 7\text{mm}$, $e_{carb,n} = \beta_n t$ (espessura carbonizada nominal) e $k_0 = 1,0$ para tempos de exposição iguais ou superiores a 20 minutos. Para o caso considerado, com taxa nominal de carbonização $\beta_n = 0,7$ e TRRF de 120 minutos, obtêm-se 84 mm de espessura carbonizada nominal e 91 mm de espessura efetiva a ser descontada (ou adicionada) em cada face exposta. A norma também admite métodos baseados no *Eurocode 5* ou resultados de ensaios laboratoriais (ABNT, 2022).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

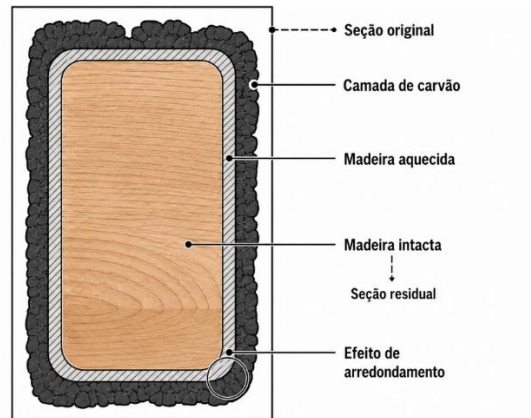


Figura 1 – Ilustração de carbonização de uma estrutura de madeira em situação de incêndio. Fonte: elaborado pelo autor com auxílio de ferramenta de IA (2026).

As ligações merecem atenção especial, pois podem constituir pontos mais vulneráveis que os próprios elementos maciços, sobretudo quando conectores metálicos ficam expostos ao calor ou quando falhas de detalhamento permitem a propagação das chamas por juntas, interfaces e cavidades (FPINNOVATIONS, 2019; FELIX, 2020).

A ABNT NBR 7190-1 estabelece que conectores metálicos possam ser embutidos no interior dos elementos estruturais ou que recebam proteção compatível com o TRRF exigido quando expostos (ABNT, 2022). A IT 08/2025 reforça esse entendimento ao determinar que as ligações não comprometam o tempo de resistência ao fogo da estrutura e que as soluções adotadas atendam às prescrições da própria Instrução (SÃO PAULO, 2025).

A IT 08/2025 não permite a construção de subsolos em madeira e exclui de seu campo de aplicação determinadas divisões de risco, incluindo túneis. Desse modo, a normatização brasileira recente permite afirmar que a madeira engenheirada dispõe de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

base técnica para ser projetada com segurança em estações, coberturas e edifícios associados localizados sobre o solo.

3.3 Precedentes Nacionais e Internacionais

A aplicação da madeira engenheirada no Brasil é recente em relação ao cenário europeu e norte-americano, mas já deixou de ser apenas experimental, como indicam o avanço normativo e a produção nacional em obras de pequeno e grande porte.

Entre os precedentes nacionais, destacam-se a Escola Parque EMEI Cleide Rosa Auricchio, do escritório Carolina Penna Arquitetos, em São Caetano do Sul, que utiliza estrutura em MLC em cobertura circular de aproximadamente 40 metros de diâmetro (OLIVEIRA, 2023), e as Moradias Infantis da Fundação Bradesco, de Rosenbaum, em Canuanã, projetadas em MLC para conjunto educacional de grande escala, com cerca de 1.100 m³ de madeira reflorestada (ROSENBAUM, [s.d]). Em conjunto, esses exemplos demonstram que o sistema pode atender obras de grande porte, conciliando desempenho estrutural, qualidade ambiental e expressão arquitetônica.

Esse repertório também aparece em edifícios comerciais de menor porte, nos quais a tecnologia se mostra compatível com a escala urbana, como na loja conceito da Dengo Chocolates, em São Paulo, com quatro pavimentos e aproximadamente 1.500 m² (OLIVEIRA, 2023), e no McDonald's Paraíso, na Avenida Bernardino de Campos, com cerca de 565 m² (URBEM, [s. d.]). Esses casos oferecem referências úteis para projetos metroferroviários, pois demonstram que o sistema construtivo não precisa ser aplicado



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

somente em projetos que buscam monumentalidade, podendo constituir também o repertório de obras de menor custo e escala para programas e estações secundárias.

No cenário internacional, a aplicação em infraestruturas de transporte encontra referências mais diretas, como a estação *Brent Cross West*, em Londres, cuja cobertura em MLC atinge cerca de 13 metros de altura e utiliza aproximadamente 150 m³ de madeira (STUDIO EGRET WEST, [s.d.]); a estação *Ede-Wageningen*, nos Países Baixos, que adota cobertura formada por triângulos e articula estação, bicicletário, comércio e plataformas (MECANOO, [s.d.]); e a *Anzac Station*, na Austrália, com uma cobertura de 84 metros por 20 metros (WOODSOLUTIONS, [s.d]).

Desse modo, os precedentes analisados permitem concluir que a madeira engenheirada já dispõe de repertório técnico e arquitetônico para subsidiar aplicações em equipamentos de transporte e reforçam sua pertinência para espaços de grande circulação. Sua incorporação ao contexto metroferroviário brasileiro deve ser adaptada às normas e ao clima local, em um movimento de valorização crescente desse material e de seus benefícios construtivos e ambientais, já apresentados ao longo do artigo.

3.4 Diretrizes para Introdução da Madeira Engenheirada no Setor Metroferroviário

O desenvolvimento dos tópicos anteriores indica justificativas sólidas que sustentam os benefícios do sistema construtivo em madeira engenheirada para o setor metroferroviário, entre elas: as evidências do potencial ambiental e a adequação aos objetivos internacionais, nacionais e setoriais de sustentabilidade (tópicos 2.2 e 3.1); a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

existência de aparato normativo sólido (tópico 3.2); e a demonstração de precedentes que corroboram o entendimento de uma cadeia produtiva capaz de atender obras metroferroviárias e ser ampliada por elas (tópicos 2.1 e 3.3).

Com isso, é possível propor diretrizes para a introdução da madeira engenheirada em projetos de infraestrutura metroferroviária por meio da abertura de um processo capaz de mensurar o sistema construtivo a partir de: seu desempenho ambiental; ganhos de produtividade no canteiro; impactos financeiros; e percepção dos usuários.

As diretrizes de aplicação são organizadas em seis passos, que abrangem desde atividades anteriores ao início do projeto-piloto até a avaliação pós-construção: capacitação interna; definição da unidade construtiva; aplicação da matriz Go/No-Go; definição de metas; monitoramento da fabricação e montagem; e avaliação pós-construção. Ressalta-se que a etapa de “Definição de metas” poderá ser substituída por uma análise comparativa com sistemas construtivos convencionais, após as primeiras experiências do setor com a técnica.

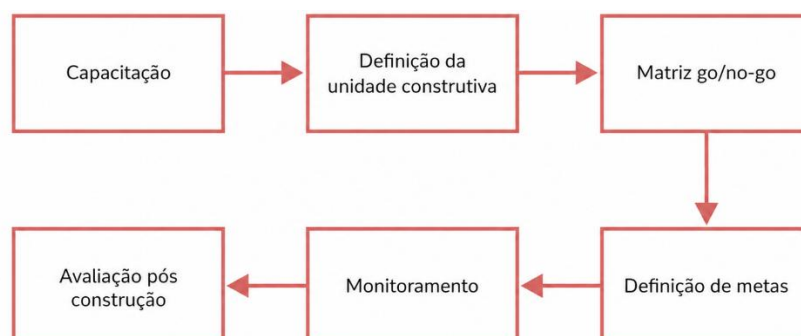


Figura 2 – Roteiro para implementação de projetos-piloto. Fonte: elaborado pelo autor com auxílio de ferramenta de IA (2026).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A fase de “Capacitação” tem como objetivo assegurar que as empresas e equipes envolvidas na definição do projeto, na execução ou no acompanhamento da obra possuam conhecimento suficiente sobre o sistema construtivo de madeira engenheirada para orientar o processo decisório. Para isso, recomenda-se a formação de uma equipe multidisciplinar, composta por representantes de projeto, operação, manutenção, orçamento, contratação e fiscalização, a ser capacitada por workshops e cursos com fabricantes, projetistas, pesquisadores, Corpo de Bombeiros e consultores independentes. Uma vez que ainda persistem barreiras culturais em relação ao material, é importante que esses profissionais esclareçam suas potencialidades e orientem adequadamente sua aplicação.

A Tabela 1 busca orientar a “Definição da Unidade Construtiva” a ser adotada no projeto-piloto, considerando sua complexidade e sua adequação às características do sistema construtivo. Nesse momento, orientam-se aplicações de menor escala, menor complexidade construtiva e normativa e maior visibilidade pública.

Tabela 1 – Priorização das aplicações da madeira engenheirada. Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Aplicação	Potencialidade	Condicionantes principais
Acessos térreos de estações e bicicletários	Alta	Escala controlada, possível modulação e baixa interferência; exigem proteção contra intempéries e vandalismo.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Plataformas abertas e marquises	Alta	Grandes vãos, montagem rápida e visibilidade; requerem atenção a ligações, drenagem e operação.
Retrofits de estruturas	Alta a média	Baixo peso e conexões secas; dependem da capacidade dos apoios e de janelas operacionais.
Passarelas cobertas	Média	Pré-fabricação e menor peso; exigem controle de vibração, fadiga e intempéries.
Edifícios administrativos, de apoio ou técnicos	Média	Maior complexidade de instalações, compartimentação e múltiplos pavimentos.
Túneis e estruturas subterrâneas	Não elegível	Fora do escopo da IT 08 do Corpo de Bombeiros de São Paulo.

A escolha preliminar deve partir da Tabela 1 e das condições específicas do empreendimento. Bicicletários, abrigos, marquises, pequenas coberturas e acessos térreos tendem a ser mais adequados às primeiras experiências. Já passarelas, edifícios e acessos mais complexos dependem de maior grau de confiança e familiaridade dos envolvidos com o sistema construtivo.

Em seguida, a aplicação escolhida deve ser submetida a uma verificação de elegibilidade por meio de uma matriz Go/No-Go, destinada a identificar impedimentos técnicos, normativos, logísticos ou operacionais antes do avanço para as etapas seguintes. O resultado Go permite prosseguir para a definição das metas e dos requisitos; Reformular



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

indica a necessidade de revisão e nova avaliação; e No-Go encerra a alternativa nas condições analisadas.

Tabela 2 – Matriz Go/No-Go. Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Critério	Go	Reformular	No-Go
Enquadramento normativo	Aplicação sobre o solo e compatível com as normas	Ajustes de configuração ou compartimentação	Condição excluída ou incompatível
Durabilidade	Controle de água, umidade e secagem	Revisão de cobertura, drenagem ou interfaces	Exposição não controlável
Transporte e montagem	Logística compatível	Segmentação ou revisão da sequência	Impossibilidade física ou risco elevado
Operação ferroviária	Interferências controláveis	Revisão de janelas e métodos	Risco operacional inaceitável
Viabilidade ambiental preliminar	Indícios de redução de emissões	Benefícios ambientais incertos ou dependentes das distâncias de transporte	Impactos previstos superiores aos do sistema de referência
Capacidade de fornecimento e contratação	Existência de fabricantes e projetistas qualificados	Necessidade de ampliar consultas ao mercado	Ausência de fornecedores aptos

Na fase inicial de decisão, é possível que ainda não haja informações suficientes para a análise de todos os critérios. Podem existir, por exemplo, incertezas quanto ao local de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

implantação, o que impede o diagnóstico de condições específicas capazes de dificultar a movimentação de elementos pré-fabricados de grandes dimensões. Por esse motivo, a matriz pode e deve ser consultada ao longo do projeto, orientando eventuais reformulações para viabilizar as condições necessárias ao sistema.

Uma vez aprovada a aplicação, deve-se avançar para a fase de “Definição de Metas”, que, como indicado anteriormente, poderá se transformar em “Análise Comparativa” após a consolidação das informações obtidas nos projetos-piloto.

Nesse momento, as metas têm a função de estabelecer referências de custo e expectativas de desempenho do sistema quanto à economia nas fundações, à redução do cronograma e às métricas ambientais. Além disso, devem ser estabelecidas condições relativas à origem da matéria-prima, aos métodos preservativos, ao controle de qualidade da produção e à logística, formando bases contratuais para construtoras, fabricantes e prestadores de serviço.

Tabela 3 – Metas e requisitos do projeto-piloto. Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Categoria	Definição prévia	Uso posterior
Viabilidade econômica	Valor máximo para projeto, fabricação, transporte, montagem e fiscalização	Controle de custos na implantação
Fundações	Meta de redução de volume ou custo, quando aplicável	Verificação no projeto e na consolidação
Montagem e operação	Meta de redução de prazo e limite de interdições	Controle da montagem e da operação



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Origem da madeira	Procedência, rastreabilidade e manejo responsável	Especificação, fiscalização e recebimento
Preservação e durabilidade	Método preservativo, exposição e inspeção	Contrato, controle de fabricação e avaliação pós-obra
Logística	Embalagem, transporte, içamento, armazenamento e umidade	Plano logístico e acompanhamento da obra
Qualidade	Classes, tolerâncias, ensaios, certificados e critérios de aceitação	Plano de qualidade e inspeção
Desempenho ambiental	Metas para emissões de GEE, carbono biogênico armazenado, resíduos, transporte e potencial de reuso	Comparação com sistemas construtivos convencionais e consolidação dos resultados ambientais

As metas econômicas e construtivas devem orientar o projeto, o cronograma, o plano de montagem e as interdições, enquanto os requisitos relativos à produção das peças devem compor o aparato contratual. Esse aparato deve estabelecer critérios para que o fornecedor comprove origem, resistência, umidade, adesivos e preservativos utilizados, ligações, ensaios, transporte, armazenamento, garantias e manual de manutenção.

Na fase seguinte, dedicada ao “Monitoramento” durante o projeto e a construção, verifica-se o cumprimento das metas estabelecidas na etapa anterior e dos requisitos formalizados em contrato. Essa verificação ocorre por meio do acompanhamento do



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

projeto, da fabricação, do transporte, do armazenamento, da montagem e do recebimento, com registro dos desvios identificados e de suas respectivas causas.

Tabela 4 – Monitoramento da implantação. Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Fase	Aspectos acompanhados	Evidências e avaliação
Projeto	Orçamento, impacto nas fundações, prazo, interdições e acesso para manutenção	Orçamentos, memórias, cronograma e revisão de projeto, comparados às metas
Fabricação	Origem, preservação, resistência, umidade, tolerâncias e não conformidades	Certificados, ensaios, medições e relatórios de qualidade
Transporte e recebimento	Proteção, manuseio, umidade, danos e deformações	Plano logístico, registros fotográficos e inspeção de recebimento
Armazenamento	Apoio, cobertura, ventilação e contato com água ou solo	Diário de obra e inspeções
Montagem	Prazo, produtividade, interdições, adaptações e segurança	Cronograma realizado, relatórios operacionais e registros técnicos
Implantação	Custos, resíduos e destinação	Medições, relatório financeiro e controle de resíduos
Consolidação ambiental	Emissões de GEE, carbono biogênico armazenado, consumo de materiais, transporte, perdas e destinação dos resíduos	Inventário final da implantação e comparação com as metas e com o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

		sistema construtivo de referência
--	--	--------------------------------------

É importante destacar que eventuais desvios em relação às metas estabelecidas na etapa anterior podem estar associados ao caráter inédito da operação. Nesse sentido, os registros obtidos permitem distinguir limitações próprias do sistema de dificuldades decorrentes da primeira experiência, contribuindo para a atualização das diretrizes em novos empreendimentos.

Após a entrega, a avaliação deve verificar se as metas de implantação foram alcançadas sem comprometer o desempenho do empreendimento. A essa análise devem ser incorporadas a percepção pública em relação à intervenção e a consolidação das métricas ambientais definidas.

Tabela 5 – Avaliação pós-construção. Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Dimensão	Indicadores principais	Forma de avaliação
Estrutura e vibração	Deformações, deslocamentos, fissuras e vibrações	Inspeções, medições e registros de ocorrências
Ligações	Afrouxamento, deformações e corrosão	Inspeção técnica e registros fotográficos
Umidade e preservação	Teor de umidade, infiltrações, acúmulo de água e conservação do tratamento	Medições, sensores quando necessários e inspeção visual
Degradação biológica	Fungos, cupins, brocas ou apodrecimento	Inspeção periódica e avaliação especializada



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Manutenção e custos	Frequência, complexidade e custo das intervenções	Gestão de ativos, ordens de serviço e registros financeiros
Operação e qualidade espacial	Restrições de uso, aparência, conforto e integração urbana	Registros operacionais, avaliação técnica e consulta aos usuários
Repetibilidade	Possibilidade de padronização e aplicação em outros ativos	Avaliação multidisciplinar
Satisfação pública	Percepção dos usuários, sensação de segurança, qualidade espacial, identidade arquitetônica e aceitação do uso da madeira	Pesquisas de satisfação e análise comparativa com outros ativos do sistema
Desempenho ambiental	Emissões de GEE do ciclo de vida, carbono biogênico armazenado, potencial de desmontagem, reuso ou reciclagem	Atualização da avaliação de ciclo de vida, documentação dos fornecedores e comparação com o sistema de referência

A avaliação deve distinguir falhas de projeto, fabricação, transporte, montagem e manutenção. Com isso, os resultados da pós-construção passam a constituir base para revisar especificações, aperfeiçoar detalhes construtivos e decidir sobre novas aplicações.

Ao final do acompanhamento, os resultados devem ser confrontados com as metas estabelecidas, de modo a identificar benefícios, limitações, desvios e suas causas, bem como possibilitar a comparação com sistemas já comumente utilizados.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O objetivo, entretanto, não é buscar um material superior em todos os critérios, mas verificar se a madeira engenheirada se apresenta, de fato, como alternativa ambientalmente menos prejudicial e se o balanço entre pontos positivos e negativos permite consolidá-la como técnica construtiva viável para o setor. Além disso, sua adoção pode representar, em nível simbólico, o compromisso público e privado com as agendas de sustentabilidade.

Dessa forma, o projeto-piloto deve gerar um relatório técnico contendo lições aprendidas, base de custos e prazos, especificações, detalhes padronizados, requisitos de contratação, protocolos de inspeção e cadastro de fornecedores. Esse conjunto de informações estabelece uma base para a consolidação institucional da técnica, de modo que o uso da madeira engenheirada deixe de depender apenas de precedentes externos e passe a se sustentar em dados produzidos pelas próprias instituições nacionais, em condições reais de projeto.

4. CONCLUSÕES

Ao longo do artigo, verificou-se que o setor metroferroviário é historicamente capaz de induzir cadeias produtivas e consolidar sistemas construtivos, podendo assumir esse papel diante da crise climática ao orientar escolhas materiais e processos de obra em edifícios de superfície associados ao transporte sobre trilhos.

Na fase de diagnóstico e resultados, constatou-se que essa possibilidade encontra apoio em políticas públicas, compromissos climáticos e diretrizes institucionais, enquanto a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

madeira engenheirada se justifica a partir de seu desempenho ambiental e das normas técnicas já disponíveis, sobretudo quanto à segurança contra incêndio. Do ponto de vista ambiental, a MLC e o CLT apresentam potencial por utilizar matéria-prima renovável, manter carbono biogênico estocado e reduzir impactos em comparação a sistemas convencionais em aço e concreto, desde que sejam assegurados manejo florestal adequado, controle das distâncias de transporte e soluções responsáveis para o fim de vida, preferencialmente por desmontagem, reutilização e prolongamento da vida útil dos componentes.

Por fim, foi proposta uma metodologia composta por seis etapas: capacitação interna; definição da unidade construtiva; aplicação da matriz Go/No-Go; definição de metas; monitoramento da fabricação e montagem; e avaliação pós-construção. Essa metodologia apresenta um caminho possível para aplicação e verificação da madeira engenheirada como um sistema construtivo ambientalmente benéfico, construtivamente viável e potencial resultado simbólico do compromisso setorial com questões ambientais. Além disso, ao incorporar esse método construtivo ao repertório da infraestrutura, é possível estimular o desenvolvimento industrial do material, contribuindo para uma cadeia produtiva sustentável e alternativa.

Conclui-se que a madeira engenheirada reúne condições técnicas, normativas e ambientais suficientes para ser avaliada em projetos-piloto de edificações metroferroviárias de superfície, especialmente em aplicações de menor complexidade



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

e elevada compatibilidade com a pré-fabricação. Sua consolidação no setor, entretanto, deve depender dos resultados mensuráveis desses projetos quanto a emissões, custos, prazos, manutenção e percepção dos usuários. Assim, a contribuição proposta não está na substituição total dos sistemas convencionais, mas na construção de uma base nacional de conhecimento capaz de orientar aplicações futuras.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABNT NBR 7190-1 a ABNT NBR 7190-7: projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES DE PASSAGEIROS SOBRE TRILHOS (ANPTRILHOS). *Balanço do setor metroferroviário no Brasil 2025*. Brasília, DF: ANPTrilhos, 2026. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/wp-content/uploads/2026/04/anptrilhos-balanco-setor-2025-5.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2026.

AYANLEYE, Samuel Oluwafemi. *Development of preservative-treated cross-laminated timber and lignin-reinforced polyurethane-adhesive for glued laminated timber*. 2023. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) — Mississippi State University, Mississippi State, 2023. Disponível em: <https://scholarsjunction.msstate.edu/td/5907/>. Acesso em: 9 jul. 2026.

BENEVENTE, Varlete Aparecida. *Durabilidade em construções de madeira: uma questão de projeto*. 1994. 231 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18131/tde-10112025-121923/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

BRASIL. *Brazil's NDC: national determination to contribute and transform*. Brasília, DF: Governo Federal, 2024. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/2024-11/Brazil_Second%20Nationally%20Determined%20Contribution%20%28NDC%29_No_vember2024.pdf. Acesso em: 4 jul. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; Ministério dos Transportes; Ministério de Portos e Aeroportos; Casa Civil da Presidência da República. *Plano Clima Mitigação: Plano Setorial de Transportes*. Brasília, DF: MMA; MCTI; MT; MPor; CC/PR, 2026. 110 p. ISBN 978-85-7738-



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

582-9. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/mudanca-do-clima/plano-setorial-transportes.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2026.

CABEZA, Luisa F. et al. Buildings. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2022: mitigation of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. p. 953-1048. DOI: 10.1017/9781009157926.011.

CHILETTO, Tatiana de Oliveira. *Habitações de madeira: investigação do Cross-Laminated Timber como alternativa para o morar sustentável no Brasil*. 2021. 260 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-03022022-105936/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS. *Missão, visão e valores*. Brasília, DF: CBTU, 11 jul. 2024. Atualizado em: 28 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/cbtu/pt-br/a-cbtu/missao-visao-e-valores>. Acesso em: 24 jun. 2026.

COMPANHIA CEARENSE DE TRANSPORTES METROPOLITANOS. *Sustentabilidade*. Fortaleza: Metrofor, [s. d.]. Disponível em: <https://www.metrofor.ce.gov.br/category/sustentabilidade/>. Acesso em: 24 jun. 2026.

COMPANHIA DE TRANSPORTES DO ESTADO DA BAHIA. *Missão, visão e competências*. Salvador: CTB, [s. d.]. Disponível em: <https://www.ba.gov.br/trilhos/11/missao-visao-e-competencias>. Acesso em: 24 jun. 2026.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. *Instrução de projeto de acabamento de estações de metrô e monotrilho*. Documento técnico IP-9.00.00.00/3B3-001, revisão G. São Paulo: Metrô, 2022.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. *Conduta e integridade*. São Paulo: Metrô, [s. d.]. Disponível em: <https://governancacorporativa.metrosp.com.br/Paginas/Conduta-e-Integridade.aspx#missao>. Acesso em: 24 jun. 2026.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DO DISTRITO FEDERAL. *Regimento interno do Metrô-DF*. Brasília, DF: Metrô-DF, 2026. Disponível em: https://metro.df.gov.br/pdfs/REGIMENTO%20INTERNO%20DO%20METR%C3%94_VF_08042026.pdf. Acesso em: 24 jun. 2026.

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS. *Quem somos*. São Paulo: CPTM, [s. d.]. Disponível em: <https://www.cptm.sp.gov.br/cptm/Institucional/quem-somos>. Acesso em: 24 jun. 2026.

CONCESSIONÁRIA LINHA UNIVERSIDADE S.A. *Código de ética e conduta: política da Concessionária Linha Universidade*. Revisão 03. São Paulo: Concessionária Linha Universidade, 8 jul. 2024. Disponível em: <https://linhauni.s3.dualstack.sa-east-1.amazonaws.com/portal/linhauni-portal/public/media/page/content/files/20241028153926827-C%C3%B3digo%20de%20C%C3%A9tica.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2026.

CONTIER, Felipe de Araujo. *O edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo na Cidade Universitária: projeto e construção da Escola de Vilanova Artigas*. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102132/tde-23032016-120753/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE S.A. *Carta de serviços ao usuário*. Porto Alegre: Trensurb, 8 ago. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/trensurb/pt-br/servicos/carta-de-servicos-ao-usuario>. Acesso em: 24 jun. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

FELIX, Patrícia Meira de Alcântara Costa. *Parâmetros de projeto para segurança contra o incêndio do sistema construtivo em Cross Laminated Timber (CLT)*. 2020. 199 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-08042021-231422/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

FPINNOVATIONS. *Canadian CLT handbook*. 2. ed. Pointe-Claire, QC: FPInnovations, 2019. 2 v. Disponível em: <https://web.fpinnovations.ca/clt/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. *Relatório anual 2024*. São Paulo: IBÁ, 2024. Disponível em: <https://iba.org/wp-content/uploads/2025/05/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2026.

LAGE, Raquel Rodrigues. *A construção pesada brasileira*. 2017. 407 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-26042018-122429/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

MECANOO. *Ede-Wageningen Train Station*. Delft: Mecanoo, [s. d.]. Disponível em: <https://www.mecanoo.nl/Projects/project/173/Ede-Wageningen-Train-Station>. Acesso em: 4 jul. 2026.

METRÔ BH. *Institucional*. Belo Horizonte: Metrô BH, [s. d.]. Disponível em: <https://www.metrobh.com.br/institucional/>. Acesso em: 24 jun. 2026.

METRÔRIO. *Responsabilidade social*. Rio de Janeiro: MetrôRio, [s. d.]. Disponível em: <https://www.metrorio.com.br/Empresa/ResponsabilidadeSocial>. Acesso em: 24 jun. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

MORAES, Ewerton Henrique de; OLIVEIRA, Eduardo Romero de. O patrimônio ferroviário nos tombamentos do Estado de São Paulo. *Memória em Rede*, Pelotas, v. 9, n. 16, p. 18-42, jan./jun. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/Memoria/article/view/9719>. Acesso em: 4 jul. 2026.

MOTIVA. *Sobre a Motiva*. São Paulo: Motiva, [s. d.]. Disponível em: <https://www.motiva.com.br/motiva/sobre-a-motiva/>. Acesso em: 24 jun. 2026.

OLIVEIRA, Cássio Gomes de; PUNHAGUI, Katia Regina Garcia; OLIVEIRA, Lidianne Santana; SILVA, Fernanda Belizário. Pegada de CO₂ da madeira nativa destinada à construção civil proveniente de diferentes tipos de exploração florestal. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 24, e131844, 2024. DOI: 10.1590/s1678-86212024000100716.

OLIVEIRA, Gabriela Lotufo. *Estruturas de madeira engenheirada: a concepção arquitetônica orientada à racionalização do processo construtivo*. 2023. Tese (Doutorado em Ciências) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-12122023-120853/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

PUETTMANN, Maureen; SINHA, Arijit; GANGULY, Indroneil. Life cycle energy and environmental impacts of cross laminated timber made with coastal Douglas-fir. *Journal of Green Building*, v. 14, n. 4, p. 17-33, 2019. DOI: 10.3992/1943-4618.14.4.17.

ROMAGNANO, Ligia Ferrari Torella di; BRAZOLIN, Sérgio. Gerenciamento de resíduos de madeira preservada. *Meio Ambiente Industrial*, São Paulo, v. 10, n. 57, p. 78-85, set./out. 2005.

ROSENBAUM. *Moradas Infantis Canuanã – Fundação Bradesco*. [S. l.]: Rosenbaum, [s. d.]. Disponível em: <https://rosenbaum.com.br/escritorio/projetos/moradias-infantis-canuana/>. Acesso em: 9 jul. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Segurança Pública. Polícia Militar do Estado de São Paulo. Corpo de Bombeiros. *Instrução Técnica nº 08/2025: segurança estrutural contra incêndio: Parte 2 – sistemas construtivos em madeira*. São Paulo: CBPMESP, 2025.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Cultura, Economia e Indústria Criativas. Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico. *Resoluções de tombamento/registro*. São Paulo: Secretaria da Cultura, Economia e Indústria Criativas, [s. d.]. Disponível em: https://www.cultura.sp.gov.br/sec_cultura/CONDEPHAAT/Bens_Protegidos/Resolucoes_de_tombamento_Registro. Acesso em: 27 jun. 2026.

SISLER, Jennifer D. et al. Physical chemical properties and cell toxicity of sanding copper-treated lumber. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 15, n. 4, p. 311-321, 2018. DOI: 10.1080/15459624.2018.1424339.

SOUSA, Elton Belarmino de. *Durabilidade de edificações em madeira engenheirada: detalhes construtivos para projetos em MLC e MLCC*. 2025. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-16042025-102008/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

STUDIO EGRET WEST. *Brent Cross West Station*. London: Studio Egret West, [s. d.]. Disponível em: <https://studioegretwest.com/places/brent-cross-west-station>. Acesso em: 4 jul. 2026.

SUPERVIA CONCESSIONÁRIA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO S.A. *Nosso compromisso*. Rio de Janeiro: SuperVia, [s. d.]. Disponível em: <https://www.supervia.com.br/a-empresa/a-supervia/nosso-compromisso/>. Acesso em: 24 jun. 2026.

SWEDISH WOOD. *The CLT handbook: CLT structures, facts and planning*. Stockholm: Swedish Wood, 2019. 188 p. Disponível em:



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

https://www.swedishwood.com/publications/list_of_swedish_woods_publications/th-e-clt-handbook/. Acesso em: 4 jul. 2026.

TERAZAKI, Márcia Yoko. *Arquitetura e infraestrutura urbana: a Linha Norte-Sul e a Estação Ponte Pequena do Metrô de São Paulo*. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. DOI: 10.11606/D.16.2011.tde-13012012-111433. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16136/tde-13012012-111433/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

TIC TRENS. *Inovação*. São Paulo: TIC Trens, [s. d.]. Disponível em: <https://www.tictrens.com.br/institucional/inovacao>. Acesso em: 24 jun. 2026.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Global status report for buildings and construction 2024/2025: not just another brick in the wall: the solutions exist: scaling them will build on progress and cut emissions fast*. Paris: UNEP, 2025. DOI: 10.59117/20.500.11822/47214.

URBEM. *Projeto McDonald's Paraíso em madeira engenheirada*. Almirante Tamandaré: Urbem, [s. d.]. Disponível em: <https://urbembr.com/projetos/mcdonalds-paraiso/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

WOODSOLUTIONS. *Anzac Station*. [S. l.]: WoodSolutions, [s. d.]. Disponível em: <https://www.woodsolutions.com.au/case-studies/anzac-station>. Acesso em: 4 jul. 2026.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. *Bringing embodied carbon upfront: coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon*. London: World Green Building Council, 2019. Disponível em: <https://worldgbc.org/article/bringing-embodied-carbon-upfront/>. Acesso em: 9 jul. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ZEIN, Ruth Verde. *A arquitetura da escola paulista brutalista: 1953-1973*. 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5452>. Acesso em: 4 jul. 2026.