# PRODUÇÃO DE MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO TRATADA EM AUTOCLAVE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL EM DUAS EMPRESAS DE SANTA CATARINA

**Victor Ares Toledo[1], Andrea Murillo Betioli[2], Sérgio Parizotto Filho[2], Luciana da Rosa Espíndola[2]**

*[1] Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (victor.toledo8@gmail.com)*
*[2]Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil*

*Resumo:* Este estudo avaliou o processo produtivo de madeiras de pinus e eucalipto tratadas em autoclave em duas empresas de Santa Catarina. Por meio de estudo de caso múltiplo, com visitas técnicas e entrevistas, investigou-se a seleção da madeira, o tratamento e o controle de qualidade. Conclui-se que as indústrias possuem domínio tecnológico para fornecer madeira tratada com segurança estrutural, validando o potencial regional para o setor.

*Palavras-chave*: Madeira tratada em autoclave; Pinus; Eucalipto; Construção civil; Estudo de caso

## INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais construtivos mais antigos e versáteis utilizados pela humanidade. No Brasil, a tradição construtiva em madeira esteve historicamente associada ao uso de espécies nativas. Entretanto, sua exploração sem manejo sustentável configura um importante desafio para o setor (Castro, 2003).

Nesse contexto, a silvicultura é apresentada como alternativa para suprir a demanda por materiais de menor impacto ambiental e maior eficiência. Em contraste com o concreto, a madeira de florestas plantadas atua como reservatório de carbono, fixando o $CO_2$ atmosférico em sua biomassa (Embrapa, 2023).

As espécies de pinus e eucalipto ocupam 94,84% da área de florestas plantadas no país, sendo que Santa Catarina se destaca com 37,36% desse total (Ibá, 2024). Entretanto, a utilização da madeira na construção civil brasileira ainda enfrenta barreiras culturais que a associam a materiais de qualidade inferior, especialmente com questões relacionadas à sua durabilidade (Queiroz et al., 2024). Apenas cerca de 20% do volume de madeira tratada anualmente no Brasil se destina à construção civil (ABPM, 2025). O tratamento da madeira é importante para garantir sua vida útil mínima na construção civil.

A madeira é um material orgânico suscetível ao ataque de organismos xilófagos, o que torna fundamental a adoção de técnicas de preservação para ampliar sua vida útil (Zenid, 2009). Segundo a NBR 16143 (ABNT, 2024), a preservação é definida como o conjunto de medidas preventivas e curativas para o controle de agentes biológicos, físicos e químicos que afetam as propriedades do material. Dentre os métodos disponíveis, os tratamentos realizados sob pressão em autoclave são considerados os mais eficientes, pois promovem maior penetração dos produtos preservativos nas fibras da madeira (Lepage e Salis, 2015).

As normas NBR 7190-1 (ABNT, 2022) e NBR 16936 (ABNT, 2023) estabelecem que, conforme a classe de risco e a espécie de madeira, elementos estruturais devem passar por tratamento químico sob pressão em autoclave.

Para contribuir neste tema, este trabalho tem por objetivo analisar o processo produtivo de madeiras de pinus e eucalipto tratadas em autoclave para uso na construção civil em duas empresas localizadas em Santa Catarina.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo resulta do trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil realizado por Toledo (2025). Caracteriza-se como pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-exploratório, desenvolvida por meio de estudo de caso múltiplo (Lakatos e Marconi, 2003).

Foram selecionadas duas empresas de preservação de madeira localizadas em Santa Catarina: a Empresa A, fundada em 2006, em Curitibanos, e a Empresa B, em operação desde 2003, em Garopaba. A escolha das unidades considerou o tempo de atuação no mercado, a disponibilidade de acesso aos dados, a representatividade regional e a inserção no setor da construção civil.

As variáveis do estudo abrangem a caracterização das etapas produtivas das empresas, a identificação de similaridades e divergências entre os processos adotados e a análise da percepção das empresas quanto aos desafios do mercado de madeira tratada. A coleta de dados foi realizada por meio de visitas técnicas, observação direta não participante e entrevistas semiestruturadas com os gestores responsáveis pelos processos de preservação.

Os dados coletados foram tratados por meio de análise qualitativa descritiva. O fluxo produtivo das empresas foi sistematizado nas etapas de seleção, secagem, beneficiamento, tratamento e controle de qualidade, o que possibilitou comparar as empresas e em relação às normas técnicas pertinentes, NBR 16143 (ABNT, 2024) e NBR 7190-1 (ABNT, 2022). Foram analisadas as similaridades e divergências das práticas adotadas pelas empresas, bem como sua adequação aos requisitos de durabilidade e segurança exigidos para o uso estrutural da madeira.

Durante a elaboração deste artigo, as ferramentas de Inteligência Artificial (IA) *Copilot* e *NotebookLM* foram utilizadas de forma assistida para apoiar o processo de revisão e redação. A IA foi empregada com o objetivo de conferir o alinhamento do texto ao padrão do artigo modelo, refinar a redação para a eliminação de redundâncias e auxiliar na validação da coerência lógica e estrutural entre os objetivos, métodos e resultados apresentados. Todo o conteúdo gerado foi revisado e validado criticamente pelos autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados: os processos de produção de madeira tratada pelas empresas A e B, a análise comparativa entre a práticas adotadas pelas empresas e suas percepções sobre o mercado de madeira tratada no Brasil.

### Processo de produção de madeira tratada pela Empresa A

A Empresa A, situada em Curitibanos, região serrana de Santa Catarina, produz um volume mensal entre 250 e 350 m³ de madeira tratada para a construção civil, com cerca de 80% de pinus (*Pinus taeda*) e 20% de eucalipto (*Eucalyptus dunnii, Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*). O pinus é comercializado em peças serradas para fins estruturais e de acabamento, enquanto o eucalipto é vendido em toras tratadas para usos rurais e estruturais.

A Figura 1 apresenta o fluxo produtivo da empresa A desde a seleção e aquisição da matéria-prima até o armazenamento e a comercialização da madeira tratada.

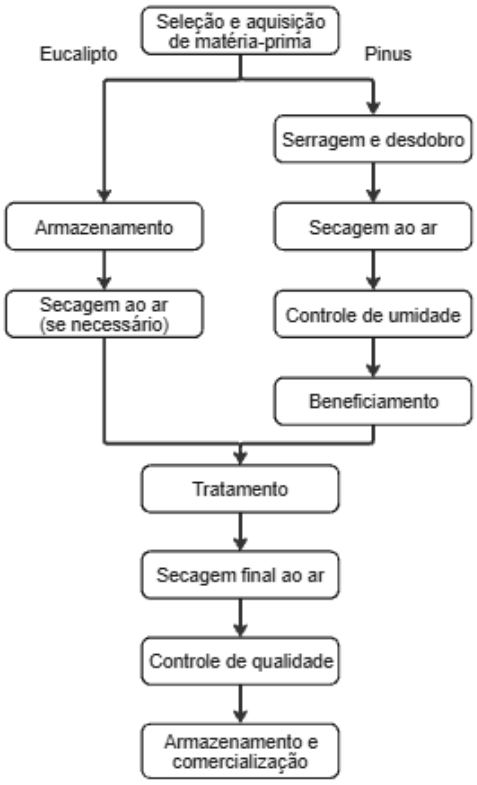



Figura 1. Fluxo de produção da Empresa A (Toledo, 2025)

No início do fluxo de produção, a empresa adquire toras de pinus e de eucalipto de fornecedores catarinenses e avalia a qualidade da matéria-prima no recebimento. No pinus, considera idade da floresta, manejo e posição da tora no fuste, priorizando a base pela menor incidência de nós e maior rendimento. Em novos fornecimentos, realiza desdobro inicial para verificar a qualidade das peças. No eucalipto, recebido em toras roliças e descascadas, observa principalmente retilidade e rachaduras. As toras são armazenadas em pilhas no pátio da empresa até o processamento (Figuras 2 e 3).



Figura 2. Recebimento e armazenamento das toras de pinus no pátio da Empresa A (Toledo, 2025)



Figura 3. Recebimento e armazenamento das toras de eucalipto no pátio da Empresa A (Toledo, 2025)

No pinus, o desdobro é realizado com serras-fita (Figura 4), serras múltiplas e destopadeiras, produzindo peças de seção retangular ou quadrada, geralmente com 2,0 a 4,20 m de comprimento. Nessa etapa, o operador define o melhor aproveitamento da tora e descarta peças com defeitos comprometedores. O eucalipto, por sua vez, é comercializado em formato roliço e demanda apenas controle dimensional antes da venda.



Figura 4. Serra-fita utilizada para o desdobro de pinus na Empresa A (Toledo, 2025)

Na sequência, a secagem é uma etapa indispensável para favorecer a penetração do produto preservativo na madeira durante o tratamento em autoclave. A empresa adota secagem natural ao ar livre, com espaçamento entre as peças (Figura 5a), realizando controle contínuo da umidade (Figura 5b). Para o pinus, o teor de umidade visado é de cerca de 15%, com tempo médio de secagem de 15 a 20 dias e perdas aproximadas de 3%, inferiores às observadas em estufa. Para o eucalipto, geralmente recebido com umidade inferior a 20%, a secagem complementar ocorre quando necessário, podendo variar de cerca de 40 dias, em peças com 10 cm de diâmetro, a 75–90 dias, em toras com 20 cm de diâmetro.



Figura 5. (a) Peças de pinus serradas gradeadas para secagem ao ar (b) Controle de umidade do pinus serrado realizado pela Empresa A (Toledo, 2025)

Após a secagem, o pinus passa por beneficiamento, com corte, aplainamento e, quando necessário, fresagem, definindo as dimensões finais das peças antes do tratamento. O eucalipto não passa por essa etapa, pois é comercializado em toras roliças classificadas por diâmetro.

O tratamento é realizado predominantemente com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) em autoclave, enquanto o Borato de Cobre Cromatado (CCB) representa cerca de 5% do volume tratado. Para o CCA utilizado é o Osmose K33 C60 e para o CCB é utilizado o MOQ OX50 CCB, ambos da empresa Montana Química. Estes produtos preservativos são armazenados em área coberta próxima ao sistema de bombeamento, com uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) no manuseio. Os recipientes vazios retornam ao fornecedor ou seguem para reciclagem, conforme o tipo de embalagem.

O tratamento em autoclave é realizado após o carregamento das peças em carros sobre trilhos (Figura 6). A autoclave da empresa tem 1,60 m de diâmetro, 12,5 m de comprimento, capacidade de 15 m³ por ciclo e produção mensal de até 700 m³. O processo compreende vácuo inicial, preenchimento com solução preservativa, fase de pressão e vácuo final, com reaproveitamento da solução excedente que escoa para fosso abaixo do equipamento.



Figura 6. Carregamento da madeira em carros sobre trilhos para a autoclave da Empesa A (Toledo, 2025)

A empresa opera com vácuo de aproximadamente 600 mmHg e pressão de 12 kgf/cm². É aplicado cerca de 550 L/m³ de solução diluída a 1,2% para o pinus e cerca de 230 L/m³ a 1,8% para o eucalipto, ambos visando retenção de 6,5 kg/m³ conforme a categoria de uso 4 da NBR 16143 (ABNT, 2024). Para o pinus, os tempos de tratamento, em geral, são de 30 minutos de vácuo inicial, 40 minutos de pressão e 15 minutos de vácuo final. Para o eucalipto, esses tempos são de 40, 50 e 5 minutos. Por fim, a madeira segue para a zona de gotejamento, com coleta do excedente, sendo obrigatório o uso de EPIs no descarregamento.

Após o tratamento, a madeira passa por secagem final ao ar para fixação dos ingredientes ativos, com duração de 7 a 10 dias para o pinus e cerca de 15 dias para o eucalipto. Em seguida, o material é armazenado em local coberto e ventilado (Figura 7).



Figura 7. Armazenamento do estoque de madeira tratada pela Empesa A (Toledo, 2025)

Na Empresa A, o controle de qualidade é realizado por dois métodos: ensaio colorimétrico com Cromo-Azurol, para verificar a penetração do preservativo, e análises laboratoriais, para avaliar retenção e penetração dos ingredientes ativos. Segundo o gestor, a empresa oferece garantia de 15 anos para a madeira tratada.

A empresa informa não gerar resíduos de madeira tratada em sua fábrica, pois as peças são finalizadas antes do tratamento. Os resíduos de madeira não tratada são encaminhados à indústria de biomassa, permitindo o aproveitamento integral da matéria-prima no processo.

**Processo de produção de madeira tratada pela Empresa B**

A Empresa B, localizada em Garopaba, na região litorânea de Santa Catarina, trata mensalmente entre 140 e 150 m³ de madeira de pinus (*Pinus elliottii*) e eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*). Atualmente, o pinus representa cerca de 73% do faturamento da empresa, o qual é comercializado como peça de acabamento, vedação ou para aplicações estruturais. Por sua vez, as toras de eucalipto tratado são para finalidades rurais e para a construção civil.

A Figura 8 apresenta o processo produtivo da Empresa B para as madeiras tratadas de pinus e eucalipto destinadas à construção civil.

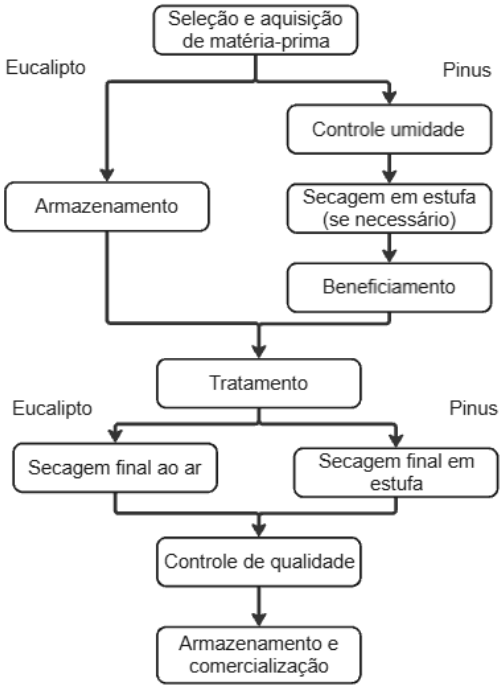



Figura 8. Fluxo de produção da Empresa B (Toledo, 2025)

Diferente da empresa A, a empresa B adquire as peças de pinus já serradas e secas conforme as exigências de cada linha de produto (Figura 9).



Figura 9. Madeira serrada de pinus adquirida pela Empresa B (Toledo, 2025)

No recebimento, a empresa realiza uma inspeção visual nas peças serradas de pinus para verificar a presença de nós conforme as normas. Peças com nó "careados", como ilustra a Figura 10, são consideradas não conformes e descartadas. E as peças com completa ausência de nós são classificadas como "*clear*", com maior valor agregado. No recebimento também é realizado um controle dimensional das bitolas destas peças, pois bitolas inferiores às especificadas na aquisição impossibilitam o beneficiamento das peças nas dimensões comerciais corretas.



Figura 10. Peça de pinus não conforme, com presença de nós “careados” (Toledo, 2025)

No caso do eucalipto, que é adquirido em toras roliças, a empresa prioriza a aquisição de peças retas, com baixa conicidade e reduzida presença de nós.

Tanto a matéria-prima de pinus quanto de eucalipto já chegam secas na Empresa B, sendo a umidade verificada no recebimento. A empresa trabalha com umidade entre 18% e 22%, monitorada regularmente com medidor de umidade. Quando necessário, antes do tratamento, o pinus pode passar por secagem ao ar ou em estufa, que opera com temperatura conforme a espessura das peças. Por sua vez, o eucalipto, quando necessário, é seco exclusivamente ao ar.

Após a secagem, o pinus serrado é beneficiado em plainas para as bitolas comerciais finais (Figura 11) e as toras de eucalipto são cortadas no comprimento conforme pedido do cliente.



Figura 11. Plaina utilizada pela Empresa B para o beneficiamento das peças de pinus (Toledo, 2025)

Para o tratamento em autoclave, a empresa utiliza o CCA Osmose K33 C60 da empresa Montana Química. O descarregamento dos contentores de CCA é mecanizado, reduzindo o manuseio direto, embora o uso de EPIs permaneça obrigatório. Durante a transferência ao reservatório, o produto é diluído em água conforme a categoria de uso da madeira, com monitoramento contínuo da concentração por tabela do fabricante e densímetro como mostra a Figura 12.



Figura 12. Densímetro utilizado para controlar a concentração do CCA aplicado no tratamento da Empresa B (Toledo, 2025)

O tratamento em autoclave é realizado após o carregamento das peças em carros sobre trilhos. A autoclave da Empresa B possui 1,20 m de diâmetro, 12 m de comprimento e capacidade aproximada de 12 m³ por ciclo. O processo opera com cerca de 600 mmHg de vácuo e 10 kgf/cm² de pressão, monitorados por manômetros e vacuômetros (Figura 13).



Figura 13. Vacuômetro acoplado na autoclave da Empresa B (Toledo, 2025)

Após o tratamento, a madeira segue para a zona de gotejamento, onde o excedente da solução é coletado e reutilizado no sistema (Figura 14).



Figura 14. Zona de gotejamento pós tratamento (Toledo, 2025)

Após o tratamento, o pinus passa por secagem final em estufa, com duração média de 2 a 3 dias, podendo chegar a 7 dias em peças maiores (Figura 15). E as peças roliças de eucalipto são secas ao ar.



Figura 15. Secagem artificial em estufa das peças de pinus tratadas (Toledo, 2025)

O controle de qualidade pós-tratamento é realizado pela Empresa B por ensaio colorimétrico com Cromo-Azurol para verificação da penetração do preservativo (Figura 16) e por análises laboratoriais de retenção e penetração conforme a NBR 6232 (ABNT, 2013). Segundo o gestor, a empresa realiza ensaios mensais em lotes específicos e oferece garantia de 7 anos para peças em contato com água salgada, 10 anos para água doce, 15 anos para contato com o solo e 30 anos para uso interno.



Figura 16. Peça de pinus tratada testada com reagente Cromo-Azurol (Toledo, 2025)

A empresa destina os resíduos de madeira tratada a aterros industriais Classe I, o que representa custo elevado. Para reduzir esse volume, peças não conformes são segregadas antes do tratamento e reaproveitadas como biomassa na caldeira. Além disso, resíduos não tratados do beneficiamento são utilizados como combustível nas estufas, formando um ciclo interno de reaproveitamento.

**Análise comparativa entre Empresas A e B**

Após observar os fluxos de produção das empresas, observa-se que a Empresa A mantém maior controle sobre o processo ao adquirir toras inteiras de pinus e realizar internamente etapas como desdobro, secagem e beneficiamento. Já a Empresa B simplifica parte do fluxo ao adquirir o pinus já serrado e seco, concentrando sua atuação no beneficiamento final e no tratamento preservativo, embora isso aumente sua dependência da padronização dos fornecedores. E, na secagem, a Empresa A prioriza o método natural ao ar livre, enquanto a Empresa B utiliza a secagem artificial em estufa.

Ambas empregam tratamento em autoclave, utilizam CCA como principal preservativo e adotam procedimentos semelhantes de controle operacional e de qualidade, com monitoramento de pressão e vácuo, ensaios colorimétricos de penetração e análises laboratoriais de retenção.

A Empresa A declara não gerar resíduos de madeira tratada em sua fábrica e destina os resíduos não tratados ao aproveitamento externo, enquanto a Empresa B reutiliza parte dos resíduos não tratados como fonte energética e encaminha os resíduos tratados para aterro industrial.

As principais diferenças e semelhanças entre as empresas A e B podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis das empresas A e B.

| Variável | Empresa A | Empresa B |
|---|---|---|
| Aquisição pinus | Tora | Madeira serrada |
| Aquisição eucalipto | Tora descascada | Tora descascada |
| Espécie pinus | *Pinus taeda* | *Pinus elliotti* |
| Espécie eucalipto | *Eucalyptus saligna, Eucalyptus dunii* e *Eucalyptus grandis* | *Eucalyptus saligna, Eucalyptus dunii* e *Eucalyptus grandis* |
| Controle inicial de qualidade | Desdobro de um lote inicial e inspeção visual | Inspeção visual |
| Secagem | Natural ao ar livre (pinus e eucalipto) | Estufa (pinus), Ar livre (eucalipto) |
| Produto preservativo | CCA e CCB | CCA |
| Valores de referência no tratamento em autoclave | 12 kgf/cm² (pressão) e 600 mmHg (vácuo) | 10 kgf/cm² (pressão) e 600 mmHg (vácuo) |
| Controle de qualidade pós-tratamento | Reagente colorimétrico para penetração e laboratorial para retenção | Reagente colorimétrico para penetração e laboratorial para retenção |
| Gestão de resíduos | Resíduo não tratado é comercializado. Não possui resíduo tratado | Resíduo não tratado é energia e tratado é enviado a aterro classe I |

Em síntese, a Empresa A apresenta um modelo voltado ao maior controle da matéria-prima e à constância do processo, enquanto a Empresa B se destaca por um fluxo mais enxuto e orientado à agilidade operacional.

**Percepção das empresas sobre o mercado de madeira tratada no Brasil**

Segundo o gestor da Empresa A, o mercado de madeira tratada na construção civil tende a crescer, impulsionado pela maior conscientização dos consumidores, pela redução do uso de madeira nativa e pela expansão de sistemas como o *light wood frame*. Entre os principais entraves, destaca a falta de padronização entre as usinas, especialmente no controle da umidade e na dosagem dos ingredientes ativos, além da resistência de parte dos consumidores à madeira de florestas plantadas, ainda associada a estruturas provisórias ou de baixo valor.

Na avaliação da Empresa B, o setor também apresenta potencial de crescimento, mas enfrenta desafios como concorrência desleal e falta de padronização da qualidade. Segundo o gestor, muitas usinas não atendem às exigências técnicas de secagem e tratamento e comercializam produtos com aparência de tratados, mas sem a durabilidade esperada. Ele observa que, entre mais de 580 usinas em operação no Brasil, apenas cerca de 60 são associadas à ABPM (Associação Brasileira dos Preservadores de Madeira) e somente 7 possuem o selo de qualidade da entidade, o que reforça a concorrência baseada em preço e prejudica a imagem do setor. Outro desafio é a baixa oferta de madeira classificada por resistência ou densidade. Nesse contexto, a NBR 7190 (ABNT, 2022) classifica a madeira estrutural em classes C, para coníferas, e D, para dicotiledôneas. Para a empresa, a diferenciação está na agregação de valor e na industrialização avançada, com foco em madeira engenheirada, construção modular off-site e soluções construtivas completas.

## CONCLUSÃO

Este estudo analisou o processo produtivo de madeiras de pinus e eucalipto tratadas em autoclave em duas empresas de Santa Catarina. Os resultados confirmam a importância do tratamento preservativo para a durabilidade da madeira na construção civil e mostram que, embora ambas as empresas atendam aos requisitos normativos, adotam estratégias distintas: a Empresa A apresenta maior controle sobre a matéria-prima e as etapas do processo, enquanto a Empresa B opera com fluxo mais enxuto.

Também se observou a predominância do CCA nas empresas analisadas e a persistência de desafios no setor, como baixa padronização produtiva e limitada adesão às boas práticas. Conclui-se que Santa Catarina apresenta condições favoráveis à ampliação do uso da madeira tratada na construção civil, desde que haja maior padronização dos processos e maior aproximação entre o setor produtivo e a pesquisa.

Para trabalhos futuros, sugere-se avaliar as análises laboratoriais quantitativas de retenção e penetração de empresas de tratamento para verificar a conformidade técnica do mercado conforme as categorias de uso para fins estruturais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas pelo fornecimento de informações técnicas e ao Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Florianópolis (IFSC) pelo apoio acadêmico.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira — Parte 1: Requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16143: Preservação de madeiras – Sistema de Categorias de uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16936: Edificações em light wood frame. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRESERVADORES DE MADEIRA (ABPM). Madeira tratada (dados estimativos). Instagram: @abpm.oficial. Disponível em: https://www.instagram.com/p/DPCPBMEkaQz/ Acesso em: 25 set. 2025

CASTRO, Helcio Tadeu Nery de. Utilização de madeira reflorestada na construção civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

EMBRAPA. Brasil passa a contabilizar carbono de produtos florestais madeireiros. Brasília, 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78579811/brasil-passa-a-contabilizar-carbono-de-produtos-florestais-madeireiros Acesso em: 24 mai. 2026.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório Anual 2024. São Paulo: IBÁ, 2024.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEPAGE, Ennio Silva; SALIS, Gian A. de. Atualização em preservação de Madeiras. São Paulo: Editora, 2015.

QUEIROZ, M. V. et al. Uso de madeira de reflorestamento na indústria da construção civil: uma análise a partir da visão dos profissionais. Sitientibus, Feira de Santana, n. 64, 2024.

TOLEDO, Victor Ares. Estudo de caso: produção de madeira de pinus e eucalipto tratada em autoclave para a construção civil em duas empresas de Santa Catarina. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2025.

ZENID, G. J. et al. Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009.