

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CAMPUS FLORIANÓPOLIS**

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

VICTOR ARES TOLEDO

**ESTUDO DE CASO: PRODUÇÃO DE MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO
TRATADA EM AUTOCLAVE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL EM DUAS
EMPRESAS DE SANTA CATARINA**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CAMPUS FLORIANÓPOLIS**

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

VICTOR ARES TOLEDO

**ESTUDO DE CASO: PRODUÇÃO DE MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO
TRATADA EM AUTOCLAVE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL EM DUAS
EMPRESAS DE SANTA CATARINA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora:

Profa. Dra. Luciana da Rosa Espindola

FLORIANÓPOLIS, 2025.

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 / Victor Ares Toledo; orientação de Luciana da Rosa Espíndola. - Florianópolis, SC, 2025.

90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Madeira tratada em autoclave. 2. Pinus. 3. Eucalipto.
4. Construção civil. I. Espíndola, Luciana da Rosa. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. ESTUDO DE CASO: PRODUÇÃO DE MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO TRATADA EM AUTOCLAVE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL EM DUAS EMPRESAS DE SANTA CATARINA.

**ESTUDO DE CASO: PRODUÇÃO DE MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO
TRATADA EM AUTOCLAVE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL EM DUAS
EMPRESAS DE SANTA CATARINA**

VICTOR ARES TOLEDO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil em 15/12/2025 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de Dezembro de 2025.

Banca Examinadora:

Profa. Luciana da Rosa Espíndola, Dra.
Instituto Federal de Santa Catarina

Profa. Andrea Murillo Betioli, Dra.
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Sérgio Parizotto Filho, Mestre.
Instituto Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, que me deram tudo, que vibraram com cada pequeno passo meu e sempre me permitiram sonhar. Meu pai, Igeu, obrigado por ter me ensinado todos os valores que carrego comigo e por me mostrar como olhar o mundo com essa curiosidade bonita e ávida, sem a qual eu jamais teria chegado até aqui. Eu te admiro muito por quem tu és. Minha mãe, Silvana, obrigado por me ensinar todos os dias a desarmar qualquer coisa com um sorriso e encarar a vida com a força de uma rocha, sem nunca perder a ternura. És uma rainha, tudo em mim tem um pouco de ti.

Ao meu irmão, Vinícius, sou muito grato por ter crescido ao teu lado desde o primeiro dia. Obrigado por acreditar em mim até quando eu mesmo duvidei, e por nunca me deixar ousar desanimar. Tu vale ouro e eu sempre estarei aqui por ti.

À minha companheira, Julia Marina, agradeço pela cumplicidade, pelo porto seguro que és, por vibrar e chorar comigo em cada etapa. Obrigado pelo privilégio imenso de aprendermos juntos sobre a vida, sobre o amor e sobre nós mesmos. Te amo.

À minha amiga de longa data, Thaís, agradeço pela parceria, pelo ombro amigo e pelas palavras precisas em tantos momentos desde o começo dessa jornada.

À professora Luciana Espindola, agradeço pela disposição generosa desde antes mesmo de este trabalho existir no papel, e pela empatia que tornou o processo mais leve em cada etapa.

Agradeço aos professores membros da banca, Andrea e Sérgio, pelo tempo dedicado e pelas contribuições valiosas que enriqueceram este trabalho.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina, agradeço pelo espaço de convivência, pelo investimento e pela oportunidade de aprender com um corpo docente tão dedicado, jovem e inspirador.

Viva a educação pública e de qualidade!

RESUMO

Em um cenário que demanda soluções construtivas cada vez mais sustentáveis, a preservação da madeira de florestas plantadas torna-se fundamental para garantir o desempenho e a durabilidade exigidos pelas normas na construção civil. Este trabalho tem como objetivo analisar comparativamente o processo produtivo de madeiras de pinus e eucalipto tratadas em autoclave em duas empresas localizadas no estado de Santa Catarina, verificando a conformidade com as normas técnicas vigentes e as especificidades de cada sistema produtivo. Trata-se de uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, realizada por meio de estudo de caso múltiplo. Foram analisados os critérios de seleção da madeira, os parâmetros operacionais de tratamento em autoclave e os protocolos de controle de qualidade. A coleta de dados envolveu visitas técnicas, observação direta e entrevistas semiestruturadas com gestores, confrontando as práticas observadas com as diretrizes das normas técnicas. Conclui-se que, embora existam variações nos processos operacionais e de abastecimento, as indústrias analisadas possuem domínio tecnológico para fornecer madeira tratada com a qualidade e segurança necessárias para o uso estrutural, validando o potencial de Santa Catarina no fornecimento de insumos para a construção civil industrializada.

Palavras-chave: Madeira tratada em autoclave. Pinus. Eucalipto. Construção civil.

ABSTRACT

In a scenario demanding increasingly solutions for sustainable construction, preservation of wood from planted forests becomes fundamental to ensure the performance and durability required by performance standards in civil construction. This study aims to comparatively analyze the production process of autoclave-treated pinus and Eucalyptus wood in two plants located in the state of Santa Catarina, verifying compliance with current technical standards and the specificities of each production system. Methodologically, this is an applied research with a qualitative approach and descriptive character, conducted through a multiple case study. The analyzed variables included wood selection criteria, autoclave operating parameters, and quality control protocols. Data collection involved technical visits, direct observation, and semi-structured interviews with managers, confronting the observed practices with the guidelines of technical regulations. It is concluded that, although there are variations in operational and supply processes, the analyzed industries possess the technological mastery to supply treated wood with the necessary quality and safety for structural use, validating Santa Catarina's potential in supplying inputs for industrialized civil construction.

Keywords: Autoclave-treated wood. Pinus. Eucalyptus. Civil construction.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Justificativa.....	12
1.2. Definição do problema.....	14
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo geral.....	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. Composição físico-química da madeira.....	15
2.1.1. Composição física da madeira.....	15
2.1.2. Composição química da madeira.....	18
2.2. Agentes degradadores da madeira.....	20
2.2.1. Agentes biológicos.....	20
2.2.1.1. Microrganismos.....	20
2.2.1.2. Insetos.....	22
2.2.2. Agentes abióticos.....	25
2.3. Produtos preservativos de madeira.....	26
2.3.1. Oleosos.....	27
2.3.2. Hidrossolúveis.....	28
2.4. Métodos de tratamento.....	33
2.4.1. Tratamentos passivos.....	33
2.4.2. Tratamentos ativos.....	33
2.4.2.1. Método da célula cheia.....	35
2.4.2.2. Método da célula vazia.....	37
2.4.2.3. Método do duplo-vácuo.....	37
2.5. Normas técnicas vigentes.....	37
2.6. Categorias de uso.....	38
2.7. Controle de qualidade.....	42
2.8. Destinação final dos resíduos de madeira tratada.....	43
3. MÉTODO.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1. Empresa A: Processo de produção de pinus e de eucalipto tratado em autoclave.....	48
4.1.1. Aquisição e armazenamento de matéria-prima de pinus e de eucalipto.....	50
4.1.2. Serragem e desdobro da madeira de pinus e preparação das toras de eucalipto.....	53
4.1.3. Secagem.....	54
4.1.4. Beneficiamento da madeira serrada de pinus.....	56

4.1.5. Recebimento e armazenamento dos produtos preservativos.....	57
4.1.6. Tratamento em autoclave.....	58
4.1.7. Secagem final e armazenamento.....	61
4.1.8. Controle de qualidade.....	62
4.1.9. Destinação final dos resíduos de madeira.....	65
4.2. Empresa B: Processo de produção de pinus e de eucalipto tratado em autoclave.....	65
4.2.1. Aquisição e armazenamento da matéria-prima de pinus e de eucalipto.....	68
4.2.2. Secagem.....	70
4.2.3. Beneficiamento do pinus.....	71
4.2.4. Recebimento e instalação dos produtos preservativos.....	72
4.2.5. Tratamento em autoclave.....	74
4.2.6. Secagem final e armazenamento.....	76
4.2.7. Controle de qualidade.....	76
4.2.8. Destinação final de resíduos de madeira.....	78
4.3. Comparação do processo de produção entre as empresas.....	78
4.4. Percepção das empresas sobre o mercado de madeira tratada na construção civil.....	81
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

A madeira constitui um dos materiais construtivos mais antigos e versáteis utilizados pela humanidade. No contexto brasileiro, devido à vasta biodiversidade florestal, a cultura construtiva consolidou-se historicamente no emprego de espécies nativas — as popularmente denominadas “madeiras de lei” — valorizadas por sua ampla disponibilidade e excelentes propriedades físico-mecânicas. No entanto, infelizmente, muitas dessas espécies podem ser oriundas de processos de desmatamento e sem manejo sustentável, o que representa um dos principais desafios contemporâneos para o desenvolvimento sustentável do setor (Castro, 2003).

Paralelamente, os sistemas construtivos convencionais, como o concreto armado, apresentam elevado impacto ambiental, com emissões de dióxido de carbono (CO₂) que variam de 200 a 400 kg por m³ (Ibracon, 2023). Adicionalmente, Punhagui *et al.* (2022) observam que a construção em concreto demanda volumes expressivos de madeira para fôrmas (entre 4,2 e 7,6 m³ a cada 100 m² construídos), os quais são integralmente descartados como resíduos ao término da obra.

Nesse contexto, a silvicultura emerge como alternativa para suprir a demanda por materiais de menor impacto ambiental e maior eficiência. Diferente do concreto, a madeira de florestas plantadas atua como reservatório de carbono, fixando o CO₂ atmosférico em sua biomassa (Embrapa, 2024). As espécies dos gêneros pinus e eucalipto se sobressaem nesse tipo de cultivo, em função de sua elevada adaptabilidade, taxa de crescimento rápido e propriedades físicas e mecânicas favoráveis para o uso na construção civil. Com a expansão dessa prática e o aumento das exigências por materiais ambientalmente responsáveis, observa-se também uma demanda crescente por padrões de qualidade mais rigorosos e tecnicamente consolidados (Castro, 2003).

Apesar das vantagens produtivas e ambientais, a madeira, por ser um produto orgânico, apresenta suscetibilidade ao ataque de organismos xilófagos, o que torna fundamental a adoção de técnicas de preservação que ampliem sua vida útil (Zenid, 2009).

Segundo define a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 16143 (ABNT, 2024), a preservação de madeiras é:

O conjunto de medidas preventivas e curativas para controle de agentes biológicos (fungos e insetos xilófagos e perfuradores marinhos), físicos e químicos que afetam as propriedades da madeira, adotadas no desenvolvimento e na manutenção dos componentes de madeira no ambiente construído (ABNT, 2024, p. 6).

Atualmente, existem diferentes métodos de tratamento da madeira, variando em complexidade e eficácia. Os mais simples baseiam-se na aplicação superficial de soluções preservativas, com ação limitada contra agentes xilófagos. Em contrapartida, os tratamentos realizados sob pressão em autoclave são considerados mais eficientes, uma vez que promovem maior penetração dos produtos preservativos nas fibras da madeira, resultando em uma proteção mais duradoura e eficaz (Lepage; Salis, 2015).

Diante da importância da madeira de pinus e de eucalipto como alternativa sustentável para atender a demanda na construção civil e da necessidade de métodos eficazes de preservação, este trabalho tem como foco analisar o processo de produção da madeira tratada voltada ao uso construtivo em duas empresas situadas em Santa Catarina. Busca-se contribuir com a disseminação do conhecimento técnico sobre o tema, estimulando novas pesquisas e incentivando a adoção desse material em sistemas construtivos.

1.1. Justificativa

A utilização da madeira na construção civil brasileira enfrenta barreiras históricas e culturais significativas. O modelo construtivo que priorizou alvenaria e fundações de pedra, consolidou a percepção da madeira como um material provisório ou de qualidade inferior, em detrimento de seu uso ancestral pelos povos indígenas. Esse paradigma cultural resultou em uma desvalorização mercadológica e na insegurança técnica quanto às propriedades do material, especialmente no que tange à sua durabilidade (Queiroz *et al.*, 2024).

As espécies de pinus e eucalipto ocupam 94,84% da área de florestas plantadas no país, garantindo disponibilidade e renovabilidade de recursos. Nesse contexto, Santa Catarina assume protagonismo nacional ao concentrar 37,36% da área cultivada de pinus (Ibá, 2024), consolidando-se como um polo estratégico de produção. Contudo, apesar dessa robustez na oferta de matéria-prima, a aplicação na construção civil permanece baixa. Dados da Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM, 2025) indicam que, dos 6,0 milhões de metros cúbicos de madeira tratados anualmente, apenas uma fração de 20% se destina à construção civil.

A viabilidade técnica para reverter esse quadro reside no tratamento preservativo, fundamental para garantir a durabilidade exigida pelos sistemas construtivos em madeira convencionais e os modernos, como o *light wood frame* e de madeiras engenheiradas (MLC e CLT).

O cumprimento rigoroso das normas técnicas é imperativo: a NBR 7190-1 (ABNT, 2022) e a NBR 16936 (ABNT, 2023) estabelecem que, conforme a classe de risco e da espécie de madeira, elementos estruturais devem passar por tratamento químico sob pressão em autoclave. Tal procedimento é condição para atender à NBR 15575-1 (ABNT, 2021), que estipula uma vida útil mínima de 50 anos para sistemas estruturais.

Apesar da regulamentação existente e do potencial silvicultural, observa-se uma carência de produção acadêmica e técnica que sistematize o conhecimento sobre o processo produtivo da madeira tratada para a construção civil. Portanto, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de preencher essa lacuna, aprofundando a compreensão sobre a durabilidade e o contexto do setor produtivo de madeira tratada, visando consolidar sua aplicação como solução estrutural sustentável e competitiva.

1.2. Definição do problema

Embora Santa Catarina figure como o maior produtor de pinus do Brasil e um polo central de madeira de florestas plantadas, identifica-se uma escassez de produção acadêmica voltada à análise e ao controle do processo produtivo da preservação da madeira para a construção civil nesta região.

Diante da crescente demanda pelo uso de madeira em soluções construtivas industrializadas e da existência de normativas rigorosas, torna-se relevante investigar como o setor produtivo da madeira tratada em autoclave tem estruturado sua cadeia produtiva para garantir qualidade e conformidade técnica. Portanto, esta pesquisa busca responder à seguinte questão:

Como ocorre o processo de produção de madeira de pinus e eucalipto tratada em autoclave para construção civil em empresas de Santa Catarina?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Analisar comparativamente o processo produtivo de madeiras de pinus e eucalipto tratadas em autoclave para a construção civil em duas empresas localizadas no estado de Santa Catarina, verificando a conformidade com as normas técnicas vigentes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar as etapas de produção de pinus e eucalipto tratados em autoclave nas empresas estudadas.
- Comparar os processos adotados nas empresas analisadas, identificando pontos de similaridade e divergências.
- Identificar a percepção das empresas sobre os potenciais e os desafios do setor da madeira tratada na construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre a preservação da madeira, abordando a anatomia e composição físico-química das principais espécies de florestas plantadas, os agentes degradadores, os produtos preservativos, métodos de aplicação e sua eficácia. Também são analisadas as normativas brasileiras que orientam o uso da madeira tratada na construção civil.

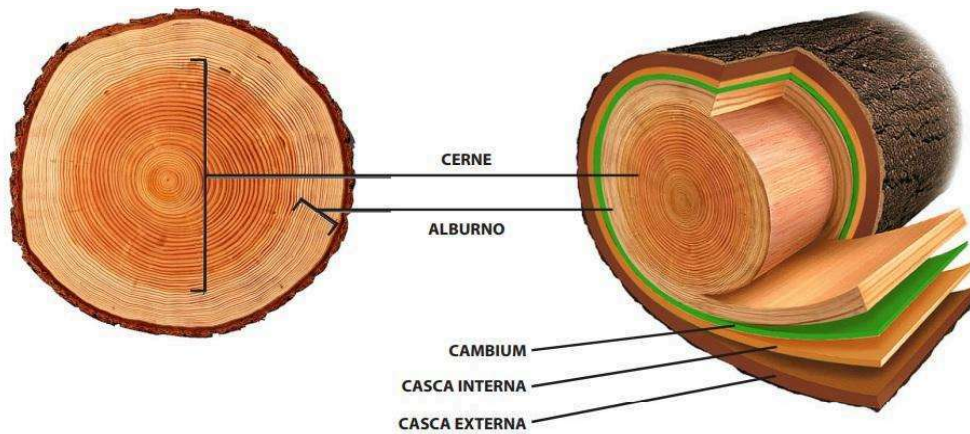
2.1. Composição físico-química da madeira

A madeira é um material compósito heterogêneo com diferentes componentes estruturais e químicos, que definem suas propriedades físicas e mecânicas. As madeiras de forma geral são classificadas em duas categorias: “moles” (*softwoods*) e “duras” (*hardwoods*). As madeiras moles, ou coníferas, pertencem ao grupo das gimnospermas, que apresentam folhagem na forma de agulha e ausência de frutos, ou seja, sementes descobertas. Por sua vez, as madeiras duras, ou folhosas, pertencem ao grupo das angiospermas dicotiledôneas, que apresentam folhas largas e sementes encerradas em frutos. Nestas categorias, este trabalho destaca as espécies de pinus (conífera) e eucalipto (folhosa) (Carvalho *et al.*, 2009).

2.1.1. Composição física da madeira

Os principais componentes anatômicos da madeira incluem a casca externa, casca interna, câmbio, cerne e alburno, como se observa na Figura 1. Dentre esses, cerne e alburno são especialmente relevantes no contexto do tratamento preservativo, sendo comumente referidos como as porções “não tratável” e “tratável” da madeira, respectivamente (Chimelo, 1986).

Figura 1 - Características anatômicas gerais da madeira



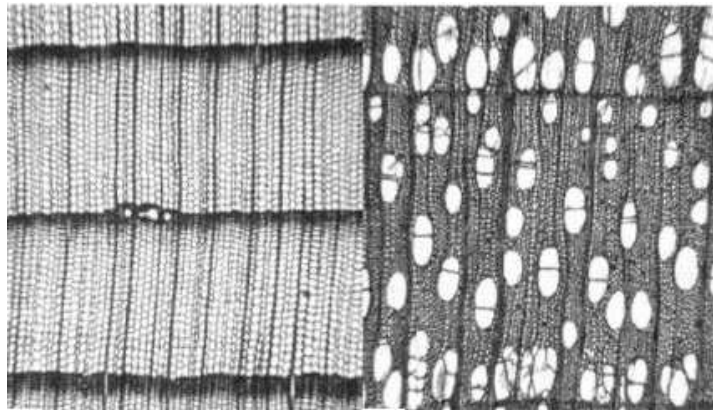
Fonte: Lepage; Salis (2015)

O caule de uma planta jovem é constituído apenas por células vivas ou funcionais, responsáveis pela condução da seiva bruta e pelo armazenamento de substâncias nutritivas, o que caracteriza o alburno. Devido à presença dessas células vivas e funcionais, trata-se de uma parte permeável do caule, característica importante para a tratabilidade da madeira sob pressão. À medida que ocorre o crescimento do vegetal, dá-se a morte do protoplasma das células centrais do caule, originando o cerne. Esse processo é acompanhado pela formação de substâncias orgânicas conhecidas como extrativos, que obstruem total ou parcialmente o lúmen. As madeiras que apresentam essas inclusões possuem pouca ou nenhuma permeabilidade, além de apresentarem coloração distinta em relação ao alburno. Este, por sua vez, pela riqueza em materiais nutritivos, é altamente suscetível ao ataque de insetos, brocas, fungos e outros microrganismos, sendo, portanto, facilmente deteriorado (Chimelo, 1986).

A permeabilidade é uma propriedade relevante para secagem e preservação de madeiras. De modo geral, madeiras com elevada massa específica apresentam maior dificuldade na secagem e impregnação com soluções preservativas, já que dispõem de um volume reduzido de espaços vazios para a circulação de fluidos. A penetração ou eliminação de líquidos ocorre por meio dos elementos estruturais responsáveis pela condução no lenho: os vasos nas angiospermas (folhosas), os traqueoides axiais e radiais nas gimnospermas (coníferas), e os raios medulares em ambas (Burger; Richter, 1991).

Conforme se observa na Figura 2, as células de coníferas têm estruturas relativamente simples, compostas por um único tipo de células alongadas, denominadas traqueídeos. As folhosas, por sua vez, são mais complexas e possuem diferentes arranjos de organização celular (Carvalho *et al.*, 2009).

Figura 2 - Representação micrográfica de células de coníferas (esquerda) e folhosas (direita)



Fonte: Carvalho *et al.* (2009)

Para além da estrutura celular das duas espécies, conforme detalhado por Zenid (2009), as espécies de madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus citriodora*, utilizadas no Brasil, apresentam diferenças marcantes em suas propriedades físicas, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Características físicas de pinus e eucalipto

Características	<i>Pinus elliotti</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>
Durabilidade natural	Suscetível a ataque de fungos, cupins, brocas-de-madeira e perfuradores marinhos	Suscetível à ação de perfuradores marinhos, cupins na parte permeável
Tratabilidade	É fácil de tratar pela alta permeabilidade.	O cerne é difícil de ser tratado, mas o alborno é permeável
Processamento	Fácil de ser trabalhado e permite bom acabamento.	Requer uso de técnicas para desdobro, a fim de minimizar efeitos das tensões de crescimento (empenamentos e rachaduras).
Densidade básica	480 kg/m ³	867 kg/m ³
Contração	radial: 3,4%; tangencial: 6,3%; volumétrica: 10,5%	radial: 6,6%; tangencial: 9,5%; volumétrica: 19,4%
Compressão Paralela às Fibras	31,5 MPa	62,8 MPa
Usos na construção civil	Rodapés, forros, cordões, guarnições e, com o devido tratamento, uso estrutural em ambientes de biodeterioração.	Postes, cruzetas, dormentes, mourões, vigas e caibros.

Fonte: Zenid (2009)

Enquanto o pinus se destaca pela facilidade de tratamento e usinagem, o eucalipto possui maior densidade, resistência mecânica e contração mais acentuada, exigindo cuidados adicionais no processamento.

2.1.2. Composição química da madeira

A madeira é composta, em sua maior parte, por celulose, hemicelulose e lignina, que juntos formam a parede celular. Os demais constituintes são os extrativos e as cinzas. Os extrativos correspondem aos compostos que não integram a parede celular, como resinas, açúcares, taninos e ácidos graxos, e podem ser extraídos por meio de água ou solventes orgânicos (Klock, 2013).

A celulose é o componente majoritário, correspondendo à metade da composição tanto de coníferas quanto de folhosas. Resumidamente, pode ser definido com um polímero linear de alto peso molecular e que, devido às suas propriedades químicas e físicas, preenche sua função como o principal componente estrutural da parede celular dos vegetais. As hemiceluloses, ou polioses, estão em estreita associação com a celulose, são cadeias moleculares muito mais curtas e são principalmente constituídas de açúcares. As folhosas geralmente contêm um maior teor de polioses que as coníferas (Klock, 2013).

A lignina é o segundo componente mais abundante da madeira e está presente na parede celular, onde desempenha papel fundamental no suporte estrutural, na impermeabilização e na condução de água e nutrientes, além de contribuir significativamente para a resistência ao ataque de organismos xilófagos (Klock, 2013).

Os extrativos, além de conferirem cor e odor característicos à madeira, também influenciam diretamente propriedades como permeabilidade, densidade e dureza. De maneira geral, sua concentração é maior nas coníferas do que nas folhosas, com teores que variam entre 2% e 5%, como se observa no Quadro 2. Por fim, as cinzas correspondem aos minerais presentes na madeira, como sódio, potássio, cálcio e ferro (Klock, 2013).

Quadro 2 - Composição média de Madeiras Coníferas e Folhosas

Constituinte	Coníferas	Folhosas
Celulose	42% +- 2%	45% +- 2%
Polioses	27% +- 2%	30% +- 2%
Lignina	28% +- 2%	20% +- 2%
Extrativos	5% +- 2%	3% +- 2%

Fonte: Klock (2013)

2.2. Agentes degradadores da madeira

Madeira serrada, painéis, fibras e papéis são exemplos de materiais orgânicos madeireiros que podem ser deteriorados ou destruídos por agentes bióticos e abióticos. A deterioração é a mudança destrutiva das propriedades de um material causada por uma gama de agentes químicos, físicos, mecânicos e bióticos (Castro, 2018).

2.2.1. Agentes biológicos

A madeira, por ser um material de origem orgânica, está sujeita à ação de diversos agentes biológicos que comprometem sua durabilidade e desempenho. Esses agentes degradadores podem ser classificados, de forma geral, em dois grupos principais: os microrganismos e os insetos (Oliveira *et al.*, 1986).

2.2.1.1. *Microrganismos*

Os microrganismos, diferentemente dos demais organismos xilófagos, desenvolvem-se no interior das células da madeira, onde atuam por meio da liberação de enzimas extracelulares, responsáveis pela degradação dos constituintes da parede celular ou de substâncias químicas presentes no lúmen. Muitas dessas substâncias são de fácil acesso e metabolização por uma ampla diversidade de microrganismos, que incluem tanto espécies capazes de degradar os componentes estruturais da parede celular quanto aquelas que não conseguem utilizar compostos como a celulose, hemicelulose e lignina (Oliveira *et al.*, 1986).

Imediatamente após o abate, os primeiros agentes deterioradores a surgir são os fungos emboloradores e os fungos manchadores. Os fungos emboloradores não causam danos às paredes celulares e, portanto, não comprometem a resistência mecânica da madeira. Como não se desenvolvem em madeira seca, seu ataque é mais frequente em madeiras recém-cortadas, com teor de umidade entre 35% e 50%. Já os fungos manchadores se diferenciam dos bolores por penetrarem mais profundamente no alburno e por não poderem ser removidos por processos de

usinagem, como lixamento ou aplainamento. Esses fungos geralmente conferem à madeira um tom azulado como se observa na Figura 3, dependendo da espécie da madeira, do tipo de fungo e da umidade presente. O principal prejuízo causado por ambos é estético, reduzindo o valor da madeira serrada (Carvalho *et al.*, 2018).

Figura 3 - Ataque de fungos manchadores em madeira de *Pinus taeda*



Fonte: Castro (2018)

Os fungos de decomposição são os principais agentes biológicos responsáveis pela degradação da madeira, atuando por meio da secreção de enzimas que hidrolisam seus principais componentes estruturais, como celulose, hemicelulose e lignina. Com base em Schmidt (2006), esses fungos são classificados em três tipos principais: os de podridão branca, que degradam todos os constituintes da parede celular; os de podridão parda, que atuam principalmente sobre os polissacarídeos, deixando a lignina intacta; e os de podridão mole, que afetam preferencialmente madeiras com alta umidade, degradando a camada superficial. Na Figura 4 se observa a perda de seção e comprometimento estrutural da peça de madeira.

Figura 4 - Madeira infectada com fungos de podridão branca



Fonte: Castro (2018).

2.2.1.2. *Insetos*

Entre os principais agentes degradadores da madeira, destacam-se os insetos xilófagos, organismos que se alimentam da madeira ou utilizam-na como substrato para reprodução e abrigo. Este capítulo dedica-se à análise dos principais grupos de insetos que afetam estruturas de madeira, com ênfase nos cupins, coleópteros e brocas marinhas. Serão abordadas suas características biológicas, modos de ação, condições propícias para infestação e os danos que podem causar.

Os cupins destacam-se como os principais agentes de deterioração entre os insetos. Esses se alimentam da celulose, um dos principais componentes estruturais da madeira. Estima-se que existam cerca de 2.500 espécies pertencentes à ordem Isoptera, das quais aproximadamente 300 são consideradas pragas. Os cupins são insetos sociais que vivem em colônias organizadas, compostas geralmente por um casal reprodutivo, rei e rainha, e por indivíduos estéreis, como soldados e operários. Estes últimos são responsáveis por funções vitais como a busca por alimento, construção e manutenção do ninho, defesa da colônia, além de cuidados com ovos e filhotes (Souza *et al.*, 2018).

Há aproximadamente 400 espécies de cupins registradas para América do Sul, com cinco famílias presentes; *Kalotermitidae* (53 espécies), *Rhinotermitidae* (19), *Serritermitidae* (2), *Termitidae* (325), e *Termopsidae* (1). No Brasil contam-se aproximadamente 300 espécies, que se distribuem em quatro famílias;

Kalotermitidae, *Rhinotermitidae*, *Serritermitidae* e *Termitidae*. Entre as famílias citadas, a *Termitidae* possui uma vasta quantidade de indivíduos que incluem térmitas subterrâneas (arborícolas) e de montículos. Destaca-se que a biodiversidade brasileira é enorme, desafio que outros países do norte global não enfrentam (Medeiros Neto, 2024).

Dentre os tipos de cupins, destacam-se os de madeira seca, que compreendem cerca de 500 espécies caracterizadas por viver dentro da madeira seca, sem necessidade de contato com fontes externas de umidade ou solo. Embora a maioria dessas espécies não represente risco estrutural significativo, menos de 10% delas são reconhecidamente deterioradoras de madeira estrutural e de móveis. As colônias de cupins de madeira seca são pequenas e podem permanecer ocultas por longos períodos, sendo frequentemente dispersas entre estruturas por meio do transporte de peças já infestadas. No caso da madeira serrada de *pinus*, destaca-se a espécie *Cryptotermes brevis*, pertencente à família *Kalotermitidae*, como o principal agente xilófago. Essa espécie, considerada cosmopolita, é uma das pragas mais comuns em regiões tropicais e subtropicais, como o Havaí, América Central, América do Sul, América do Norte, África do Sul, Hong Kong e ilhas do Pacífico. Sua origem permanece indefinida, sendo classificada como o principal cupim exótico deteriorador da madeira em escala global (Medeiros Neto, 2024).

Já os cupins subterrâneos têm como característica principal desenvolver suas colônias no solo e construir túneis pela terra para chegar até a fonte de alimento, a madeira. Também se caracterizam pela necessidade de se manterem próximos a uma fonte constante de umidade, que pode ser do alimento, a madeira, ou do solo (Souza *et al.*, 2018). A Figura 5 demonstra um ataque severo de cupins a uma peça de madeira.

Figura 5 - Madeira severamente atacada por cupins



Fonte: Montana Química

Os insetos da ordem *Coleoptera* são os segundos maiores responsáveis pela deterioração da madeira, atrás apenas dos cupins. Popularmente conhecidos como carunchos e brocas, esses insetos apresentam grande capacidade de infestação, atacando a madeira em diferentes condições de umidade e uso (Brochini, 2018).

As brocas marinhas pertencem aos grupos dos crustáceos e moluscos e são responsáveis por perfurar a madeira submersa, geralmente em busca de abrigo. Em certas situações, estabelecem relações simbióticas com bactérias xilófagas, o que levanta dúvidas entre pesquisadores sobre se utilizam a madeira apenas como moradia ou também como fonte de alimento. Entre os crustáceos, destaca-se o gênero *Limnoria*, enquanto entre os moluscos é frequente a ocorrência do gênero *Teredo*, particularmente nas regiões costeiras do Brasil (Lepage; Salis, 2015).

Figura 6 - Madeira atacada por brocas marinhas



Fonte: Rocha (2001)

2.2.2. Agentes abióticos

O “*weathering*” é o termo genérico utilizado para definir o processo de degradação que afeta todos os materiais expostos às intempéries do tempo. Embora o mecanismo de deterioração varie conforme o material, sua causa está sempre associada à combinação de fatores naturais, como luz solar, variações de umidade e temperatura, abrasão eólica, poluentes atmosféricos e agentes biológicos. No caso da madeira, o “*weathering*” é desencadeado principalmente pela radiação ultravioleta do espectro solar, que dá início a um processo de decomposição fotoquímica. A degradação começa logo após a madeira ser colocada em contato com a luz solar e inicialmente se observa alteração na cor da madeira. Como as reações ocorrem principalmente sobre a lignina, se dá o enfraquecimento das fibras nas camadas superficiais, tornando-as suscetíveis a serem lavadas pela ação da chuva ou arrastadas pelo vento. Ressalta-se que esse é um processo bastante lento, levando em torno de 100 anos para uma erosão de 5mm a 6mm na espessura da madeira (Lepage; Salis, 2015).

Os produtos utilizados para retardar o processo de *weathering* da madeira são classificados em dois grupos: formadores de película e não formadores de película. Os primeiros incluem tintas e vernizes, que criam uma camada superficial de proteção contra agentes abióticos. No entanto, essa película não acompanha as variações dimensionais da madeira decorrentes de mudanças de umidade e temperatura, o que pode provocar fissuras e comprometer sua eficácia. Além disso, a reaplicação desses produtos exige a completa remoção do revestimento anterior. Por outro lado, os revestimentos não formadores de película, como os *stains* impregnantes, penetram na madeira e contêm filtros que a protegem contra a radiação ultravioleta. Esses produtos acompanham as variações dimensionais do material, apresentam maior diversidade de acabamentos (transparentes, semitransparentes e sólidos) e permitem uma reaplicação mais simples, com apenas limpeza e lixamento da superfície (Lepage; Salis, 2015).

Outro fenômeno físico importante quanto à degradação é o fogo, por ter ação rápida e capacidade de devastar por completo elementos de madeira. Embora seja um material combustível, apresenta boa resistência ao fogo, exige temperaturas superiores a 400 °C para ignição em curto ou médio prazo.

Diferentemente do aço, que perde rapidamente sua resistência mecânica a partir dos 300 °C, a madeira mantém sua integridade em peças estruturais por mais tempo mesmo em incêndios intensos, devido à formação de uma camada carbonizada isolante que protege seu interior. Outro fenômeno importante de degradação é a química, que em contato com substâncias como ácidos, bases fortes ou sais, compromete suas propriedades físico-mecânicas, especialmente em contato com ferragens (Castro, 2018).

2.3. Produtos preservativos de madeira

Embora não se conheçam com precisão as primeiras práticas de preservação da madeira, há registros históricos indicando que, há aproximadamente 3.500 anos, civilizações como os fenícios e cartagineses já utilizavam piche para impermeabilizar os cascos de embarcações, além de empregar chapas de chumbo como proteção contra brocas marinhas. Em ambientes terrestres, povos antigos faziam uso de óleos vegetais, animais e minerais com a finalidade de proteger a madeira, destacando-se os gregos e romanos, que chegaram a injetar essas substâncias no interior das peças por meio de orifícios previamente feitos. Durante a Idade Moderna, especialmente no século XVI e no contexto das grandes navegações, o apodrecimento das embarcações era um problema recorrente, sobretudo em razão da ação de organismos xilófagos marinhos. Há registros de que, em 1590, a Espanha chegou a perder cerca de 100 navios em decorrência do ataque dessas pragas. Apesar das diversas tentativas de impedir a deterioração da madeira ao longo da história, a maioria dessas soluções mostrou-se ineficaz. Somente com o avanço da ciência e da tecnologia a partir do século XIX é que se alcançaram os primeiros resultados satisfatórios em termos de preservação da madeira, com o desenvolvimento de métodos mais eficientes e o uso de produtos químicos apropriados (Cavalcante, 1986).

A preservação de madeiras no Brasil tem suas origens estreitamente relacionadas à construção de ferrovias. O início do processo foi a instalação, em 1902, da primeira usina de preservação de madeiras sob pressão no país. Importada

da Inglaterra, essa usina, localizada em Juiz de Fora/MG, foi destinada ao tratamento de dormentes ferroviários com creosoto (Cavalcante, 1986).

O uso de madeira preservada se expandiu com a adoção de postes de eucalipto em linhas telefônicas, sendo o ano de 1935 a marca do início da utilização de postes de eucalipto preservados, que se tornaram uma alternativa importante para a infraestrutura elétrica e de comunicação. Estudos realizados em postes de eucalipto tratados e instalados entre 1935 e 1955 apontavam uma expectativa de vida útil de cerca de 40 anos, o que apresenta uma viabilidade real dos postes de eucalipto preservados como substitutos aos postes de madeira nativa. A partir de 1945, com o funcionamento da primeira usina produtora de postes, que operava pelo processo de vácuo-pressão, este avanço tecnológico permitiu o tratamento eficaz do eucalipto, tornando-o uma opção viável e economicamente interessante (Sagi, 2000).

A partir de 1957, o Brasil assistiu a um crescimento significativo no número de usinas de preservação, com a instalação de diversas unidades até alcançar o total de 42 usinas em 1981. Esse desenvolvimento foi acompanhado pela formalização da indústria, com a criação, em 1969, da Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM). Em 1973, a ABNT também contribuiu para o setor com a criação da primeira norma técnica relacionada ao tratamento e preservação de madeiras (Sagi, 2000). Atualmente, estima-se que há em torno de 580 usinas de preservação no país (ABPM, 2025).

Entre os tipos diferentes de produtos preservativos utilizados para aumentar a durabilidade da madeira, destacam-se duas categorias principais: os oleosos e os hidrossolúveis. Essa classificação está diretamente relacionada ao veículo de diluição e transporte do princípio ativo até o interior da madeira, o que influencia tanto a forma de aplicação quanto o desempenho do tratamento ao longo do tempo (Lepage, 1986)

2.3.1. Oleosos

Em produtos preservativos de natureza oleosa, destaca-se o creosoto, que é um dos preservativos mais antigos, obtido da destilação do alcatrão da hulha

betuminosa, apresentando-se como um óleo escuro, denso e de odor marcante. Sua composição química é complexa e variável, contendo mais de 200 compostos, principalmente hidrocarbonetos, ácidos e bases de alcatrão. Esse preservativo se destaca por sua alta eficácia contra organismos xilófagos, devido a sua toxicidade e a capacidade de repelir água, além de resistir à lixiviação e proteger a madeira contra a ação do tempo e da umidade. Por essas razões, é amplamente recomendado para madeiras utilizadas em condições agressivas, como dormentes ferroviários e estruturas marítimas. No entanto, o creosoto possui desvantagens, como a dificuldade de aplicação de acabamentos na madeira tratada, devido à sua oleosidade e exsudação constante, além de seu forte odor, o que inviabiliza seu uso em ambientes internos. Em algumas situações, é combinado com outros agentes para potencializar seu desempenho (Alves; Mendes, 2002).

2.3.2. Hidrossolúveis

Os produtos preservativos utilizados pelas Usinas de Preservação de Madeira (UPM) brasileiras são quase na totalidade hidrossolúveis, com destaque para o CCA (arseniato de cobre cromatado) tipo C, na base óxido, que representa aproximadamente 90% do mercado. Os 10% restantes correspondem aos preservativos do tipo CCB, tanto na formulação óxida quanto na salina. (Tufolo Netto, 2010)

O CCA é o preservativo hidrossolúvel mais utilizado e de maior eficácia. Em sua composição, o cobre atua como fungicida, o arsênio como inseticida e o cromo como fixador dos compostos às fibras da madeira. Além de seu amplo espectro de toxicidade contra organismos xilófagos, o CCA apresenta vantagens como baixo custo, boa penetração, ausência de odor e compatibilidade com pinturas após a secagem da madeira. Outra característica marcante é a coloração esverdeada conferida pelo cobre à madeira tratada (Carvalho *et al.*, 2018).

Quadro 3 - Composição química do CCA (%)

Componente	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo (como CrO ₃)	65,5	35,3	47,5
Cobre (como CuO)	18,1	19,6	18,5
Arsênio (como Ar ₂ O ₅)	16,4	45,1	34,0

Fonte: Rocha (2001)

O tipo A é mais utilizado contra fungos, o tipo B contra insetos e o tipo C é um intermediário contra fungos e insetos (Rocha, 2001). No Brasil, a formulação mais utilizada do CCA (arseniato de cobre cromatado) é o tipo C, cuja composição é regulamentada pela NBR 16143 (ABNT, 2024). De acordo com a ficha técnica da Montana Química S/A, principal fornecedora de preservativos do país, o produto Osmose K33 C60 comercializado segue rigorosamente a proporção estabelecida para o CCA tipo C.

Existe uma preocupação recorrente entre os usuários quanto à possibilidade de contaminação pelo arsênio presente no CCA, utilizado no tratamento da madeira. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), em conjunto com a indústria de preservação de madeiras, restringiu, a partir de 2003, o uso da madeira tratada com esse preservativo em estruturas recreativas, como playgrounds, e em aplicações residenciais, permitindo apenas para aplicações industriais. Contudo, não há evidências estatísticas conclusivas que comprovem a toxicidade ou o potencial cancerígeno do arsênio em pessoas expostas constantemente à madeira tratada. Em sua reavaliação do registro do CCA, a própria EPA concluiu que o uso desse preservativo não representa riscos inaceitáveis à saúde humana ou ao meio ambiente, desde que sejam observadas as medidas de segurança adequadas durante o processo de tratamento da madeira (Lepage; Salis, 2015).

No entanto, embora seja comum no Brasil o uso de madeira tratada proveniente de resíduos da construção e demolição como fonte de combustível, essa prática representa um sério risco. A queima desse material libera metais na atmosfera e expõe indivíduos em ambientes fechados a substâncias tóxicas. Além do fato que as cinzas oriundas da queima de madeira preservada com CCA são

altamente potenciais de contaminação do solo, fazendo com que os metais presentes nas cinzas sejam lixiviados facilmente. Ressalta-se, ainda, que é expressamente vedado o uso dessa madeira como combustível para o preparo de alimentos (Domingos, 2020).

Com a preocupação da contaminação com CCA, pesquisas foram iniciadas com o objetivo de substituir o arsênio presente no CCA, resultando no desenvolvimento do CCB (borato de cobre cromatado), incluindo o elemento químico boro na composição. Atualmente, o CCB é utilizado mundialmente e reconhecido por sua eficiência na preservação da madeira. No entanto, a troca na composição do arsênio pelo boro reduz consideravelmente a resistência à lixiviação, especialmente em madeiras expostas ao tempo ou em contato com a água e o solo úmido por longos períodos. Ainda assim, o CCB é considerado eficaz em aplicações onde as condições de lixiviação são menos severas (Moreschi, 2013). O Quadro 4 traz os valores de norma referenciais do balanceamento dos ingredientes ativos nesse produto preservativo.

Quadro 4 - Balanceamento dos ingredientes ativos na solução de CCB

Ingrediente ativo	Mínimo (%)	Máximo (%)
CuO (óxido de cobre)	24,7	27,3
CrO3 (cromo)	60,3	66,7
Boro	10,0	11,0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16143 (2024)

O MCA (*Micronized Copper Azole*), ou cobre azol, é um preservativo de madeira baseado em uma tecnologia que contém partículas de cobre micronizado dispersas em água, além de tebuconazol, com uma proporção de cobre elementar para tebuconazol de 25 para 1. É amplamente utilizado pelo mercado norte americano e, pela ausência de metais como o cromo, arsênio e boro, é considerada uma opção mais limpa e com menor potencial toxicológico. Estudos demonstram uma boa resistência a organismos xilófagos e baixos níveis de deterioração em contato com o solo. No entanto, ainda há a preocupação com a lixiviação do cobre, que é superior ao CCA (Zhang, 2015). Na NBR 16143 (ABNT, 2024), é referido

como CA-C (μ CA-C) e o define como “produto preservativo à base de cobre micronizado, tebuconazole e propiconazole (tipo C)”. Segundo Humberto Tufolo Netto, coordenador técnico do Núcleo da Madeira, no Brasil o uso desse preservativo ainda é uma realidade pouco consolidada, principalmente devido ao custo elevado do produto, que pode representar o dobro do valor investido em preservativos hidrossolúveis convencionais, com apenas uma usina utilizando o produto no estado do Paraná. O Quadro 5 traz os valores trazidos na NBR 16143 (ABNT, 2024) para o balanceamento dos ingredientes ativos para esse produto preservativo.

Quadro 5 - Balanceamento dos ingredientes ativos na solução de μ CA-C

Ingrediente ativo	Mínimo (%)	Máximo (%)
Cobre	95,4	96,8
Tebuconazol	1,6	2,3
Propiconazol	1,6	2,3

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16143 (2024)

O ACQ (*Alkaline Copper Quaternary*), segundo o ECCC (*Environment Climate Change Canada*), é uma tecnologia desenvolvida no Canadá e posteriormente aprimorada nos Estados Unidos. Sua produção comercial começou no final da década de 1980, em regiões como Europa, Japão e EUA. No Canadá, os produtos de madeira tratados com ACQ passaram a ser produzidos comercialmente apenas a partir de 2004. Em 2012, havia 22 instalações canadenses utilizando ACQ, sendo que 8 delas o empregavam como único preservativo.

O ACQ, ou cobre quaternário alcalino, é um preservativo de madeira desenvolvido como alternativa aos preservativos tradicionais. Também se trata de um produto à base de cobre, em que o principal ingrediente ativo é o óxido de cobre (CuO), associado a compostos de amônio quaternário, que atuam como agentes fungicidas e inseticidas. A formulação é solubilizada em soluções alcalinas, com pH entre 8 e 11, geralmente usando etanolamina ou amônia. Dentre as variantes desse preservativo, o tipo ACQ-D é o mais amplamente utilizado pela indústria de tratamento de madeira, especialmente na América do Norte, sendo aplicado em

peças como mourões, cercas e estruturas expostas ao tempo. Sua composição confere resistência biológica à madeira, protegendo-a contra o ataque de organismos xilófagos, sem o uso de elementos como o arsênio ou o cromo. Geralmente, um fungicida contra mofo é adicionado à solução preservativa para controlar o crescimento de fungos de mofo e emboloradores na madeira, essa adição é importante para complementar a proteção proporcionada pelos principais ativos do ACQ. Uma desvantagem quanto ao seu uso é a alta corrosividade em contato com elementos metálicos, sendo necessário o uso de fixadores resistentes à corrosão (Nkansah, 2015). O Quadro 6 traz os valores do instituto canadense ECCC do balanceamento dos ingredientes ativos do ACQ. Não há registro de usinas que utilizam esse produto preservativo no mercado brasileiro e valores de referência em normas brasileiras.

Quadro 6 - Balanceamento dos ingredientes ativos de ACQ-D

Ingredientes ativos	Teor (%)
CuO (óxido de cobre)	66,7
DDAC (quaternário como cloreto de didecil dimetil amônio)	33,3
Fungicida contra mofo e emboloradores	Traços

Fonte: ECCC (2017)

No entanto, segundo Lepage e Salis (2015), os preservativos de nova geração, como o MCA e o ACQ, não solucionam integralmente as problemáticas associadas aos preservativos convencionais. Embora isentos de cromo e arsênio, ainda utilizam o cobre como princípio ativo. Além disso, apresentam maior índice de lixiviação do metal em comparação ao CCA, o que compromete sua durabilidade em longo prazo. O setor ainda enfrenta o desafio de desenvolver um preservativo eficaz, de base orgânica e livre de metais.

2.4. Métodos de tratamento

2.4.1. Tratamentos passivos

Conforme detalha Moreschi (2013), existem diferentes situações de emprego da madeira que demandam tratamento para prolongar sua vida útil. Contudo, diversos contextos podem requerer métodos mais simplificados de preservação, seja por limitações de custo, dificuldade de transporte ou pela necessidade de aplicação *in loco*, após a instalação da estrutura.

O primeiro método simplificado é o pincelamento ou pulverização, que consiste na aplicação de soluções preservativas diretamente na superfície da madeira seca, por meio de pincel ou pulverizador, sendo essencial considerar a compatibilidade entre o preservativo e a espécie de madeira utilizada. Ressalta-se, no entanto, que a penetração do produto é superficial, resultando em um tratamento menos eficaz. A pulverização é recomendada especialmente em áreas de difícil acesso ou em estruturas já montadas. O segundo método é o encharcamento, que envolve a imersão da madeira seca em solução preservativa até que se atinja o nível desejado de penetração. Apesar de simples, esse método também apresenta menor eficiência e confere menor durabilidade à madeira tratada em comparação a outros processos. Por fim, o método de substituição da seiva consiste em submergir parcialmente a madeira com alto teor de umidade em um tanque contendo solução preservativa, deixando a outra extremidade exposta ao ar. A evaporação da água promove, por capilaridade, a absorção do preservativo pela madeira (Moreschi, 2013).

2.4.2. Tratamentos ativos

Os tratamentos ativos caracterizam-se por processos de impregnação realizados sob pressão superior à atmosférica, que se mostram mais eficientes devido à maior uniformidade na penetração e distribuição do preservativo na peça tratada. Além disso, esses métodos permitem um controle mais rigoroso da quantidade de preservativo absorvido, o que contribui para a garantia de uma proteção mais eficaz da madeira (Rocha, 2001).

Conforme estabelece a NBR 16143 (ABNT, 2024), a secagem é uma das etapas mais importantes na produção de madeira tratada, por garantir o cumprimento dos parâmetros de qualidade exigidos no processo. O tratamento só deve ser realizado quando a madeira estiver adequadamente seca, ou seja, apresentar teor de umidade inferior ao ponto de saturação das fibras. Para a aplicação de impregnantes, tintas ou vernizes, o teor de umidade deve estar em equilíbrio com as condições climáticas predominantes nas principais regiões do país. Entre os métodos disponíveis, destacam-se a secagem natural ao ar livre e a secagem artificial em estufas com temperaturas elevadas. Assim, é fundamental avaliar qual método oferece a melhor relação custo-benefício para cada caso. O Quadro 7 traz as faixas de variação para os teores de umidade recomendados para realizar o tratamento.

Quadro 7 - Teores de umidade da madeira recomendados para as condições climáticas das principais localidades do país

Localidade	Faixa de variação recomendada do teor de umidade para peças de madeira em uso interno (%)
Belém (PA)	16,6 - 20,6
Belo Horizonte (MG)	11,8 - 15,8
Brasília (DF)	10,3 - 14,3
Curitiba (PR)	14,8 - 18,8
Cuiabá (MT)	11,9 - 15,9
Fortaleza (CE)	12,8 - 16,8
Goiânia (GO)	11,1 - 15,1
Manaus (AM)	15,2 - 19,2
Porto Alegre (RS)	13,0 - 17,0
Recife (PE)	13,5 - 17,5
Rio de Janeiro (RJ)	13,4 - 17,4
Salvador (BA)	14,0 - 18,0
São Paulo (SP)	11,0 - 15,0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16143 (2024)

Em Florianópolis (SC), considerando uma umidade relativa do ar de 82,2% e temperatura de 20,3°C, o teor de umidade de equilíbrio da madeira é de 16,8%, calculado de acordo com ASTM D 4933-91 “*Standard Guide for Moisture Conditioning of Wood and Wood-Base Materials*” (Zenid, 2009).

2.4.2.1. Método da célula cheia

Um dos principais avanços na indústria de preservação de madeira ocorreu em 1838, quando o creosoto passou a ser impregnado na madeira sob pressão em um processo que ficaria conhecido como célula-cheia ou método Bethell, em virtude do seu criador, John Bethell (Carvalho *et al.*, 2018).

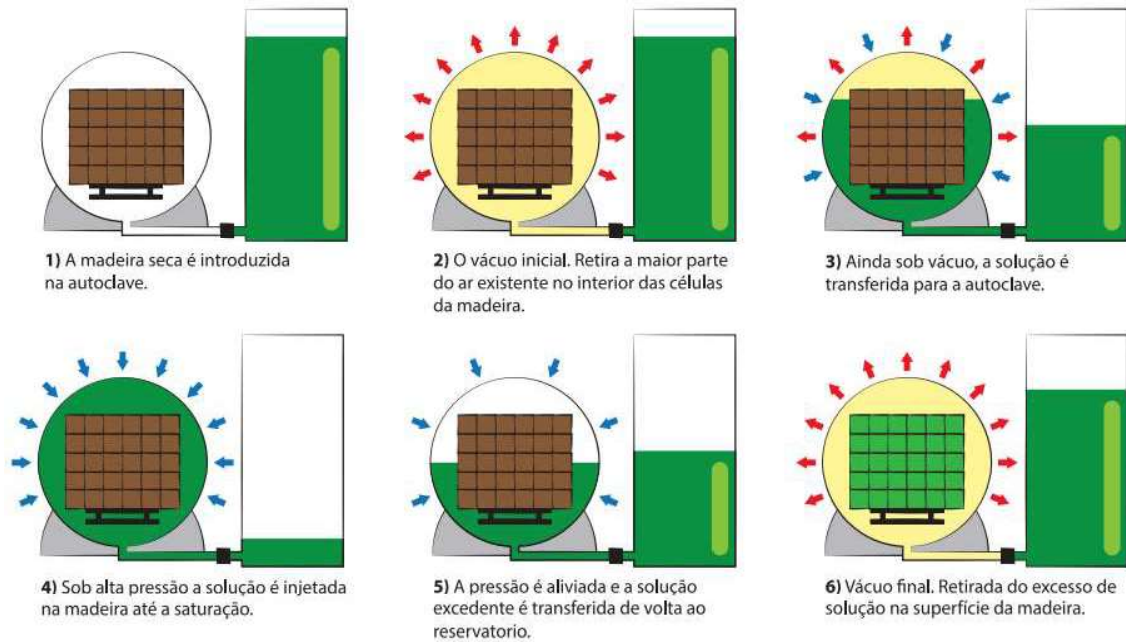
Conforme detalha Lepage (1986), o processo de célula cheia é composto por seis etapas principais.

- Primeiramente, realiza-se o carregamento da madeira seca na autoclave.
- Em seguida, aplica-se um vácuo inicial, com duração de 30 minutos a 1 hora, a depender da permeabilidade da madeira, com o objetivo de extrair o ar presente nas camadas celulares, facilitando a penetração do preservativo.
- Após isso, ocorre a admissão da solução preservativa, aproveitando-se o vácuo existente no interior da autoclave para garantir sua entrada na madeira.
- Ao final dessa etapa, a autoclave deve estar completamente preenchida com a solução, sem a presença de ar.
- Na sequência, aplica-se pressão, geralmente na ordem de 12 kgf/cm², para que a madeira absorva a quantidade desejada de preservativo. O tempo de aplicação da pressão varia conforme a espécie de madeira e sua permeabilidade, geralmente superior para as espécies de folhosas.
- Finalizado esse tempo, realiza-se a descarga do preservativo, que acontece inicialmente por diferença de pressão entre a autoclave e o tanque reservatório, podendo ser complementada por bomba, se necessário.
- Por fim, executa-se um vácuo final de curta duração, com o intuito de eliminar o excesso de solução preservativa da superfície da madeira.

As seis etapas que compõem o método da célula cheia podem ser visualizadas de forma sintetizada no esquema apresentado na Figura 7, que

organiza o fluxo do processo de maneira clara e sequencial.

Figura 7 - Esquema de tratamento pelo processo Bethell.



Fonte: Lepage; Salis (2015)

Na Figura 8 é apresentada a autoclave, equipamento de paredes espessas utilizado para o tratamento ativo sob pressão. Esse sistema é capaz de aplicar tanto pressão quanto vácuo, etapas essenciais para a realização do método de tratamento preservativo.

Figura 8 - Autoclave utilizada no tratamento de madeiras.



Fonte: Seller Mecânica Industrial e Comercial Ltda

2.4.2.2. *Método da célula vazia*

Segundo Carvalho *et al.* (2018), com o objetivo de reduzir os custos do tratamento com creosoto, foi desenvolvido, em 1902, o método que ficou conhecido como célula-vazia. O processo consiste na aplicação inicial de pressão de ar, seguida pela injeção do preservativo sob pressão. Após essa etapa, a pressão é liberada, permitindo que o excesso de produto seja expelido naturalmente dos lúmens celulares, resultando em uma retenção menor do que nos métodos de célula-cheia. Em seguida, aplica-se vapor e vácuo para eliminar o ar residual e minimizar o vazamento do preservativo, promovendo um tratamento mais limpo. Esse método é indicado quando se busca boa penetração do produto, mas com baixa retenção, sendo apropriado para madeiras destinadas a ambientes com menor risco de deterioração.

2.4.2.3. *Método do duplo-vácuo*

Conforme Lepage (1986), o processo consiste em cinco etapas: introdução da madeira no recipiente de tratamento; aplicação de um vácuo inicial para remoção do ar presente nas células; enchimento do recinto com o preservativo ainda sob vácuo; retorno à pressão atmosférica; e, por fim, um período de impregnação, em que a madeira continua a absorver o produto sob pressão atmosférica ou sob leve vácuo, a fim de favorecer sua penetração. Trata-se de um método semelhante ao da célula-cheia, porém com pressões significativamente menores, sendo indicado apenas para aplicações que demandam penetração limitada do preservativo.

2.5. Normas técnicas vigentes

Conforme detalha Silva (2014), o setor de preservação de madeiras conta com normas técnicas desde 1973 e atualmente dispõe das seguintes:

- NBR 6232 – Retenção e penetração de preservativos de madeira tratada sob pressão (ABNT, 2013);
- NBR 6236 – Madeiras para carretéis para fios, cordoalhas e cabos (ABNT, 2004);
- NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 2022);
- NBR 7511 – Dormentes de madeira – Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2013);
- NBR 9480 – Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais - Requisitos (ABNT, 2009);
- NBR 16143 – Preservação de madeiras – Sistema de categorias de uso (ABNT, 2024);
- NBR 16201 – Cruzetas roliças de eucalipto preservado para redes de distribuição elétrica (ABNT, 2013);
- NBR 16202 – Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição elétrica - Requisitos (ABNT, 2013).

Outra norma muito importante, porém não específica para o setor é a NBR 5426 – Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos (ABNT, 1989).

Conforme estabelecido no Certificado de Registro nº 292 do Ibama para o produto preservativo Osmose K33 C60 (nome comercial da Montana Química para o CCA), as Usinas de Preservação de Madeira devem dispor de equipamentos adequados para o tratamento em sistema de vácuo-pressão. Entre os requisitos, estão: tanque para armazenamento da solução preservativa, bombas de vácuo, bombas de pressão e de transferência, além da autoclave (descrita como vaso de pressão dimensionado para resistir às pressões aplicadas no processo). Também se exige a presença de um fosso sob a porta do cilindro, destinado à coleta de eventuais derramamentos durante a operação ou em situações de emergência.

2.6. Categorias de uso

Segundo Flávio Geraldo, ex-presidente da ABPM, o conceito de separação por categorias de uso foi publicado pela primeira vez pela *American Wood Protection*

Association (AWPA) nos Estados Unidos em 1999. No Brasil, tornou-se norma em 2013 através da NBR 16143, intitulada “Preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso”. Esse sistema e normativa têm como finalidade especificar o tipo de uso de cada produto de tratamento registrado, métodos de aplicação e retenção de preservativo por metro cúbico de madeira, conforme detalhado no Quadro 8.

Quadro 8 - Sistema de categorias de uso conforme a condição de uso da madeira e tipo de organismo xilófago presente no local

Categoria de uso	Condições de uso da madeira	Organismo xilófago
1	Interior de construções, sem o contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidas das intempéries e das fontes internas de umidade e em locais livres do acesso de cupins subterrâneos ou arborícolas	Cupim de madeira seca Broca de madeira
2	Interior de construções em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidas das intempéries e das fontes internas de umidade	Cupim de madeira seca Broca de madeira Cupim subterrâneo Cupim arborícola
3	Interior de construções, sem contato com o solo e protegidas das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostas às fontes de umidade.	Cupim de madeira seca Broca de madeira Cupim subterrâneo Cupim arborícola Fungo embolorador ou manchador Fungo apodrecedor
4	Uso exterior, sem contato com o solo e sujeitas às intempéries	Cupim de madeira seca Broca de madeira Cupim subterrâneo Cupim arborícola Fungo embolorador ou manchador Fungo apodrecedor
5	Uso interior ou exterior, em contato com o solo, água doce, engastada em concreto ou alvenaria, em condições que permitam o acúmulo de umidade	Cupim de madeira seca Broca de madeira Cupim subterrâneo Cupim arborícola Fungo embolorador ou manchador Fungo apodrecedor
6	Uso em contato com a água salgada ou salobra	Cupim de madeira seca Broca de madeira Cupim subterrâneo Cupim arborícola Fungo embolorador ou manchador Fungo apodrecedor

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16143 (2024)

A NBR 16143 (ABNT, 2024) também estabelece os valores de retenção e penetração de preservativos aplicados à madeira tratada, conforme a categoria de uso. No Quadro 9, são apresentados os parâmetros exigidos para a categoria 4.

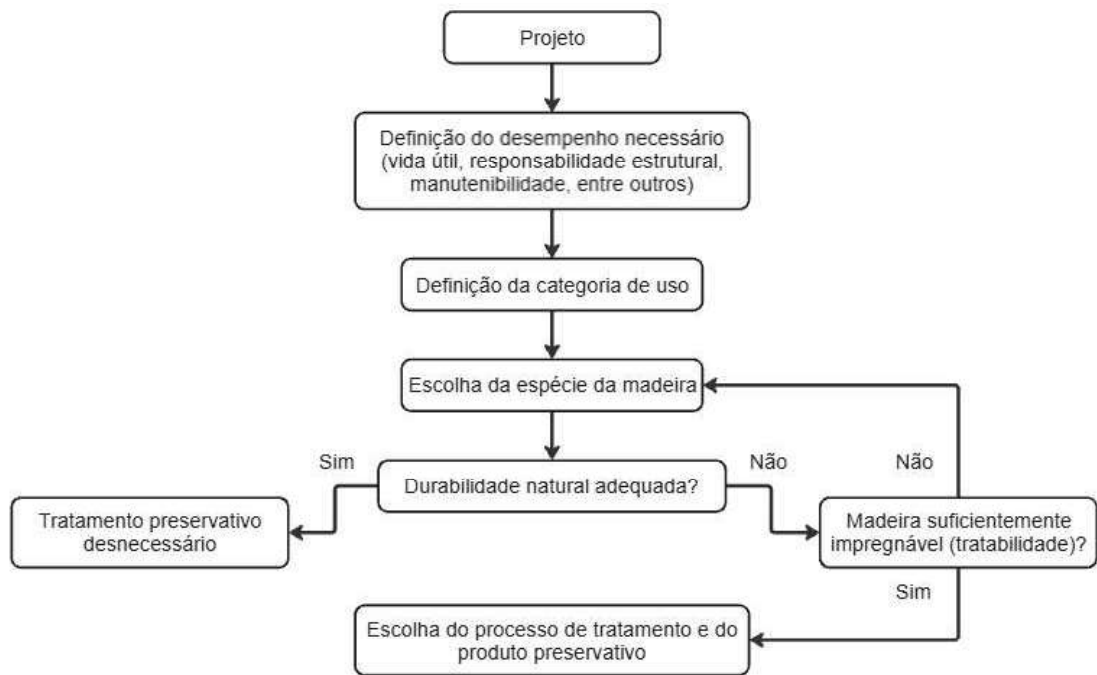
Quadro 9 - Combinações entre produtos e processos para a categoria de uso 4 para madeira serrada e roliça

Aplicação	Processo de tratamento	Preservativo	Retenção mínima (kg de i.a./m ³)	Penetração
Madeira serrada, roliça	Sob pressão	CCA e CCB	4,0 ^d	100% da porção permeável
			6,5 ^b	
<p>b Deve ser adotado o maior valor de retenção de produto preservativo para os componentes estruturais de difícil manutenção, reparo ou substituição, e/ou críticos para o desempenho e segurança do sistema construtivo</p> <p>d Para sistemas estruturais redundantes (por exemplo, wood frame) recomenda-se esta retenção para edificações unifamiliares térreas ou assobradadas</p>				

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16143 (2024)

A NBR 7190-1 (ABNT, 2022) estabelece um fluxograma para a escolha da madeira e a definição da necessidade de tratamento, de acordo com sua categoria de uso, como demonstrado na Figura 9. Esse procedimento é fundamental para o correto dimensionamento, especificação e desempenho da estrutura ao longo do tempo.

Figura 9 - Fluxograma de preservação



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7190-1 (2022)

A NBR 16143 (ABNT, 2024) também apresenta os principais usos da madeira preservada, classificando-os conforme suas prováveis categorias de uso. Entre os produtos mencionados, destacam-se: portas, elementos de fundação, colunas e pilares, escadas, forros, guarda-corpos, esquadrias (como janelas), decks, pisos, estruturas para *playgrounds*, postes para redes de distribuição de energia, rodapés, soleiras, vigas e barrotes, entre outros. A Figura 10 mostra a madeira preservada aplicada em estruturas de telhado. Essa ampla gama de aplicações evidencia a versatilidade da madeira preservada como material construtivo e, conseqüentemente, reforça a necessidade de uma categorização criteriosa conforme as exigências de desempenho, durabilidade e segurança de cada uso específico.

Figura 10 - Vista de tesouras de madeira em telhados residenciais



Fonte: Lepage; Salis (2015)

2.7. Controle de qualidade

O setor de madeira tratada no Brasil ainda é fortemente influenciado pelo fator preço. Muitos consumidores, por desconhecerem as normas e legislações aplicáveis, optam por produtos mais baratos, sem comprovação laboratorial de qualidade, o que compromete a durabilidade e o desempenho do material. A falta de controle de qualidade adequado gera falhas que não decorrem das propriedades da madeira em si, mas do não atendimento às exigências normativas — o que poderia ser evitado com fiscalização técnica e ensaios apropriados. Além disso, muitas usinas operam sem registro no IBAMA e sem controle dos parâmetros de tratamento, o que depõe contra o material. Assim, legislação e normas técnicas se mostram fundamentais para assegurar a confiabilidade da madeira preservada (Silva, 2014).

A ABPM mantém um programa de certificação e autorregulamentação voltado aos seus associados, denominado Qualitrat, que estabelece diversos requisitos relacionados à preparação da solução preservativa, infraestrutura, capacitação de equipes, conformidade com normas técnicas, realização de ensaios laboratoriais, entre outros aspectos. O programa é estruturado em três níveis de exigência: Ouro, Prata e Bronze. Atualmente, sete empresas no país possuem essa certificação (ABPM, 2020).

2.8. Destinação final dos resíduos de madeira tratada

Em conformidade com as diretrizes ambientais, veda-se a combustão de resíduos e peças de madeira tratada — seja sob a forma de carvão, briquetes ou lenha doméstica — em virtude da liberação de efluentes gasosos tóxicos. Adicionalmente, restringe-se seu emprego em apicultura, especificamente em componentes de colmeias com contato direto com o mel, visando mitigar riscos de contaminação química.

Como alternativa prioritária ao descarte, preconiza-se o reuso em aplicações de menor exigência técnica e isentas de contato humano prolongado, tais como a confecção de paletes, cachepots, estacas, cercas e dormentes decorativos. Sob a ótica normativa, a NBR 10004-2 (ABNT, 2024) classifica os resíduos de madeira tratada oriundos da construção civil como Classe I (perigoso), reconhecendo sua reciclabilidade para uso em compósitos cimentícios, plásticos e outros materiais.

Nas situações em que o descarte final se impõe, as opções tecnicamente viáveis incluem: a disposição em aterros industriais licenciados, conforme os requisitos da NBR 10004-2 (ABNT, 2024); a incineração controlada em fornos devidamente autorizados; ou o coprocessamento energético como biomassa em cimenteiras, alternativa apontada por Lepage e Salis (2015) como ambientalmente segura.

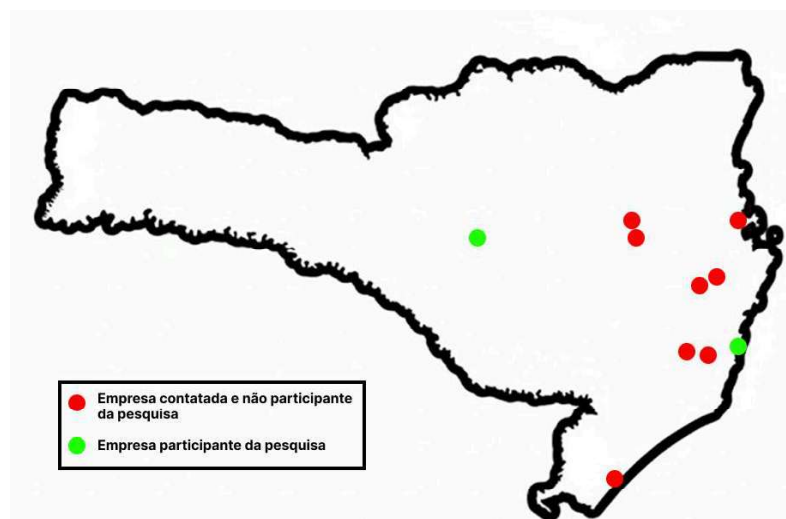
3. MÉTODO

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-exploratório. A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso múltiplo, que permite uma investigação empírica profunda de um fenômeno contemporâneo em seu contexto real (Lakatos; Marconi, 2003).

Após a escolha do tema, foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de caracterizar a o material madeira, identificar seus agentes degradadores e os possíveis tratamentos preservativos e as normativas vigentes.

Para atingir os objetivos deste trabalho, foram selecionadas empresas de preservação de madeira localizadas no estado de Santa Catarina. Foram levantadas e contatadas dez empresas de diferentes regiões em Santa Catarina e, destas, apenas duas responderam. As empresas foram contatadas e estão representadas no mapa da Figura 11 abaixo:

Figura 11 - Mapa com as empresas contatadas no contexto catarinense.



Fonte: Elaboração própria (2025).

As duas empresas foram confirmadas para esta pesquisa conforme os critérios: tempo de atuação no mercado, disponibilidade de acesso aos dados,

representatividade regional e inserção no mercado da construção civil. Para fins de confidencialidade na pesquisa, as unidades de análise foram designadas como:

- Empresa A: Fundada em 2006, localizada em Curitiba/SC, na região do planalto serrano.
- Empresa B: Operando desde 2003, localizada em Garopaba/SC, no litoral do estado.

A coleta de dados primários ocorreu por meio de três técnicas principais: visitas técnicas às empresas, observação direta não participante e entrevistas semiestruturadas.

a. Entrevistas Semiestruturadas: foram conduzidas entrevistas com os gestores responsáveis pelos processos de preservação em cada empresa. O roteiro de entrevista foi estruturado em quatro eixos temáticos principais, como descrito abaixo:

i. Caracterização da Empresa: Histórico, localização e perfil de produtos.

- Características gerais da empresa: localização, dimensão do terreno, zoneamento (área de tratamento, estoques intermediário, tratamento, secagem, estoque final)
- Quais as espécies que trabalham e quais as aplicações?
- Quem são os clientes?

ii. Fluxo de Produção: Critérios de seleção da madeira, influência da sazonalidade, métodos de secagem e beneficiamento.

- Como ocorre a seleção da matéria prima e quais características são priorizadas junto ao fornecedor?
- Como a sazonalidade ou a origem da floresta influencia na qualidade do lote do produto final?
- Além da sazonalidade, há outros fatores que afetam a qualidade final?
- Há protocolos para garantir uniformidade na qualidade da matéria-prima recebida?

- São feitos testes? O que há na prática de bom e ruim? Há pontos de melhoria?
- Como deveria ser um bom fornecimento da madeira, na sua perspectiva?
- Como ocorre a serragem e beneficiamento da madeira e onde ela é armazenada?
- De que forma é feita a secagem da madeira pré-tratamento e qual a umidade desejada para o tratamento? É feito controle constante desse valor?

iii. Processo de Tratamento: Tipos de preservativos químicos utilizados, parâmetros de autoclave como tempo, pressão, e vácuo, segurança no manuseio e controle de penetração/retenção.

- Qual o produto preservativo utilizado e se há conhecimento de outros em conversas com a indústria e fornecedores?
- Como são e como chegam os recipientes de produto químico na empresa? De que forma são armazenados e como é feita a proteção dos funcionários?
- Quais as diferenças adotadas no processo de tratamento para pinus e eucalipto?
- Durante o tratamento, quais os parâmetros e etapas controlados nos equipamentos utilizados durante o tratamento e quais os pontos de atenção no processo?
- Quanto tempo, em média, dura um tratamento de madeira em autoclave? Muda de acordo com a espécie (pinus e eucalipto)?
- Você, com o conhecimento adquirido na prática, nota alguma mudança no comportamento da madeira antes e depois do tratamento?
- Como é controlada uma correta penetração e retenção da solução preservativa?
- A partir do tratamento, como são armazenadas?

iv. Mercado e Qualidade: Controle dimensional, gestão de resíduos, conformidade normativa e percepção sobre o futuro do setor da madeira tratada na construção civil.

- Quais são seus principais produtos para a construção civil?
- É feito um controle dimensional dos perfis comercializados?
- De que forma é feito o descarte de sobras de madeira tratada?
- Pode compartilhar algum aprendizado ou aprimoramento que a empresa tenha passado ao longo do tempo para garantir uma melhor qualidade ou confiabilidade do material?
- Já foram ou são feitos ensaios laboratoriais para controle do material?
- Como você enxerga o mercado de madeira tratada e quais as dificuldades do setor, na sua visão?
- Na sua percepção, qual a prioridade de clientes e construtoras? Custo ou confiabilidade/qualidade?
- De que forma você enxerga o futuro do setor e quais as inovações tecnológicas que você espera?

b. Visitas Técnicas e observação direta: realizaram-se visitas *in loco* às instalações fabris, onde foi possível observar a infraestrutura, os equipamentos (autoclaves, tanques, sistemas de vácuo/pressão) e o fluxo operacional. Durante as visitas, efetuou-se o registro fotográfico para documentação dos processos de recepção da matéria-prima, secagem, tratamento químico e armazenamento final.

Os dados coletados foram tratados por meio de análise qualitativa descritiva. O fluxo produtivo das empresas foi sistematizado em etapas sequenciais: seleção, secagem, beneficiamento, tratamento e controle de qualidade, permitindo a comparação direta entre os estudos de caso e as normas técnicas pertinentes: NBR 16143 (ABNT, 2024) e NBR 7190: Parte 1 (ABNT, 2023). Assim, buscou-se identificar padrões de similaridade e diferenciação entre as práticas da Empresa A e da Empresa B, avaliando a adequação dos processos aos requisitos de durabilidade e segurança exigidos para o uso estrutural da madeira.

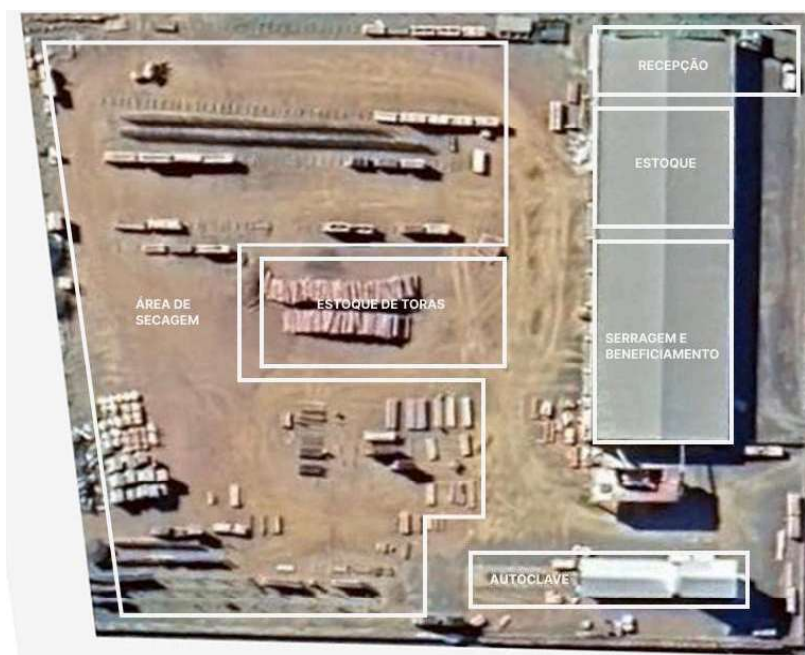
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os fluxos de produção das madeiras de pinus e de eucalipto tratadas em autoclave por duas empresas no estado de Santa Catarina, comparando os dois casos e analisando as conformidades dessas práticas com os requisitos estabelecidos pelas normas técnicas, bem como a percepção do mercado na visão das empresas e visão para o futuro.

4.1. Empresa A: Processo de produção de pinus e de eucalipto tratado em autoclave

A Empresa A, situada no município de Curitibanos, na região serrana de Santa Catarina, trabalha principalmente com madeira serrada de pinus tratada para a cadeia da construção civil, incluindo peças de uso estrutural, vedação e acabamentos. Também, produz e comercializa toras de eucalipto tratado para os setores rural e industrial, desde cercas até peças estruturais para galpões. Atualmente, sua produção se divide em, aproximadamente, 80% pinus e 20% eucalipto. Mensalmente, a empresa trata de 250 a 350 m³ de madeira. Abaixo está a disposição da planta fabril da empresa, mostrada na Figura 12.

Figura 12 - Planta fabril da Empresa A



Fonte: Elaboração própria (2025).

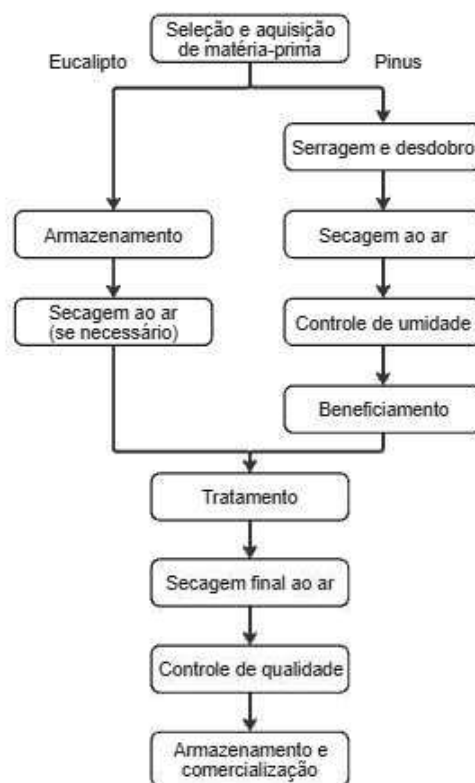
A empresa dá preferência à espécie *Pinus taeda* devido à sua ampla disponibilidade e à boa adaptabilidade às condições do planalto serrano catarinense. Além disso, segundo o gestor, trata-se de uma espécie com menor teor de resina, o que facilita o beneficiamento. Os produtos comercializados pela empresa abrangem diversas aplicações, incluindo elementos estruturais, como montantes, vigas, pilares, e pranchões para construções em madeira.

No caso do eucalipto, a empresa trabalha com três espécies: *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, sendo esta última geralmente fornecida por empresas do litoral catarinense. De modo geral, segundo o gestor, as três espécies apresentam características semelhantes. O eucalipto é comercializado na forma de toras roliças, classificadas por diâmetro: os perfis mais finos, entre 8 e 16 cm de diâmetro, são destinados principalmente ao uso rural, como cercas e mourões; já os perfis maiores, entre 20 e 35 cm, são empregados na construção civil, em telhados, galpões e estruturas agrícolas.

Na sequência, detalha-se o processo de produção da Empresa A para essas madeiras tratadas de pinus e de eucalipto para a construção civil, desde a

aquisição até o produto final, como está demonstrado no fluxograma da Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma do processo produtivo da Empresa A



Fonte: Elaboração própria (2025).

4.1.1. Aquisição e armazenamento de matéria-prima de pinus e de eucalipto

A empresa A adquire a matéria-prima de pinus e de eucalipto em toras inteiras. Dessa forma, procura assumir o controle de qualidade da produção da madeira desde o desdobro das peças serradas de pinus. A empresa trabalha com um rol de três fornecedores de Santa Catarina que operam com ciclos contínuos de reflorestamento e colheita, o que garante regularidade no abastecimento.

Nessa aquisição, a empresa observa junto aos fornecedores a idade da floresta e as práticas de manejo, desgalhe e corte nas florestas de pinus, que influenciarão a qualidade do produto final, principalmente na quantidade de nós presentes. A seleção da matéria-prima madeira é orientada pela posição da tora ao longo do fuste da árvore. A empresa prioriza toras extraídas da porção basal da

árvore, onde há menor incidência de nós, resultando em peças chamadas “madeiras limpas”. Com essa prática, a empresa busca maximizar o rendimento em produtos de maior valor agregado.

As toras são armazenadas em pilhas no pátio, conforme a Figura 14. Observa-se, através de medição, que, nesta etapa, a madeira recém-abatida apresenta alto teor de umidade, como citado na revisão bibliográfica.

Figura 14 - Armazenamento da madeira de pinus em toras no pátio da Empresa A.



Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 15 apresenta a seção radial de um exemplar de *Pinus taeda* antes da etapa de desdobro no pátio da empresa.

Figura 15 - Seção radial de uma tora de *Pinus taeda* fornecida à Empresa A



Fonte: Autoria própria (2025).

Quando um fornecedor é novo para a empresa ou quando há alteração na origem da floresta fornecida, é realizado um desdobro de um lote inicial de pinus antes de sua incorporação ao fluxo regular de produção. Esse desdobro tem como objetivo verificar o desempenho da madeira e seu resultado de conversão após o processamento. Nessa avaliação, observam-se a qualidade das peças serradas e principalmente a quantidade de nós presentes. Ao verificar uma presença elevada de nós não sadios e, conseqüentemente, um mau resultado de conversão da madeira serrada, pode ser necessário interromper o fornecimento dessa floresta ou buscar outro fornecedor. Na Figura 15, há um exemplo de uma peça recém serrada com um nó não conforme que precisará ser descartada.

Figura 15 - Peça serrada de pinus com a presença de nó não conforme



Fonte: Autoria própria (2025).

No caso do eucalipto, o fornecedor já entrega a matéria-prima em seu formato roliço e descascado, conforme mostra a Figura 17. Entre as características observadas nos lotes recebidos destacam-se a retilidade das toras e a presença de rachaduras acentuadas, ainda que esse tipo de fissuração em algum nível seja comum e esperada na espécie.

Figura 17 - Armazenamento de toras de eucalipto no pátio da Empresa A.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.2. Serragem e desdobro da madeira de pinus e preparação das toras de eucalipto

No desdobro da madeira de pinus, as toras são serradas com maquinários como serras fitas, serras múltiplas e destopadeiras conforme mostrado na Figura 17 para obter peças com seções retangulares ou quadradas e comprimentos com dimensões comerciais. Nessa fase, o operador avalia visualmente o melhor aproveitamento da tora, identificando a orientação de corte mais adequada e verificando a presença de nós e outras características que possam influenciar a qualidade das peças obtidas, avaliando inclusive potenciais descartes. A empresa costuma trabalhar com peças entre 2 e 4,20 metros.

Nesse estágio, em que a madeira apresenta elevada umidade, a NBR 16.143 (ABNT, 2024) recomenda a aplicação de fungicida em peças recém-serradas para proteção contra fungos emboloradores. Entretanto, essa prática não é adotada pela empresa, uma vez que, conforme citado na fundamentação teórica, esses fungos não comprometem a integridade estrutural da madeira.

Figura 18 - Serra fita utilizada para o desdobro de pinus.



Fonte: A autoria própria (2025).

No caso do eucalipto, o produto é comercializado exclusivamente em seu formato roliço, chegando dessa forma diretamente do fornecedor e demandando nenhuma etapa adicional de preparação na planta fabril, cabendo à empresa controlar apenas o comprimento da peça comercializada.

4.1.3. Secagem

A etapa de secagem da madeira é crucial antes do tratamento, pois sua umidade deve ser reduzida para permitir a correta penetração e absorção do produto preservativo.

Assim, finalizada a etapa de desdobro, a madeira serrada de pinus é gradeada e armazenada no pátio com espaçamento entre as peças para garantir um correto fluxo de ar visando a secagem (Figura 19). A empresa dá preferência à secagem natural, ao ar livre, relatando que este método gera uma perda significativamente menor, com cerca de 3%, por colapso ou empenamento em comparação a secagem em estufa, entre 15% a 20%, uma vez que na estufa há contato com calor e uma perda acelerada de umidade e, portanto, um maior colapso das fibras da madeira.

Figura 19 - Peças de pinus gradeadas no pátio da Empresa A para secagem natural



Fonte: Autoria própria (2025).

A empresa adota como teor de umidade ideal valores de aproximadamente 15% para o pinus e 25% para o eucalipto, realizando o controle contínuo por meio de medidor de umidade para madeira com martelete e agulhas, que permitem a penetração no interior do material, conforme ilustrado na Figura 20. Estima-se que o processo de secagem do pinus leve, em média, de 15 a 20 dias, podendo variar em função das condições climáticas. Durante a visita técnica, o teor de umidade medido in loco foi de 18%.

A Empresa A está localizada em uma região com condições climáticas de umidade relativa e temperatura média semelhantes às do município de Curitiba (PR). De acordo com a NBR 16143 (ABNT, 2024), a faixa recomendada de teor de umidade para a madeira a ser tratada nessa região, apresentada na Quadro 7, situa-se entre 14,8% e 18,8%. Dessa forma, observa-se que tanto os valores informados pelo gestor quanto a medição realizada no local estão em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela norma.

Via de regra, o eucalipto já chega seco e descascado do fornecedor, com umidade inferior a 20%. Quando necessário, as peças são encaminhadas novamente ao pátio para secagem ao ar livre, não sendo utilizada estufa para sua secagem. Também é necessário que sejam empilhadas espaçadas entre si para

garantir o fluxo de ar para a secagem. Estima-se que uma tora com 20 cm de diâmetro demande entre 75 e 90 dias para atingir o teor de umidade de equilíbrio adequado, enquanto peças de aproximadamente 10 cm de diâmetro levam cerca de 40 dias quando secas ao ar livre no pátio.

Figura 20 - Controle de umidade da madeira de pinus serrada.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.4. Beneficiamento da madeira serrada de pinus

Após a secagem, inicia-se o processo de beneficiamento das madeiras serradas de pinus. Esta etapa é responsável pela definição das dimensões finais das peças de pinus, envolvendo operações como corte, aplainamento e, quando necessário, fresagem, deixando o material pronto para o tratamento preservativo. As plainas utilizadas no beneficiamento são reguladas com precisão milimétrica, possibilitando um elevado controle dimensional da sua produção.

Como já mencionado, diferente do pinus serrado e beneficiado em elementos de seção retangular, o eucalipto é comercializado na forma de toras roliças, classificadas por diâmetro e já são adquiridas por essa classificação.

4.1.5. Recebimento e armazenamento dos produtos preservativos

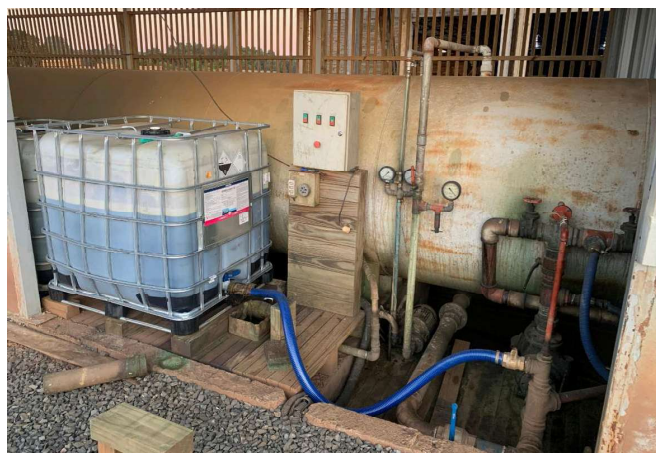
A empresa realiza predominantemente tratamentos em autoclave utilizando preservativo CCA, embora também execute tratamentos com CCB, com na média 5% do volume total tratado.

O CCA utilizado é na forma óxida, o Osmose K33 C60 da Montana Química, que corresponde a 60% de ingredientes ativos, chega em contentores com capacidade de 1000 L e, ao chegar à usina de tratamento, é movimentado através de empilhadeira até uma área coberta próxima ao autoclave e à casa de bombas. Na sequência, conforme a Figura 21, uma mangueira é engatada entre o bocal do contentor e o sistema de bombeamento, que, por sua vez, transfere a solução para o reservatório de autoclave.

Segundo a empresa, esse manuseio direto do recipiente contendo a solução é pontual, o que limita a exposição dos trabalhadores ao produto. Ainda assim, os operadores utilizam os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) recomendados, principalmente luvas, aventais e óculos.

Os contentores vazios são recolhidos pelo próprio fornecedor durante a entrega de um novo lote de preservativo, sendo então devolvidos e encaminhados à fábrica para o devido reaproveitamento.

Figura 21 - Conexão entre contentor de CCA e o sistema de bombas da autoclave.



Fonte: Autoria própria (2025).

O processo é semelhante para o CCB, que é utilizado o MOQ OX50 CCB da Montana Química. Contudo, a empresa relata que, por se tratar de um preservativo ligeiramente mais caro, os consumidores tendem a optar pelo produto tratado com CCA, cujo custo final é menor, o que reduz a utilização do CCB. Esse preservativo é fornecido em tambores metálicos por apresentar maior densidade e uma consistência mais pastosa, exigindo diluição durante o processamento. Após o esvaziamento, os tambores tornam-se resíduos que são enviados para reciclagem. Durante a visita, não foi possível observar o manuseio e o manejo desse produto.

4.1.6. Tratamento em autoclave

A primeira etapa do tratamento consiste no carregamento da autoclave com as peças de madeira por meio de carros sobre trilhos, que conduzem o material até o interior do equipamento, conforme ilustrado na Figura 23. O carregamento é feito exclusivamente de forma manual, tendo em vista a impossibilidade de acondicionar as peças nos carros com empilhadeira. A autoclave da empresa tem 1,60m de diâmetro e 12,5m de comprimento, com capacidade de 15m³ por tratamento e uma capacidade de tratar 700m³ de madeira por mês. O seu fechamento é feito com uma porta metálica com auxílio de um guincho fixo instalado acima do sistema. Na porta há uma borracha de vedação e em torno de 20 parafusos que são apertados a fim de garantir a estanqueidade do equipamento quando submetido a pressão e vácuo, como se observa na Figura 22. Qualquer excedente da solução escoar para o fosso abaixo do equipamento e pode ser reaproveitado.

Figura 22 - Porta da autoclave da Empresa A



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 23 - Etapa de carregamento da autoclave.



Fonte: Aatoria própria (2025).

Concluída a etapa de carregamento da autoclave, é aplicado o vácuo inicial, responsável por remover o ar presente nas células da madeira.

Na sequência, procede-se ao preenchimento da autoclave com a solução preservativa diluída de CCA cuja formulação é definida conforme a espécie da madeira e o tipo de aplicação, de acordo com as categorias de uso estabelecidas pela NBR 16.143 (ABNT, 2024). A solução preservativa é preparada a partir da diluição do produto químico em água, de modo a atingir a retenção mínima de ingredientes ativos prevista para cada categoria de uso. A concentração é definida

conforme o tipo de peças a serem tratadas e sua provável categoria de uso e aplicação.

Para a madeira beneficiada de pinus, a empresa utiliza cerca de 550 L de solução de CCA diluído por metro cúbico de madeira, visando a retenção de aproximadamente 6,5 kg/m³ de ingredientes ativos para os tratamentos mais comumente realizados, que se enquadra na categoria de uso 4 da NBR 16143 (ABNT, 2024), com solução preparada a 1,2% de concentração de CCA.

No caso das toras de eucalipto, o consumo é da ordem de 230 L de solução de CCA diluído por metro cúbico de madeira, também visando a retenção de 6,5 kg/m³ de ingredientes ativos, porém com solução diluída a 1,8% de concentração de CCA. O menor volume de solução retida no eucalipto decorre das características das espécies folhosas, cuja penetração do preservativo ocorre somente na região externa, correspondente ao alburno.

Durante o tratamento, tanto nas etapas de vácuo inicial e final, quanto na etapa de pressão, os valores aplicados na autoclave são monitorados por manômetro e vacuômetro instalados no sistema (Figura 24), assegurando que se mantenham dentro dos parâmetros definidos. A empresa opera com valores na ordem de 600 mmHg tanto para vácuo inicial e final, e 12 kgf/cm² de pressão. Os valores de pressão e vácuo são iguais para pinus e eucalipto, variando apenas os tempos aplicados em cada etapa. Os tempos de cada etapa estão descritos na Quadro 10. O gestor afirma que, entre o tempo de carregamento, tratamento e descarregamento da autoclave, é possível, num turno de 8 horas diárias, fazer dois ciclos de tratamento por dia.

Quadro 10 - Valores de tempo de cada etapa do tratamento.

Pinus	Vácuo inicial	30 minutos
	Pressão	40 minutos
	Vácuo Final	15 minutos
Eucalipto	Vácuo inicial	40 minutos
	Pressão	50 minutos
	Vácuo Final	5 minutos

Figura 24 - Instrumentos utilizados para controle de vácuo e pressão.



Fonte: Autoria própria (2025).

Com o alívio do vácuo final, a madeira tratada é descarregada da autoclave e encaminhada para a zona de gotejamento, onde ocorre a eliminação da solução excedente das peças. Conforme exigido pelo Ibama, essa área deve impedir que o produto entre em contato com o solo, evitando contaminações. Nessa zona há um caimento no qual a solução irá para um fosso, onde a solução é coletada para reaproveitamento.

Durante o descarregamento da autoclave, os funcionários entram em contato direto com a madeira ainda úmida, recém-saída do processo de tratamento. Por esse motivo, é indispensável a utilização adequada dos equipamentos de proteção individual como luvas, óculos e avental, bem como atenção redobrada no manuseio para prevenir acidentes e garantir a segurança operacional.

4.1.7. Secagem final e armazenamento

Após o tratamento em autoclave, a madeira passa por uma secagem final, etapa responsável por fixar os ingredientes ativos às fibras. A Empresa A realiza essa secagem ao ar, processo que demanda entre 7 e 10 dias para reduzir a umidade e completar a cura de pinus. Para eucalipto, o tempo é de aproximadamente 15 dias.

Depois da etapa de secagem e fixação dos ingredientes ativos, a madeira é armazenada e estocada em local coberto e arejado, conforme as peças de pinus mostradas na Figura 25.

Figura 25 - Elementos estruturais em estoque da Empresa A.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.8. Controle de qualidade

Finalizado o tratamento e etapa da secagem final, para o controle de qualidade, a empresa adota um sistema de verificação duplo, alinhado com as boas práticas do setor. O primeiro método é um controle para avaliar a penetração do produto, realizado com o reagente colorimétrico Cromo-AzuroI. Quando aplicado ao corte da madeira, o reagente altera sua coloração em contato com os ingredientes ativos, tornando visível a profundidade de penetração da solução preservativa. Na Figura 26, observa-se um ensaio realizado em uma peça pinus, sendo possível observar a coloração azulada do reagente em toda a porção permeável da peça. A NBR 16.143 (ABNT, 2024) não traz uma definição a respeito da amostragem que deve ser testada, no entanto, a empresa faz os ensaios periodicamente ou conforme demanda do cliente, enviando amostras aleatórias ao serviço de laboratório disponibilizado pelo fornecedor de produto químico.

Figura 26 - Ensaio realizado em peça de pinus com o reagente Cromo Azurol.



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 27, que apresenta o ensaio realizado em uma peça roliça de eucalipto, observa-se, por meio do reagente, que a penetração da solução preservativa ocorre apenas na região periférica da peça. Essa área corresponde ao alburno, porção efetivamente tratável da madeira. Já a região central, constituída pelo cerne, não apresenta a coloração azulada, evidenciando a ausência de absorção do preservante, comportamento característico da espécie, conforme abordado na fundamentação teórica deste estudo.

Figura 27 - Ensaio realizado em peça de eucalipto com o reagente Cromo Azurol.



Fonte: Autoria própria (2025).

O segundo método de controle de qualidade, mais preciso, mede a retenção e penetração dos ingredientes ativos e é feito por meio de análises laboratoriais. A empresa envia amostras para laboratórios externos, principalmente o do próprio fornecedor do produto químico, que fornece o serviço gratuitamente. Observa-se na Figura 28 um trecho retirado de um ensaio real realizado, onde é possível conferir o produto preservativo utilizado, o balanceamento entre os ingredientes ativos, a retenção e penetração observada na seção analisada. No ensaio apresentado, obteve-se 7,70 kg/m³ de ingredientes ativos na amostra, distribuídos em 64,9% de Cromo, 24,7% de Cobre e 10,4% de Arsênio. Observa-se que o teor de Cromo ficou acima dos valores de referência da NBR 16143 (ABNT, 2024), enquanto o teor de Arsênio apresentou-se abaixo do intervalo usualmente adotado. O gestor afirma que a empresa dá garantia de 15 anos para suas madeiras tratadas.

Figura 28 - Ensaio laboratorial de retenção e penetração de pinus.

Madeira	Produto	
Não Informado	CCA-C	
Aplicação	Norma ABNT	Retenção
Madeira serrada I	NBR 16143/13	4,0

Resultados de Retenção e Penetração

Ingredientes ativos	Distribuição dos teores de i.a (kg/m ³)	Balanceamento químico			Método utilizado no ensaio
		Resultados (%)	Padrões		
			Mínimos	Máximos	
Teor de CrO ₃ (Cromo)	5,0	64,9	41,8	53,2	Método MA 008
Teor de CuO (Cobre)	1,9	24,7	15,2	22,8	
Teor de As ₂ O ₅ (Arsênio)	0,8	10,4	27,3	40,7	
Retenção (%)	7,70	100,00	Nota: os resultados restringem-se as amostras fornecidas		

Grau		Descrição da Penetração	
1	(CuO)	Profunda e regular	Indica a penetração profunda e uniforme por toda a extensão da porção permeável da madeira.

Fonte: Montana Química

4.1.9. Destinação final dos resíduos de madeira

Finalizada a etapa de tratamento e controle de qualidade, no que se refere à gestão interna e destinação final de resíduos de madeira tratada, a Empresa A afirmou não gerar resíduos tratados em sua fábrica, pois as peças já são beneficiadas e finalizadas antes do tratamento. A responsabilidade pelo descarte das sobras de madeira tratada geradas em obras é, portanto, do cliente, que deve enviar a um aterro sanitário .

Destaca, ainda, que os resíduos gerados no beneficiamento e serragem da madeira não tratada são todos coletados e enviados à indústria de biomassa para fabricação de produtos para alimentar caldeiras e de MDF, por exemplo. Ou seja, nada da matéria-prima é desperdiçada no processo.

4.2. Empresa B: Processo de produção de pinus e de eucalipto tratado em autoclave

A Empresa B, localizada no município de Garopaba, no litoral catarinense, atua principalmente com diferentes perfis de madeira serrada e beneficiada de pinus tratado, abrangendo peças de acabamento, vedação e aplicações estruturais, conforme ilustrado na Figura 29. A empresa também comercializa postes de toras de eucalipto tratado em diversos diâmetros para as finalidades rural e de construção civil.

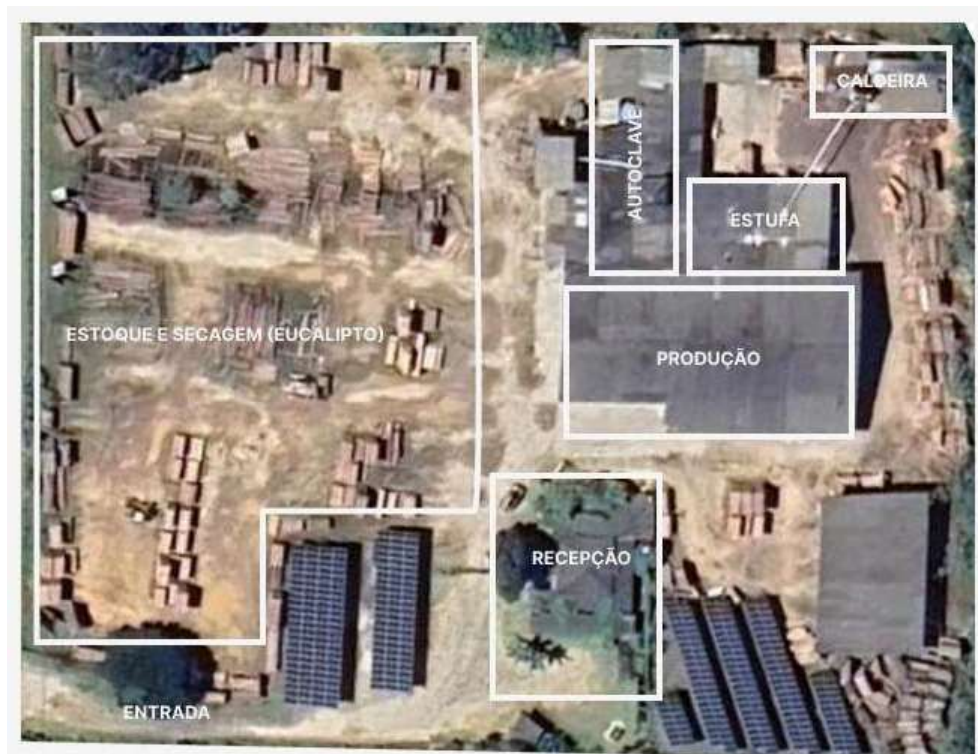
Figura 29 - Linha de produtos comercializados de pinus pela Empresa B.



Fonte: Autoria própria (2025).

O foco comercial da empresa, atualmente, tem 73% de seu faturamento a partir do pinus, em contraste com o início da operação, quando essa espécie representava cerca de 5% das suas vendas. Mensalmente, a empresa trata de 140 a 150 m³ de madeira. Os seus fornecedores de pinus concentram-se majoritariamente na região Sul de Santa Catarina. E, segundo o gestor, o pinus apresenta melhor desenvolvimento na região sul do Brasil, devido ao clima temperado, que favorece a formação de anéis de crescimento mais densos, enquanto o eucalipto se adapta melhor a regiões mais quentes. A disposição da planta fabril da empresa está demonstrada na Figura 30 abaixo:

Figura 30 - Detalhamento da planta fabril da Empresa B.



Fonte: Autoria própria (2025).

Na sequência, apresenta-se o processo produtivo da Empresa B para as madeiras tratadas de pinus e eucalipto destinadas à construção civil, abrangendo todas as etapas desde a aquisição da matéria-prima até a obtenção do produto final. Para ilustrar de forma esquemática o fluxo operacional mapeado, elaborou-se o fluxograma mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Fluxograma do processo produtivo da Empresa B



Fonte: Elaboração própria (2025).

4.2.1. Aquisição e armazenamento da matéria-prima de pinus e de eucalipto

A empresa trabalha predominantemente com a espécie *Pinus elliottii*, devido ao seu ciclo de crescimento mais longo e maior densidade aparente da madeira. A empresa adquire a madeira de pinus já serrada e seca com as características exigidas para cada linha de produto (Figura 32).

Figura 32 - Madeira serrada de pinus adquirida pela Empresa B



Fonte: Autoria própria (2025).

Para as aplicações que demandam peças com ausência de nós, são adquiridas tábuas classificadas como “clear”. A empresa adota um protocolo de inspeção visual para toda a carga recebida de pinus, para observar os nós não conformes ("careados") e as dimensões das peças. A Figura 33 mostra uma peça de pinus beneficiada com um nó não conforme, que será descartada.

Figura 33 - Peça de pinus não conforme com presença de nós “careados”.



Fonte: Autoria própria (2025).

Sobre o controle dimensional das peças, a empresa destaca a problemática que ocorre quando a matéria-prima chega com bitolas menores que as especificadas, impossibilitando a produção do perfil beneficiado nas dimensões corretas. Essa questão é apontada como um problema de mercado, no qual muitas empresas comercializam uma bitola nominal, mas entregam o produto com a dimensão final já beneficiada. Isso exige controle frequente para evitar que o produto seja comercializado fora das medidas estabelecidas.

Para o eucalipto, as espécies trabalhadas são *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, além de *Eucalyptus dunnii* em menor escala. O eucalipto chega à empresa em formato roliço, priorizando toras retas, com baixa conicidade e reduzida presença de nós, a fim de evitar peças com aspecto ‘encaroçado’.

4.2.2. Secagem

A Empresa B já recebe sua matéria-prima de pinus já seca e faz a medição da umidade da madeira. Caso esteja com a umidade na faixa desejada, será armazenada, caso contrário, é necessário secagem. A empresa considera a secagem ao ar livre o método ideal por ser mais suave com a madeira de pinus, no entanto, utiliza estufas com maior frequência por necessidade comercial. Com o eucalipto, também se recebe a matéria-prima seca e, em caso de necessidade, a secagem é feita exclusivamente ao ar. A estufa opera em um intervalo de temperatura entre 50°C até 90°C, a depender de fatores como espessura e se a madeira está sendo submetida à secagem inicial ou final. Via de regra, peças com maiores espessuras são submetidas a temperaturas maiores, enquanto espessuras menores, são submetidas a temperaturas menores. Além disso, as temperaturas da secagem final são menores, de no máximo 60°C. A Figura 34 mostra a estufa utilizada pela empresa para a secagem de pinus.

Figura 34 - Secagem artificial realizada em estufa



Fonte: Autoria própria (2025).

A Empresa B padronizou sua umidade de equilíbrio para trabalho entre 18% e 22% para pinus e eucalipto. Essa faixa é justificada por ser um ponto de equilíbrio: umidade acima disso compromete o acabamento do beneficiamento, enquanto

abaixo de 18% a madeira causa desgaste acelerado das ferramentas de corte. Para a Empresa B, segundo os valores de teor de umidade estimados por Zenid (2009) para Florianópolis conforme mostrado na Quadro 7, região cujo clima é semelhante ao encontrado ao litoral sul catarinense, a umidade de equilíbrio é de 16,8%, considerando uma variação de $\pm 2\%$. Dessa forma, o intervalo correspondente situa-se entre 14,8% e 18,8%. Portanto, segundo o intervalo considerado, acima de 18,8% estaria fora dos limites da umidade de equilíbrio desejadas. O controle da umidade é feito constantemente com medidor de umidade para madeira com martelete e agulhas para penetrar no interior da madeira.

4.2.3. Beneficiamento do pinus

Concluída a etapa de secagem, as peças de pinus passam pelo beneficiamento em maquinário, no qual adquirem suas dimensões finais, acabamento e, quando necessário, características específicas. O gestor aponta como desafio o recebimento de peças com dimensões muito variadas, que impedem a obtenção das medidas finais desejadas, uma vez que o processo de beneficiamento implica a remoção de uma pequena fração da seção. A Figura 35 mostra uma plaina utilizada no processo de beneficiamento, por onde a madeira passa e perde seu aspecto bruto.

Figura 35 - Plaina utilizada no beneficiamento de pinus.



Fonte: Autoria própria (2025).

Quanto ao eucalipto, as toras não recebem nenhum beneficiamento, de modo que não há processos ou maquinários específicos destinados a essa etapa. A única intervenção realizada consiste na verificação e ajuste do comprimento final das peças, mantendo-se o diâmetro original.

4.2.4. Recebimento e instalação dos produtos preservativos

A empresa utiliza o CCA como produto preservativo na sua forma óxida, o Osmose K33 C60 da Montana Química, que contém 60% de ingredientes ativos, que, conforme explica o gestor da empresa, a base óxida se fixa de maneira insolúvel às fibras da madeira, o que garante a durabilidade do tratamento e evita a lixiviação, isto é, o desprendimento do sal em contato com a umidade, um fator crucial para a segurança no manuseio e para a eficácia da proteção. O recebimento do produto químico preservativo ocorre em contentores plásticos de 1.000 litros.

O descarregamento deste produto é realizado por maquinário, de modo que o manuseio direto pelos trabalhadores é mínimo, restringindo-se ao encaixe e à conexão das mangueiras entre o recipiente e o reservatório, como a que é observada na Figura 36. Embora seja um manuseio rápido, é indispensável o uso de equipamento de proteção individual dos funcionários para evitar o contato com o produto, incluindo o uso de luvas, avental, botas e óculos de proteção. Em uma observação visual do produto preservativo, nota-se uma coloração castanha a alaranjada da solução, sem presença de odor marcante, com natureza líquida e aparentemente mais densa que a água.

Figura 36 - Conexão através de mangueira até o reservatório.



Fonte: Autoria própria (2025).

Durante a transferência do recipiente para o reservatório, o produto preservativo é diluído em água de acordo com a concentração requerida para a categoria de uso à qual a madeira em tratamento será destinada. O controle dessa concentração é realizado continuamente, utilizando-se uma Quadro fornecida pelo fabricante descrito na Figura 37, que indica a proporção de produto por litro de água necessária para alcançar a porcentagem desejada. Não foi possível obter junto ao gestor os valores reais de diluição e consumo de CCA utilizados para um tratamento.

Figura 36 - Quadro de concentração x temperatura.

Montana **Team** **DENSIDADES x TEMPERATURAS (°C) PARA OSMOSE K33 C**

CONCENTRAÇÃO %

TEMPERATURA °C	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	
10°	1,0065	1,0070	1,0082	1,0091	1,0098	1,0108	1,0114	1,0125	1,0131	1,0142	1,0148	1,0158	1,0165	1,0173	1,0181	1,0189	1,0196	1,0203	1,0210	1,0217	1,0224
10°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
13°	1,0062	1,0070	1,0079	1,0087	1,0095	1,0103	1,0111	1,0119	1,0127	1,0135	1,0143	1,0151	1,0159	1,0167	1,0175	1,0183	1,0191	1,0199	1,0207	1,0215	1,0223
13°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
16°	1,0058	1,0066	1,0075	1,0083	1,0091	1,0099	1,0107	1,0115	1,0123	1,0131	1,0139	1,0147	1,0155	1,0163	1,0171	1,0179	1,0187	1,0195	1,0203	1,0211	1,0219
16°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
19°	1,0053	1,0061	1,0070	1,0078	1,0086	1,0094	1,0102	1,0110	1,0118	1,0126	1,0134	1,0142	1,0150	1,0158	1,0166	1,0174	1,0182	1,0190	1,0198	1,0206	1,0214
19°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
22°	1,0048	1,0056	1,0065	1,0073	1,0081	1,0089	1,0097	1,0105	1,0113	1,0121	1,0129	1,0137	1,0145	1,0153	1,0161	1,0169	1,0177	1,0185	1,0193	1,0201	1,0209
22°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
24°	1,0043	1,0051	1,0060	1,0068	1,0076	1,0084	1,0092	1,0100	1,0108	1,0116	1,0124	1,0132	1,0140	1,0148	1,0156	1,0164	1,0172	1,0180	1,0188	1,0196	1,0204
24°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
27°	1,0038	1,0046	1,0055	1,0063	1,0071	1,0079	1,0087	1,0095	1,0103	1,0111	1,0119	1,0127	1,0135	1,0143	1,0151	1,0159	1,0167	1,0175	1,0183	1,0191	1,0199
27°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
30°	1,0033	1,0041	1,0050	1,0058	1,0066	1,0074	1,0082	1,0090	1,0098	1,0106	1,0114	1,0122	1,0130	1,0138	1,0146	1,0154	1,0162	1,0170	1,0178	1,0186	1,0194
30°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
33°	1,0028	1,0036	1,0045	1,0053	1,0061	1,0069	1,0077	1,0085	1,0093	1,0101	1,0109	1,0117	1,0125	1,0133	1,0141	1,0149	1,0157	1,0165	1,0173	1,0181	1,0189
33°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
36°	1,0023	1,0031	1,0040	1,0048	1,0056	1,0064	1,0072	1,0080	1,0088	1,0096	1,0104	1,0112	1,0120	1,0128	1,0136	1,0144	1,0152	1,0160	1,0168	1,0176	1,0184
36°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
39°	1,0018	1,0026	1,0035	1,0043	1,0051	1,0059	1,0067	1,0075	1,0083	1,0091	1,0099	1,0107	1,0115	1,0123	1,0131	1,0139	1,0147	1,0155	1,0163	1,0171	1,0179
39°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228
42°	1,0013	1,0021	1,0030	1,0038	1,0046	1,0054	1,0062	1,0070	1,0078	1,0086	1,0094	1,0102	1,0110	1,0118	1,0126	1,0134	1,0142	1,0150	1,0158	1,0166	1,0174
42°	5,0213	6,0399	7,0498	8,0652	9,0719	10,001	11,009	12,029	13,038	14,057	15,066	16,084	17,092	18,109	19,126	20,143	21,160	22,177	23,194	24,211	25,228

NOTAS:
Os números superiores indicam a leitura do densímetro em função da temperatura.
Os números inferiores indicam a quantidade em porcentagem de água.

Fonte: Autoria própria (2025).

Para monitoramento da solução durante o processo, emprega-se também um densímetro como mostrado na Figura 38, que permite acompanhar a concentração da solução do tanque em tempo real. A empresa adota um cronograma semanal de tratamento, começando com os tratamentos de menor concentração e aumentando ao longo da semana.

Figura 37 - Densímetro utilizado para controlar a concentração.



Fonte: Autoria própria (2025).

Por fim, os contentores vazios são coletados e transportados de volta até a fábrica do fornecedor. O gestor menciona experiências anteriores em que o produto era adquirido em tambores metálicos, o que resultava na geração de resíduos no pátio.

4.2.5. Tratamento em autoclave

A primeira etapa do tratamento é o carregamento da autoclave, que é realizado de forma exclusivamente manual e no qual as peças de madeira são dispostas em carros que, através de trilhos, são colocadas no interior da autoclave. A autoclave da empresa possui 1,20m de diâmetro e 12m de comprimento, com capacidade aproximada de 12 m³ por tratamento. Finalizada esta primeira etapa, se dá início ao vácuo inicial. Durante o tratamento da madeira, todos os parâmetros de vácuo e pressão, essenciais para garantir a adequada penetração e fixação da solução preservativa, são continuamente monitorados e ajustados por meio de

instrumentação específica com manômetros e vacuômetros instalados no sistema, como ilustrado na Figura 39. Esses dispositivos permitem o acompanhamento em tempo real das condições internas da autoclave e asseguram que o processo ocorra dentro das faixas operacionais recomendadas. Os valores de referência utilizados para vácuo e pressão são, respectivamente, 600 mmHg e 10 kgf/cm², que são utilizados tanto para pinus quanto eucalipto. Contudo, não foi possível obter, junto à empresa, os tempos aplicados em cada etapa do ciclo de tratamento utilizados para esses controles.

Figura 39 - Vacuômetro utilizado no tratamento.



Fonte: Autoria própria (2025).

Após o alívio do vácuo final, a madeira é encaminhada para a chamada “zona de gotejamento” (Figura 40), onde ocorre a eliminação do excedente de solução preservativa presente na superfície das peças e que, pelo caimento, a solução escoar até o fosso imediatamente abaixo da autoclave, onde é coletado e reutilizado no sistema.

Figura 40 - Zona de gotejamento pós tratamento.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.2.6. Secagem final e armazenamento

A empresa adota secagem em estufa das peças de pinus tratadas, adotando um tempo médio de 2 a 3 dias para esse processo, podendo se estender em até 7 dias para peças de maiores dimensões. Enquanto as peças de eucalipto roliço são secadas ao ar.

4.2.7. Controle de qualidade

O controle de qualidade pós-tratamento realizado pela Empresa B é composto por dois procedimentos complementares: a avaliação da penetração do preservativo por meio de reagente colorimétrico e a determinação laboratorial da retenção dos ingredientes ativos, conduzido conforme procedimentos normalizados e regulamentados pela NBR 6232 (ABNT, 2013), assegurando a conformidade do tratamento com os parâmetros técnicos de preservação da madeira.

Na Figura 39, observa-se o ensaio com reagente colorimétrico Cromo Azurol realizado em um corte transversal em uma peça de pinus, no qual a

coloração azulada indica a região permeável que recebeu o tratamento e houve penetração. Nota-se nesta peça a ausência de coloração no centro da seção, correspondente ao cerne e que apresenta menor permeabilidade, portanto, uma porção não tratável. Logo, houve penetração em 100% da região permeável, como traz e recomenda a NBR 16143 (ABNT, 2024).

Figura 41 - Peça de pinus testada com reagente Cromo Azurol.



Fonte: Autoria própria (2025).

O segundo método de controle da empresa consiste na análise laboratorial dos parâmetros de retenção e penetração do preservante, realizada por meio do serviço gratuito oferecido pelo fornecedor do produto químico e realizado de acordo com os ensaios da NBR 6232 (ABNT, 2013). Além disso, o gestor destaca a importância de análises conduzidas por instituições reconhecidas, a fim de obter resultados tecnicamente robustos e imparciais, citando, entre elas, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Entretanto, não foi possível ter acesso aos relatórios de ensaios da Empresa B. A norma NBR 16.143 (ABNT, 2024) não traz uma obrigatoriedade de amostragem, porém, o gestor afirma realizar os ensaios mensalmente em lotes específicos, nos quais retira três amostras e envia ao fornecedor para os ensaios. A empresa dá garantia para seus produtos tratados: de 7 anos para peças em contato com água salgada, 10 anos para contato com água doce, 15 anos para contato com o solo e 30 anos para uso interno.

4.2.8. Destinação final de resíduos de madeira

A Empresa B reconhece o descarte como um desafio logístico e financeiro. A empresa acondiciona o resíduo fabril de madeira tratada em caixotes e o destina a aterros industriais de Classe I, o que representa um custo elevado. Para minimizar esse volume, qualquer peça não conforme é segregada antes do tratamento para ser reaproveitada como biomassa na caldeira da fábrica. Eventuais peças tratadas não aproveitadas também são disponibilizadas em caixotes na fábrica para doação. Um diferencial da empresa é o uso do resíduo não tratado de seu próprio beneficiamento (serragem e aparas) como combustível para a caldeira que alimenta as estufas, criando um ciclo fechado e sustentável.

4.3. Comparação do processo de produção entre as empresas

Com base nos resultados obtidos, elaborou-se um quadro-resumo no Quadro 11 com o propósito de organizar as principais informações e permitir a análise do processo nas duas empresas entre os aspectos avaliados. A síntese apresentada facilita a visualização dos pontos relevantes e orienta a discussão dos dados nesta seção.

Quadro 11 - Quadro resumo com os resultados obtidos

Atributo	Empresa A	Empresa B
Seleção e compra de matéria prima pinus	Adquire a tora inteira	Já compra a madeira serrada e selecionada
Seleção e compra de matéria prima eucalipto	Já adquire as toras secas e descascadas	Já adquire as toras secas e descascadas
Espécie utilizada de pinus	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliotti</i>
Espécie utilizada de eucalipto	<i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus dunii</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus dunii</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>
Controle inicial de qualidade	Realiza serragem e desdobro de um lote inicial	Inspeção visual
Secagem	Natural ao ar livre	Artificial em estufa
Pré-tratamento (fungicidas)	Não executa	Não executa
Produto preservativo	CCA e CCB	CCA
Tratamento em autoclave	Método da célula cheia	Método da célula cheia
Valores de referência utilizados no tratamento	12 kgf/cm ² (pressão) e 600 mmHg (vácuo)	10 kgf/cm ² (pressão) e 600 mmHg (vácuo)
Instrumentos utilizados no controle do tratamento	Densímetro, manômetro e vacuômetro	Densímetro, manômetro e vacuômetro
Controle de qualidade	Reagente colorimétrico para penetração e laboratorial para retenção	Reagente colorimétrico para penetração e laboratorial para retenção
Gestão de resíduos	Resíduo não tratado do beneficiamento coletado e comercializado	Resíduo não tratado do beneficiamento utilizado para estufa e o tratado enviado a aterro
Armazenamento	Em local coberto e arejado	Em local coberto e arejado
Visão de mercado	Consolidação e constância de seus padrões de qualidade para se destacar	Inovação e diversificação do seu negócio como caminho para o futuro

Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise comparativa entre as Empresas A e B revela disparidades no fluxo produtivo, iniciadas na seleção da matéria-prima. A Empresa A adquire a tora inteira para assegurar o controle de qualidade desde a serragem até o produto final, priorizando o controle dimensional. Em contrapartida, a Empresa B opta pela aquisição de peças já serradas e secas, transferindo a exigência de padronização aos fornecedores e eliminando etapas do processo fabril para focar em outras

competências, mas cita a dificuldade de manter o controle e uniformidade dimensional das peças.

No que tange às espécies do gênero *Pinus*, observa-se uma divergência fundamentada na adaptabilidade e disponibilidade regional: a Empresa A utiliza *Pinus taeda*, enquanto a Empresa B emprega *Pinus elliottii*. Segundo o relato dos gestores, tal escolha baseia-se nas vantagens logísticas e práticas silviculturais locais. Para o eucalipto, ambas empresas comercializam as mesmas espécies.

O processo de secagem apresenta metodologias distintas. A Empresa A emprega a secagem natural ao ar livre, justificando a escolha pela redução de perdas por empenamento, apesar do tempo prolongado para atingir a umidade de equilíbrio. A Empresa B, impulsionada por necessidades comerciais e pela busca de um fluxo produtivo acelerado, utiliza a secagem artificial, assumindo, contudo, uma maior incidência de defeitos na madeira. Ressalta-se que, embora a NBR 16143 (ABNT, 2024) preconize o pré-tratamento com fungicidas em peças recém-serradas com alta umidade, nenhuma das empresas adota tal procedimento, visto que tal prática evita o ataque de emboloradores e os mesmos não comprometem a estrutura da madeira.

Relativo ao tratamento preservativo, ambas utilizam o arseniato de cobre cromatado (CCA) em sua forma óxida, proveniente do mesmo fornecedor. A Empresa B faz uso adicional de borato de cobre cromatado (CCB), embora em menor escala. Nota-se uma variação nos parâmetros técnicos de pressão: a Empresa A opera com 12kgf/cm², alinhando-se aos valores de referência citados por Lepage (1986). A Empresa B, por sua vez, utiliza 10kgf/cm², valor que, embora funcional para o processo, difere do padrão citado em Lepage (1986).

No âmbito da infraestrutura e controle de qualidade, verifica-se similaridade nos procedimentos. Ambas as empresas cumprem as exigências das instituições reguladoras, demonstrando domínio das normas técnicas e do sistema de classes de uso.

Quanto ao gerenciamento de resíduos, a Empresa A declara não gerar resíduos de madeira tratada, comercializando os resíduos não tratados da serragem e beneficiamento. Distintamente, a Empresa B reutiliza os resíduos do processo

mecânico para alimentação energética da caldeira para a estufa e destina os resíduos de madeira tratada a aterros sanitários industriais de classe I.

Por fim, a visão estratégica de mercado também difere: a Empresa A foca na manutenção de rigorosos padrões de qualidade e controle de processo como ferramentas de fidelização. A Empresa B orienta-se pela diversificação do portfólio e adaptação dinâmica às tendências da construção civil.

4.4. Percepção das empresas sobre o mercado de madeira tratada na construção civil

Segundo o gestor da Empresa A, o mercado de madeira tratada na construção civil apresenta tendência de crescimento, impulsionado pela maior conscientização dos consumidores quanto aos processos produtivos e pela redução do uso de madeira nativa, cuja exploração é amplamente reconhecida como ambientalmente inadequada. Além disso, há a expansão de sistemas construtivos mais modernos, como o *light wood frame*.

Como principais dificuldades do setor, destaca-se a ausência de padronização entre as usinas, especialmente no que se refere ao controle de umidade e à correta dosagem de ingredientes ativos, fatores essenciais para assegurar a durabilidade do material. O gestor também aponta a persistente resistência cultural dos consumidores em relação à madeira proveniente de florestas plantadas, frequentemente associada a estruturas temporárias ou de descarte.

Na visão de mercado da Empresa B, embora aponte um grande potencial de ascensão do setor no contexto da construção civil e como elemento construtivo, um desafio de grande relevância apontado é a concorrência desleal e a falta de padronização de qualidade. Muitas empresas não seguem as normas técnicas de secagem e tratamento, vendendo produtos que apenas parecem tratados, mas que não possuem a durabilidade esperada. O gestor destaca que, de mais de 580 usinas no Brasil, apenas cerca de 60 são associadas à ABPM e 7 empresas possuem o selo de qualidade da associação. Segundo o gestor, essa realidade “nivela o mercado por baixo”, com base no preço, prejudicando a reputação do produto como

um todo. O gestor também cita o desafio de fornecer a madeira de acordo com uma classe de resistência ou densidade, o que não é comum no contexto brasileiro na comercialização de madeiras oriundas de florestas plantadas. A NBR 7190 (ABNT, 2022) classifica a madeira estrutural em classes de resistência C (coníferas) e D (dicotiledôneas), com base principalmente na resistência característica à compressão paralela às fibras, variando de C20 a C40 para coníferas e de D20 a D70 para dicotiledôneas. A empresa vê a diferenciação na agregação de valor e na industrialização avançada. O futuro, na visão da empresa, está na produção da madeira engenheirada, na construção modular off-site e na oferta de soluções construtivas completas, e não apenas na venda do material bruto. A estratégia é se atualizar constantemente para atender a um cliente cada vez mais exigente, que busca soluções completas e de alta qualidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral analisar processo produtivo de madeiras de pinus e eucalipto tratadas em autoclave em duas empresas de Santa Catarina, verificando a conformidade com as normas técnicas vigentes. A pesquisa confirmou que a preservação é etapa fundamental para assegurar a durabilidade exigida pelas normas, viabilizando a madeira como material estrutural de desempenho.

No que tange à caracterização e comparação das etapas produtivas, constatou-se que, embora ambas as empresas atendam aos requisitos normativos e de segurança estabelecidos pelo Ibama, adotam estratégias industriais distintas. A Empresa A, localizada na região serrana, prioriza o controle de todas as etapas desde a serragem e a secagem natural. Em contrapartida, a Empresa B, situada no litoral, foca na diversificação de produtos e utiliza secagem artificial, já adquirindo sua matéria-prima serrada e seca, demonstrando maior dinamismo comercial.

Identificou-se uma predominância do preservativo CCA no contexto nacional e no processo produtivo das empresas analisadas, justificada pela relação custo-eficácia. Entretanto, essa realidade aponta para um descompasso em relação às tendências internacionais que buscam preservativos livres de metais pesados.

Quanto à percepção de mercado e desafios, os resultados indicam que o setor possui maturidade técnica consolidada nas empresas estudadas, porém sugere uma baixa adesão das demais empresas às boas práticas de produção no setor. A baixa taxa de participação na pesquisa (apenas duas empresas de dez contatadas) evidencia um setor ainda fechado ao intercâmbio técnico-científico. Os principais gargalos identificados foram a necessidade de padronização dos critérios de inspeção e

Conclui-se, portanto, que Santa Catarina detém potenciais tecnológicos e matéria-prima abundante para o fornecimento de insumos para a construção civil, desde que superados os desafios de padronização e abertura do setor.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de análises laboratoriais quantitativas de retenção e penetração em um universo amostral ampliado, visando conferir robustez estatística à verificação da conformidade técnica do mercado. Recomenda-se, ainda, a expansão do protocolo de estudo para o cenário nacional, a fim de consolidar um diagnóstico mais representativo sobre a cadeia produtiva da madeira tratada em uma região mais ampla e verificar potenciais diferenças regionais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6232: Penetração e retenção de preservativo em madeira tratada sob pressão.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira — Parte 1: Requisitos de projeto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004-2: Resíduos sólidos — Classificação Parte 2: Sistema Geral de Classificação de Resíduos (SGCR).** Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 754p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16143: Preservação de madeiras – Sistema de Categorias de uso.** Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 31 p.

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.official, 25 set. 2025. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/DPCPBMEkaQz/> Acesso em: 04/11/2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRESERVADORES DE MADEIRA. **Norma de referência – Programa de Certificação Qualitrat.** Revisão 08, 24 nov. 2020. Disponível em: https://www.abpm.com.br/Norma_de_Refer%C3%Aancia_ABPM_v.08-24-11-20.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRESERVADORES DE MADEIRA (ABPM). **Preservação de madeiras: texto normativo**. Instagram: @abpm.oficial, 4 set. 2025. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/DOMF0XUEVR1/> Acesso em: 04/11/2025.

BURGER, Luiza Maria; RICHTER, Hans Georg. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARVALHO, Walter *et al.* **Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira**. Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2191–2195, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/g9LMKTVzkCkFWWhj5NJ9XGwv/>. Acesso em: 25/05/2025.

CARVALHO, Douglas Edson *et al.* Fungos manchadores e emboloradores. In: CASTRO, Vinicius Gomes de; (org.). **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. p. 21-41.

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

CASTRO, Vinicius Gomes de. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. 213 p.

CAVALCANTE, M. S. Histórico da preservação de madeiras. In: LEPAGE, E. S. (coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986.

CHIMELO, J. P. – Anatomia da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Coord.) **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. Cap. 3, p. 41-67.

DOMINGOS, Débora de Medeiros. **Toxicidade das cinzas volantes geradas pela utilização de madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) como material combustível**. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Sustentabilidade) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/221997/PGES0028-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em 01/06/2025

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: 25/01/2026.

EVANGELISTA, Wescley Viana; SILVA, Jose de Castro; JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. **Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271, jan./mar. 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cflo/a/WSsH9ktwmQyc3k4Prt36Q3H/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 04 abr. 2025.

HABOWSKI, D. **Estudo da viabilidade da utilização de madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte**.

2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018. Disponível em:

https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14341/1/PB_COECI_2018_2_44.pdf. Acesso

em: 03 jul. 2025.

IBAMA **Portaria Interministerial nº 292**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2 maio 1989. Disponível em:

https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/legislacao/portarias/portaria_ibama_292_1989.pdf. Acesso em: 11/11/2025

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

<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>. Acesso em:

28/04/2025.

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. **Boletim Técnico CT-101: Sustentabilidade na cadeia do concreto**. São Paulo: IBRACON, 2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Fichas de características das madeiras brasileiras: 70 espécies arbóreas**. São Paulo: IPT, 1989. (Manual Técnico, n. 14).

KLOCK, U. *et al.* **Química da Madeira**. 3. ed. rev. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

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

LEPAGE, Ennio Silva. **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. 307 p.

LEPAGE, Ennio Silva; SALIS, Gian A. de. **Atualização em preservação de Madeiras**. São Paulo: Editora, 2015. 64 p. Disponível em: https://fenecultura.com.br/Atualiza%C3%A7%C3%A3o_em_Preserva%C3%A7%C3%A3o_de_Madeira%5B1%5D.pdf. Acesso em: 13 maio 2025.

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó *et al.* Resistência biológica e agentes deterioradores da madeira. *In*: ANDRADE, Jaily Kerller Batista (Org.). **Fundamentos e pesquisas em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2024. p. 73-89.

MORESCHI, João Carlos. **Biodegradação e preservação da madeira: métodos de tratamento da madeira**. 4. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

NKANSAH, K. *et al.* **Determination of concentration of ACQ wood preservative components by UV-Visible spectroscopy coupled with multivariate data analysis**. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 147, p. 157-166, 15 Oct. 2015. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169743915001884. Acesso em: 31 maio 2025.

OLIVEIRA, A. M. F. Agentes destruidores da madeira. *In*: LEPAGE, E. S. (coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1, p. 99-278.

PUNHAGUI, K. R. G. *et al.* **Caracterização do consumo de madeira para execução de sistema estrutural em concreto armado**. *Mix Sustentável*, v. 8, n. 4, p. 119–131, 2022.

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. Disponível em: <https://periodicos.uefs.br/index.php/sitientibus/article/view/10356/8747>. Acesso em: 29 maio 2025.

ROCHA, Márcio Pereira da. **Biodegradação e preservação da madeira.** Curitiba: FUPEF/UFPR, 2001.

SCHMIDT, Olaf. **Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use.** Berlin: Springer-Verlag, 2006.

SAGI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras.** 2000. 250 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SHIGUE, E. K. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, ações e produtos.** 2018. 250 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SILVA, Gisleine Aparecida da. **O controle de qualidade na preservação de madeiras.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14., 2014, Natal. Anais... Natal: [s.n.], 2014. 7 p.

SOUZA, Gabriela Oliveira de et al. Insetos: ordem Isoptera. In: CASTRO, Vinicius Gomes de (org.). **Deterioração e preservação da madeira.** Mossoró: Edufersa, 2018. p. 67-85

VIDAL, Jackson Marcelo *et al.* **Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271, jan./mar. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/WSsH9ktwmQyc3k4Prt36Q3H/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 abr. 2025.

ZENID, G. J. *et al.* **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009. 103 p. Disponível em: https://madeiras.ipt.br/wp-content/uploads/sites/13/2024/04/6-Madeiras_uso_sustentavel_na_construcao_civil.pdf. Acesso em: 03 jul. 2025.

ZHANG, Jun. **Micronized copper azole (MCA) efficacy update.** *In: ANNUAL MEETING OF THE CANADIAN WOOD PRESERVATION ASSOCIATION, 36., 2015, Ottawa. Proceedings...* Ottawa: CWPA, 2015. Disponível em: <https://woodpreservation.ca/wp-content/uploads/2022/07/MICRONIZED-COPPER-AZOLE-MCA-EFFICACY-UPDATE.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.