

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gabriel Camargo Corrêa

**ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA EDIFICAÇÕES COM
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE MADEIRA**

Porto Alegre, maio de 2023.

Gabriel Camargo Corrêa

**ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA EDIFICAÇÕES COM
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Luis Carlos Bonin

Porto Alegre, maio de 2023.

Gabriel Camargo Corrêa

**ESTUDO DE SOLUÇÕES PARA EDIFICAÇÕES COM
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE MADEIRA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, maio de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luis Carlos Bonin (UFRGS)

Mestre pelo CPGEC/UFRGS

Orientador

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS)

Doutor pelo PPGEC/UFRGS

Eng. Guilherme Granata Marques

Mestre pelo PPGEC/UFRGS

Dedico este trabalho aos que me ajudaram a chegar até ele.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Luis Carlos Bonin pela orientação atual. Agradeço a todos os outros pelas orientações passadas. Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade.

Agradeço à minha família pelo apoio.

RESUMO

Apesar de já ter sido muito usada na construção brasileira, hoje a madeira tem um uso limitado, suplantada em grande parte pela alvenaria. A indústria madeireira, diferentemente do que ocorreu em outros países como EUA e Canadá, pouco se modernizou e foi perdendo importância. A madeira é hoje associada a construções antigas e de baixo padrão, e a ela costumam ser atribuídos diversos problemas. Porém, a madeira enquanto material construtivo não deve ser descartada, ainda mais com a relevância crescente das preocupações ambientais. Muitos desses problemas, tanto de origem biótica como apodrecimento, consumo por cupins, quanto abióticos, como risco de incêndio e envelhecimento superficial, possuem soluções, algumas mais simples e outras mais complexas. A utilização de muitas destas soluções é bem antiga, e foi se aperfeiçoando com o tempo, num processo que se acelerou em meados do século XX. Métodos como a aplicação de extratos de carvão, foram dando lugar a métodos menos agressivos ao meio ambiente, sem sacrificar sua eficiência. Soluções tradicionais, como manter a madeira protegida da umidade, podem ser combinadas com outras mais atuais, como a aplicação de extratos naturais e formulações químicas modernas. Neste estudo buscou-se descrever os problemas mais comuns associados ao uso da madeira como material de construção e paralelamente apontar alternativas de beneficiamento da madeira para a preservação das suas propriedades úteis na construção bem como identificar detalhes construtivos que podem contribuir para otimizar o emprego do material. O resultado do estudo mostra que para todos os problemas existem também soluções.

ABSTRACT

Although wood has been widely used in Brazilian construction, today its use is limited, largely surpassed by masonry. Unlike what happened in other countries such as the USA and Canada, the wood industry has modernized little and lost importance. Wood is now associated with old and low-quality constructions, and various problems are often attributed to it. However, wood as a building material should not be disregarded, especially with the growing importance of environmental concerns. Many of these problems, both of biotic origin such as decay, termite consumption, and abiotic ones such as fire risk and superficial aging, have solutions, some simpler and others more complex. The use of many of these solutions is quite old and has been improved over time, a process that accelerated in the mid-20th century. Methods such as the application of coal extracts have given way to less aggressive methods to the environment without sacrificing their efficiency. Traditional solutions, such as keeping wood protected from moisture, can be combined with more current ones, such as the application of natural extracts and modern chemical formulations. This study aimed to describe the most common problems associated with the use of wood as a building material, and at the same time, point out alternatives for wood processing to preserve its useful properties in construction, as well as identify construction details that can contribute to optimizing the use of the material. The study's result shows that for all problems, there are also solutions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anatomia da madeira.....	16
Figura 2 - Bolor em uma tábua de pinus	20
Figura 3 - Fungo manchador em tábuas de pinus.....	20
Figura 4 - Ataque de cupins de solo.....	22
Figura 5 - Mudança de coloração superficial causada pelo intemperismo.....	23
Figura 6 - Etapas da combustão da madeira.....	24
Figura 7 - Bambu sendo tratado pelo processo de imersão em CCB.....	37
Figura 8 - Corte de um projeto de edificação de madeira.....	45
Figura 9 - Contaminação por cupins por meio de contato com o solo.....	46
Figura 10 - Assentamento de um pilar de madeira sobre concreto por meio de peça metálica.....	47
Figura 11 - Construção de casa de madeira sobre elementos impermeabilizados.....	47
Figura 12 - Planta baixa de uma edificação de madeira.....	48
Figura 13 - Interior de uma edificação em madeira.....	49
Figura 14 Secagem natural da madeira.....	50
Figura 15 - Tratamento químico do solo.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos problemas encontrados	26
Quadro 2 - Avaliação de corpos de prova tratados com preservantes naturais.....	33
Quadro 3 - Resumo dos métodos preservativos.....	43
Quadro 4 - Eficácia do método de barreira química.....	52
Quadro 5 - Resumo das soluções construtivas.....	53
Quadro 6 - Soluções para perda de resistência mecânica.....	54
Quadro 7 - Soluções para consumo por cupins.....	55
Quadro 8 - Soluções para deformações mecânicas.....	56
Quadro 9 - Soluções para descoloração.....	56
Quadro 10 - Soluções para combustão.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificação e contextualização do estudo	11
1.2 Objetivos.....	14
1.3 Limitações e delimitações.....	14
1.4 Estrutura do texto.....	14
2 ANATOMIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	15
2.1 Estrutura macroscópica	15
2.2 Estrutura microscópica	17
3 AGENTES DEGRADANTES DA MADEIRA	18
3.1 Bactérias	18
3.2 Fungos.....	19
3.2.1 Fungos emboloradores	19
3.2.2 Fungos manchadores	20
3.2.3 Fungos de podridão	21
3.3 Cupins.....	21
3.3.1 Cupins subterrâneos	21
3.3.2 Cupins de madeira Seca	22
3.4 Intemperismo	23
3.5 Combustão.....	24
3.6 Deformações mecânicas	25
3.7 Resumo dos problemas encontrados.....	25
4 SOLUÇÕES PARA A PRESERVAÇÃO DA MADEIRA.....	27
4.1 Preservativos da madeira.....	27
4.1.1 Preservativos oleossolúveis.....	28
4.1.2 Preservativos hidrossolúveis	29
4.1.3 Tintas e ignífugos.....	31
4.1.4 Produtos alternativos de baixa toxicidade.....	32
4.2 Métodos de preservação da madeira	34

4.2.1 Métodos superficiais de tratamento.....	34
4.2.1.1 Pincelamento.....	35
4.2.1.2 Pulverização.....	36
4.2.1.3 Imersão	36
4.2.2 Métodos de tratamento de impregnação.....	37
4.2.2.1 Tratamento de célula cheia	37
4.2.2.2 Tratamento de célula vazia	39
4.2.2.3 Substituição de seiva.....	40
4.2.2.3.1 Substituição de seiva por capilaridade	41
4.2.2.3.2 Substituição de seiva por pressão.....	41
4.3 Resumo das soluções para a preservação da madeira.....	42
5 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA A PRESERVAÇÃO DA MADEIRA	44
5.1 Proteção da água da chuva	44
5.2 Proteção da umidade do solo	46
5.3 Proteção da umidade de condensação	47
5.4 Escolha da madeira	49
5.5 Manutenção regular	50
5.6 Métodos de barreira contra cupins.....	50
5.6.1 Método de barreira química	51
5.6.2 Uso de iscas.....	52
5.7 Resumo das soluções construtivas para a proteção da madeira	53
6 ANÁLISE DOS PROBLEMAS E SOLUÇÕES PARA O USO DA MADEIRA.....	54
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificação e contextualização do estudo

Da grande variedade de técnicas construtivas, a mais comum na maior parte do Brasil é a de alvenaria, seja ela estrutural ou de vedação. Seu uso amplo, principalmente nas médias e grandes cidades, já é tradicional e até mesmo esperado dada a grande versatilidade e durabilidade do material cerâmico, sua fácil obtenção, pelo conhecimento da mão de obra e também pelo seu baixo custo.

Após um crescimento expressivo nas últimas duas décadas a economia brasileira entrou em uma forte recessão, seguida por forte crise econômica, e finalmente atingida por uma pandemia de proporções históricas. Com a perda de poder de compra da população, quaisquer soluções alternativas mais baratas para a moradia, inclusive o uso de madeira para fins construtivos, estão sendo consideradas pelo setor.

A madeira já foi bastante utilizada no passado na construção brasileira, tanto por razões extrínsecas, como a facilidade de obtenção e baixo custo da madeira então abundante, quanto intrínsecas, podendo ser citadas durabilidade, trabalhabilidade, boa resistência à compressão, bom isolamento térmico e acústico, facilidade de transporte e outros (STUMPP, 1997). Em tempos recentes sua utilização se tornou mais restrita, e duas razões principais podem ser citadas: o modo de extração da madeira no Brasil, feito de forma extrativa, e uma razão cultural, a madeira não costuma ser vista como material de construção de qualidade.

A extração de madeira no Brasil foi realizada em geral de forma extrativa, utilizando-se as matas nativas que já existiam quando do início da colonização sem o reflorestamento (STUMPP, 1997). Sua abundância e fácil obtenção eram grandes atrativos. Séculos de extração de mata nativa reduziram sua oferta, e recentes preocupações ambientais limitaram essa extração predatória. O mercado brasileiro não se adaptou plantando árvores para fins construtivos em larga escala, como fizeram diversos países em diferentes regiões do planeta, preferindo migrar para outros métodos, principalmente para a alvenaria cerâmica (STUMPP, 1997). Criou-se um ciclo: não se utiliza madeira, pois não se planta, e não se planta, pois não se utiliza.

A segunda razão é cultural: a madeira possui um grande estigma, sendo associada a construções antigas e de baixo padrão, também sendo vista como um material intrinsecamente problemático. Por ser tradicionalmente o material de primeiro uso quando da ocupação de uma região, seu uso é visto como sendo transitório e indesejado. Constrói-se em madeira no início, quando possível migra-se para a alvenaria. A associação criada no imaginário popular é de que

essa migração só não é feita por quem não tem condições financeiras de fazê-lo, quem as possui não utiliza madeira.

A segunda razão é consequência da primeira: as construções vistas como transitórias e de baixo valor nas quais a madeira costumava ser utilizada são feitas muitas vezes sem planejamento, controle de execução, e com técnicas pouco eficientes, e por isso apresentam problemas dos mais diversos. Com o passar do tempo, a maioria das edificações executadas em madeira encaixaram-se nessa categoria de construção sem planejamento, e a relação parece óbvia: construir em madeira é problemático. Ignoram-se a falta de planejamento e a qualidade da execução. Não se culpam a técnica nem os métodos, culpa-se o material.

Problemas tradicionalmente relacionados à madeira, como empenamento e alta combustibilidade, são costumeiramente vistos como insolucionáveis, justificando que seu uso seja descartado, em geral em benefício da alvenaria. Essa visão impede que se busque uma solução para esses problemas, e essa ausência de soluções só os intensifica, reforçando o ciclo.

Todo método construtivo possui desvantagens e dificuldades, que costumam ser analisadas e solucionadas, mas essa busca por soluções não costuma ser aplicada à madeira, sempre relegada à condição de material problemático e de baixa qualidade. Uma mudança de paradigma seria benéfica para o setor da construção e também para os usuários. Exemplos de que ela pode sim ser utilizada em larga escala e com qualidade são diversos.

Muitos países, principalmente os chamados desenvolvidos, ainda utilizam a madeira na construção, tanto para fins de vedação quanto estruturais. O esgotamento da vegetação nativa e de fácil extração ocorreu em outros países da mesma forma que ocorreu no Brasil, e em alguns casos até muito antes, mas a reação do setor construtivo foi diametralmente diferente: enquanto nos Estados Unidos e Canadá se iniciou o plantio de árvores para uso na construção, no Brasil a madeira simplesmente teve seu uso reduzido e relegado a uma condição já mencionada anteriormente (STUMPP, 1997).

Essa diferença seria mais coerente se fosse invertida: os países que são referência no uso da madeira (como os já citados Estados Unidos e Canadá, havendo outros exemplos) estão situados em regiões de alta latitude e de baixa incidência de luz solar, o que diminui a velocidade de crescimento de árvores. No Brasil, situado em regiões de baixas e médias latitudes, essas mesmas árvores possuem um crescimento muito mais acelerado (STUMPP, 1997). Estabelece-se uma situação com pouco sentido lógico: constrói-se em madeira em lugares onde ela é mais dificilmente obtida, e em um local de relativa facilidade de obtenção ela é relegada a um papel secundário.

É razoável admitir que das duas razões já citadas para o baixo uso da madeira na construção no Brasil, a cultural possui maior impacto. O plantio destinado à construção nacional é economicamente viável, e só não ocorre em larga escala em função da baixa demanda (STUMPP, 1997). Essa baixa demanda é função do estigma associado às construções de madeira, usualmente de baixa qualidade. Surge um questionamento óbvio: como melhorar a qualidade dessas construções?

Mostrando-se que esses problemas tradicionalmente associados à madeira não são intrínsecos e podem sim ser resolvidos, é possível mudar a visão prevalente sobre ela. É natural supor que se a madeira for vista como um material mais nobre e não problemático, o padrão de qualidade das construções que a utilizam tenderá a melhorar. Sendo executadas boas construções, com baixa incidência de problemas, uma mudança de visão sobre a qualidade desse material é possível, iniciando-se um novo ciclo, dessa vez virtuoso.

Algumas soluções já são conhecidas, resquícios do período de ampla utilização da madeira. Para a alta combustibilidade, afastá-la do fogo; para a umidade, afastá-la da água; para insetos e cupins, biocidas. Mas essas soluções, além de simplórias, não solucionam o problema, só o evitam. E se não for possível afastar a madeira da água? A solução atual é não utilizá-la. Esta visão não foi aplicada ao concreto: se fosse, não se construiria à beira-mar, dada a baixa resistência do concreto a esse ambiente. O problema foi solucionado nesse caso, com cimentos naturalmente mais resistentes ao ambiente marítimo. Qual o impedimento de aplicar soluções semelhantes à madeira?

O primeiro impedimento que pode ser citado é de que a madeira é natural, não pode ter sua composição alterada da mesma forma que o cimento, o que é verdade. Mas sua composição não precisa ser alterada, muitas vezes um tratamento superficial já seria suficiente. Tratamentos com ignífugos para o fogo, impregnantes que protegem contra a umidade, vernizes que impedem o surgimento de mofo, são alguns exemplos que podem ser citados como soluções em tratamentos superficiais.

Mas é esperado que existam outros, mais simples ou mais complexos, de maior ou menor custo, de maior ou menor eficiência. Com base nessas observações conclui-se que é necessária a identificação e divulgação desses métodos, a fim de que a madeira possa ser vista como material de qualidade e como solução construtiva, deixando de ser vista como um material problemático e indesejado.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é mostrar que a madeira é um material viável para a construção.

Como objetivos secundários inicialmente serão determinados quais os problemas mais usuais apresentados pela madeira, como se manifestam e qual sua origem. Em sequência serão buscadas soluções para os problemas abordados, que serão divididas em métodos de beneficiamento e em métodos construtivos que aumentam a vida útil da madeira.

1.3 Limitações e delimitações

Problemas externos à madeira e relacionados a cadeia produtiva (como por exemplo, baixa qualidade das peças, falta de profissionalismo no ramo, ilegalidade da extração etc.) não são parte do escopo deste trabalho. O fato de o trabalho ser todo realizado apenas com fontes acadêmicas e sem fontes comerciais dá-se em função do baixo conhecimento das técnicas pelo mercado da madeira no Brasil.

1.4 Estrutura do texto

O texto está estruturado em sete capítulos.

O capítulo 1 introduz o tema, o porquê de sua escolha e a metodologia do trabalho.

No capítulo 2 é feita uma breve análise sobre a estrutura da madeira e porque ela é suscetível aos problemas tratados nos capítulos seguintes.

No capítulo 3 são apontados alguns problemas tradicionais da madeira enquanto material construtivo e suas causas, apresentado-se um quadro resumo no final.

No capítulo 4 são apresentadas soluções para esses problemas na forma de soluções químicas preservativas e métodos de aplicação, apresentado-se um quadro resumo no final.

O capítulo 5 trata de soluções construtivas para os problemas apontados, apresentando-se um quadro resumo no final.

No capítulo 6 é apresentado um resumo dos problemas apontados, suas soluções preservativas e construtivas, e uma análise sobre elas.

O capítulo 7 trata-se da conclusão e considerações finais do trabalho.

2 ANATOMIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Não é possível estudar a degradação da madeira sem inicialmente entender como ela ocorre, e para isso é necessário estudar sua composição. Como a origem quase total da madeira de uso comercial provém do caule, esse estudo se limita a ele.

2.1 Estrutura macroscópica

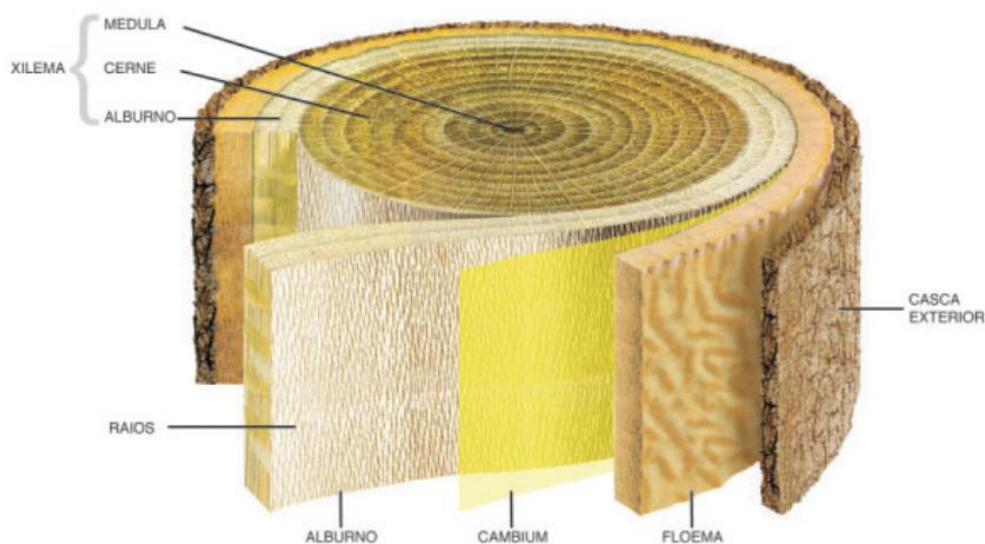
De acordo com Chimelo (1986), o caule pode ser dividido em (do interior para o exterior, em camadas concêntricas, conforme a figura 1:

a) medula: é a região mais interna do caule. Por ser um tecido de armazenamento de substâncias nutritivas, é altamente suscetível ao ataque de organismos xilófagos, o que a torna contraindicada para uso na construção.

b) cerne e alburno: podem ser referidos em conjunto como xilema, e compõe a região intermediária e majoritária do caule, e a de real interesse para a construção. O alburno, mais externo, é composto de células vivas responsáveis pelo transporte de seiva bruta e armazenamento de substâncias nutritivas, o que o torna suscetível ao ataque de organismos. Por ser altamente permeável, é a região mais facilmente tratável da madeira. É mais comum em árvores mais jovens e com o tempo, variável de acordo com a espécie, se transforma em cerne por meio da morte das células mais antigas, de dentro para fora e de forma contínua. Dois processos costumam acontecer quando da formação do cerne: o escurecimento do tecido e a perda de permeabilidade. No primeiro processo citado a diferença é puramente visual. A segunda mudança é de maior relevância para os processos de preservação, como será citado. Além disso, o cerne costuma ter maior resistência mecânica natural que o alburno, em função de sua maior densidade.

c) casca: é composta por duas partes, a interna fisiologicamente ativa (floema), e a externa composta de tecido morto (ritidoma). Via de regra não é usada na construção civil devido a sua pequena espessura e alta fragilidade.

Figura 1 - Anatomia da Madeira



Fonte: GONZAGA, 2006.

Em se tratando do cerne e alburno, objetos de interesse deste trabalho, seu elemento constituinte principal a nível macroscópico são as fibras (GONZAGA, 2006). Essas fibras são orientadas em sentido longitudinal (ao longo do tronco), o que causa a anisotropia da madeira, que é a variação de suas características mecânicas de acordo com o sentido considerado. A madeira é muito mais resistente no sentido das fibras, tendo grande resistência à esforços normais nesse sentido. Por isso, a madeira de uso estrutural deve ser utilizada preferencialmente de forma que as forças atuem no seu sentido longitudinal.

Outro elemento importante são os raios e os vasos, elementos com função vascular. Os vasos se orientam de forma longitudinal e os raios de formas transversal com relação ao caule, e ambos são preenchidos por seiva e extrativos. A variação volumétrica da madeira causada pela absorção e eliminação de umidade ocorre quase que totalmente no sentido transversal (GONZAGA, 2006).

Os extrativos são compostos químicos presentes naturalmente na madeira que são responsáveis por diversas de suas características, embora ainda não sejam totalmente compreendidos. (GONZAGA, 2006). Entre os extrativos mais comuns encontrados na madeira estão taninos, compostos fenólicos e outros elementos que atribuem à madeira características como cor, odor e uma resistência natural a fungos e bactérias, (KLOCK e ANDRADE, 2013) sendo essa resistência bem alta em algumas espécies.

2.2 Estrutura microscópica

A composição química da madeira é extremamente complexa, e seu estudo a fundo foge do escopo deste trabalho. Lepage (1986) divide a madeira em três partes majoritárias:

a) celulose: este é o principal componente da madeira, correspondendo a 40 a 55% de sua massa. Quimicamente é definida como um carboidrato complexo, polissacarídeo e de alto peso molecular, insolúvel em água e formada por grandes cadeias de moléculas de glicose. Estes polímeros formam a parede celular da madeira e são responsáveis pela maioria das suas propriedades físicas, mecânicas e químicas.

b) hemiceluloses: esta é a fração responsável por aproximadamente 18 a 35% da massa da madeira. Quimicamente são semelhantes à celulose, com a qual estão em estreita associação na parede celular. São compostas por uma mistura de açúcares, e suas cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose.

c) lignina: elemento que compõe cerca de 20 a 30% da massa da madeira. Quimicamente é bem distinta dos outros dois componentes, apresentando maior resistência a biodegradação. Também é responsável pela rigidez e resistência mecânica das paredes celulares.

A madeira possui grande quantidade de energia armazenada em seu interior, principalmente na forma de carboidratos, além da água contida na seiva e extrativos. Diversos organismos se alimentam direta ou indiretamente dessa energia, em um processo denominado biodegradação. Esse processo é natural e de grande importância para o meio ambiente, pois garante a reciclagem de energia. Por isso, a madeira pode ser considerada como elemento renovável e não emissora de gases poluentes, diferente de boa parte de outros materiais construtivos.

É necessária a presença de água para que ocorra a biodegradação, pois os organismos que se alimentam da madeira precisam dela para realizar o metabolismo da energia, com exceção de alguns cupins. Dessa forma, a madeira seca é bem menos suscetível à degradação natural, e o foco dos métodos de preservação é sempre secar a madeira e mantê-la seca. Porém, um processo de secagem mal feito pode causar danos estruturais à madeira, pela contração das fibras quando a água é eliminada muito rapidamente ou por meios incorretos.

3 AGENTES DEGRADANTES DA MADEIRA

Os agentes degradantes da madeira são diversos, e podem ser agrupados por diversos critérios. Neste trabalho, serão abordados três tipos de agente biodegradantes: bactérias, fungos e cupins, e dois abióticos, o intemperismo e a combustão. Outros agentes, como ataque químico e brocas marinhas, são pouco comuns e fogem do escopo deste trabalho.

3.1 Bactérias

De acordo com Oliveira e outros (1986), o ataque de bactérias xilófagas é de difícil percepção e pode durar anos, normalmente sem efeitos evidentes de imediato, sendo comum em madeiras que estejam expostas tanto a condições anaeróbias (submersas ou enterradas) e quanto a condições aeróbias. As bactérias degradam principalmente a parede celular, e essa degradação é essencial para o posterior ataque de fungos. Em alguns casos podem aparecer manchas que progressivamente se tornam amolecidas pela decomposição das fibras, mas estas manchas não estão necessariamente relacionadas com as causadas por fungos.

Carvalho e outros (2018) afirmam que a maior parte das madeiras que estiverem úmidas por uma grande quantidade de tempo conterà bactérias, sendo o odor característico de toras mantidas submersas um sinal de ataque bacteriano. Bactérias têm pouco efeito nas propriedades mecânicas da madeira em períodos curtos, porém pode haver um aumento significativo na capacidade de absorção da madeira, o que pode acelerar o processo de erosão. Em períodos longos, ocorre a degradação da parede celular, diminuindo a resistência mecânica da madeira e facilitando o ataque de fungos.

Oliveira e outros (1986), complementado por Carvalho e outros (2018), dividem as bactérias em três grupos de acordo com seus mecanismos de deterioração: bactérias de túneis, de erosão e de cavidades.

a) bactérias que atacam por túneis: ocorrem tanto em ambiente terrestre como em ambiente aquático. São capazes de tolerar grande variedade de temperatura e umidade. Essas bactérias degradam a parede celular através de túneis “escavados” em direções aleatórias, o que abre espaço para o posterior ataque de fungos causadores de podridão mole. As bactérias de túneis geralmente entram na madeira através dos raios e degradam os elementos lignificados (traqueídeos, fibras e vasos).

b) bactérias que causam erosão: este tipo de deterioração também pode ser observado em madeiras e produtos de madeira expostos tanto em ambiente terrestre quanto aquático, pois pode tolerar grande variedade de temperatura e umidade, e é mais comum em condições

com pouco ou nenhum oxigênio. Pode ocorrer exclusivamente ou em conjunto com bactérias de túneis e com fungos.

c) bactérias de cavidade: podem formar cavidades em forma de pequenos diamantes ou de formatos irregulares dentro da parede secundária. Essas cavidades encontram-se perpendicularmente à direção das fibras. As cavidades têm início próximo às pontuações ou diretamente no interior das paredes celulares. É o tipo de ataque bacteriano mais incomum.

3.2 Fungos

A madeira pode ser consumida por vários tipos de fungos, que causam danos diversos. Oliveira e outros (1986), Carvalho e outros (2018) e Guimarães e outros (2018), os dividem em emboloradores e manchadores, que causam danos estéticos, e em fungos de podridão, que causam danos estruturais.

3.2.1 Fungos emboloradores

Os fungos emboloradores, também conhecidos como bolores, não são capazes de se desenvolver em madeira seca, ou seja, com um teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Seu crescimento é mais comum em toras recentemente cortadas, especialmente na parte úmida do alburno, em peças recém-serradas ou em madeiras expostas a ambientes de alta umidade. O nível de umidade mais propício para o crescimento desses fungos varia entre 35% e 50% (CARVALHO e outros, 2018).

Entretanto, o fungo embolorador não necessariamente morre na madeira seca, pois pode permanecer em estado latente e retomar seu desenvolvimento quando a madeira é novamente exposta à umidade. Além da presença de umidade, os bolores também requerem nutrientes, temperatura adequada (idealmente entre 20°C e 30°C) e oxigênio para seu crescimento e reprodução (CARVALHO e outros, 2018). Quando todas essas condições são atendidas, os bolores se proliferam, liberando uma nuvem de esporos no ar.

Ao contrário das bactérias, os fungos emboloradores não afetam as paredes celulares da madeira, o que significa que eles não comprometem sua resistência mecânica. O ataque é superficial, resultando em danos estéticos significativos à madeira. Isso ocorre devido ao crescimento acentuado de hifas na superfície, criando um aspecto algodado em várias cores, dependendo da espécie de fungo (CARVALHO e outros, 2018), como visto na figura 2.

Figura 2 - Bolor em tábua de pinus



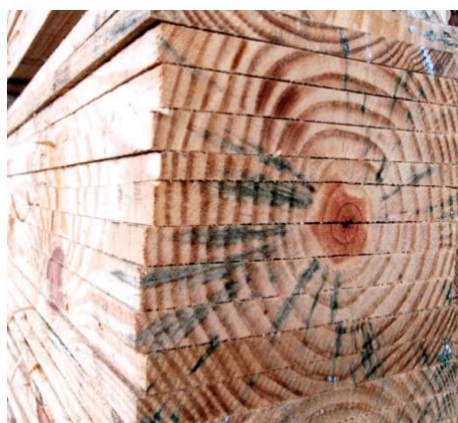
Fonte: CARVALHO e outros, 2018.

3.2.2 Fungos manchadores

Inicialmente, é possível distinguir entre bolores e fungos manchadores com base na profundidade da pigmentação, uma vez que o ataque superficial apresenta semelhanças visuais, porque os fungos manchadores típicos conseguem penetrar mais profundamente no alburno da madeira, tornando-se difícil removê-los por meio de métodos de usinagem, como lixamento ou aplainamento (CARVALHO e outros, 2018). Assim como os bolores, os fungos manchadores podem ser encontrados em toras recém-cortadas e em madeira serrada, durante o processo de secagem ou em situações em que a madeira é novamente umidificada.

De acordo com Furtado (2000, apud CARVALHO e outros, 2018), esse tipo de fungo cresce na superfície do alburno, onde produz hifas pigmentadas que se alimentam dos carboidratos presentes nas células, resultando em manchas acinzentadas a azuladas, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3 - Fungo manchador em tábuas de pinus



Fonte: CARVALHO e outros, 2018.

3.2.3 Fungos de podridão

Diferente dos fungos emboloradores e manchadores, que causam apenas danos superficiais e estéticos, os fungos de podridão causam perda da resistência mecânica da madeira. Suas condições de crescimento são semelhantes aos tipos já citados, necessitando de umidade, calor e má ventilação. Carvalho e outros (2018) classificam três tipos de fungos de podridão:

a) fungos de podridão branca: são fungos que quebram a lignina da madeira e a convertem em compostos simples que podem ser facilmente decompostos por outros organismos. Esses fungos são caracterizados por uma aparência branca e aveludada, ataque mais lento que os de podridão marrom, e é comum em madeira macia.

b) fungos de podridão marrom: esses fungos quebram a celulose da madeira, tornando-a quebradiça e com uma aparência marrom ou amarelada. São comuns em espécies de madeira mais duras. A madeira adquire aspecto de queimada, com rachaduras longitudinais, e bastante perda de resistência mecânica.

c) fungos de podridão mole: são fungos que quebram a celulose e a lignina da madeira, deixando-a macia e esponjosa. São comuns em espécies de madeira macia. Sua ação é mais lenta e superficial, amolecendo a peça e a deixando com trincas transversais.

3.3 Cupins

Cupim é o nome popular de centenas de espécies de insetos que se alimentam de madeira, assim denominados xilófagos. São um dos agentes mais associados à degradação da madeira, e com razão. O seu ataque costuma ser rápido e destrutivo, muitas vezes passando despercebido até o dano ser praticamente irreparável.

Oliveira e outros (1986), os classificam em três tipos principais: subterrâneos, de madeira seca, e arborícolas. Este último tipo se alimenta exclusivamente de árvores vivas, e por não atacarem a madeira usada na construção não serão abordados neste trabalho.

3.3.1 Cupins subterrâneos

A principal característica dos cupins subterrâneos é o fato de desenvolverem suas colônias no solo. Eles constroem seus túneis pela terra e ao redor de obstáculos para chegar até sua fonte de alimento, conforme a figura 4. Algumas espécies são naturalmente resistentes ao ataque de cupins, principalmente a madeira do cerne, devido ao acúmulo de extrativos que tornam o material pouco atrativo ao inseto.

Outra característica marcante dos cupins subterrâneos é a necessidade de se manterem próximos a uma fonte constante de umidade. Essa fonte pode ser tanto a madeira da qual se alimentam ou o solo onde vivem. O indicativo da infestação geralmente é a presença de túneis e passagens que os cupins constroem sobre as fundações e áreas expostas para chegar até a madeira (OLIVEIRA e outros, 1986), como indicado na figura 4.

Figura 4 - Ataque de cupins de solo



Fonte: MORESCHI, 2013.

3.3.2 Cupins de madeira Seca

São representados por cerca de 500 espécies, porém menos de 10% delas são consideradas agentes deterioradores de madeira estrutural e de móveis, podendo ocorrer em todas as regiões tropicais, subtropicais e em algumas regiões temperadas (OLIVEIRA e outros, 1986).

Os cupins de madeira-seca não se multiplicam tão rapidamente quanto os subterrâneos e possuem vida de colônia e hábitos diferentes. A principal diferença é a habilidade dessa espécie de cupins de viver dentro da madeira seca sem contato com a umidade externa ou com o solo. A colônia desse tipo de cupim é pequena, pode ser dispersa e demorar anos para se tornar madura (OLIVEIRA e outros, 1986). Assim, sua deterioração pode não ser rápida, mas por poderem passar despercebidos durante anos, os cupins de madeira-seca são considerados tão perniciosos quanto os cupins subterrâneos.

As novas infestações de cupins de madeira-seca têm origem exclusiva em indivíduos alados provenientes de uma colônia madura nas proximidades. Essa espécie é capaz de sobreviver em madeira com umidade entre 10% e 12%. O casal de cupins penetra na madeira por meio de rachaduras ou aberturas naturais, iniciando a escavação em seu interior e fechando o orifício de entrada com partículas da própria madeira (SOUZA e outros, 2018).

Esse tipo de cupim geralmente é transportado de uma estrutura para outra por meio de objetos já infestados, como móveis ou tábuas. Por isso, é essencial realizar uma inspeção

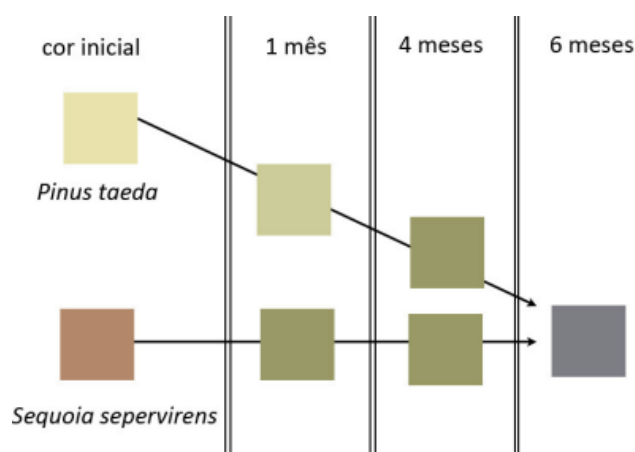
minuciosa na madeira antes de transportá-la de um local para outro. Além disso, uma medida preventiva que pode ser adotada é cobrir as peças de madeira armazenadas que serão utilizadas em uma obra, a fim de evitar a infestação por um casal reprodutor durante os períodos de voo. No caso de madeira que já tenha sido severamente danificada, é recomendado substituí-la imediatamente (SOUZA e outros, 2018).

3.4 Intemperismo

Pode ser definido como o desgaste natural da madeira quando esta é exposta às intempéries, excluindo-se os outros métodos de apodrecimento já citados, e de acordo com Oliveira e outros (1986), inclui três componentes principais.

- umidade: a madeira sofre mudança dimensional quando seu teor de umidade é alterado, contrai-se quando perde umidade e expande-se quando é umedecida. Quando a umidade relativa do ar está em um nível muito baixo, a madeira também pode sofrer com rachaduras e deformações. Por outro lado, quando há excesso de umidade no ar, a madeira absorve mais água, aumentando sua velocidade de biodegradação.
- luz solar: a absorção de luz solar pela madeira, principalmente de raios ultravioleta, promove uma série de reações fotoquímicas que levam à descoloração da superfície, até uma profundidade máxima de 2,5 mm (inicialmente amarelamento ou escurecimento, e por fim uma coloração acinzentada, conforme figura 5) (CASTRO E GUIMARÃES, 2018).
- calor: a presença de calor acelera os processos de biodegradação, e a variação de temperatura degrada a madeira de forma mecânica por meio da contração e dilatação térmica.

Figura 5 - Mudança da coloração superficial causada pelo intemperismo



Fonte: CASTRO E GUIMARÃES, 2018.

3.5 Combustão

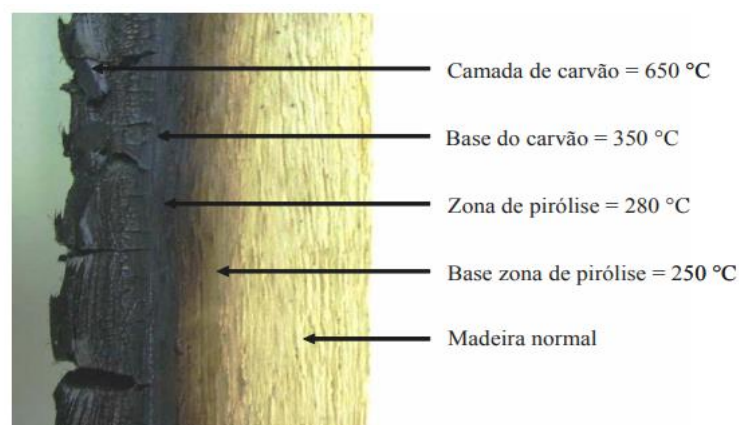
Talvez a forma de degradação mais associada à madeira. A degradação da madeira pelo fogo é aparentemente óbvia, mas quimicamente é complexa. Exceto em situações específicas, a combustão não ocorre na madeira sólida, mas em gases liberados pelo calor no processo denominado pirólise (OLIVEIRA e outros, 1986), mostrado na figura 6).

De acordo com Figueroa e Moraes (2009) e complementado por Oliveira e outros (1986) a pirólise ocorre quando a madeira é aquecida a temperaturas elevadas, mas não altas o suficiente para a queima completa do carvão, que ocorre na faixa de 200 °C a 500 °C aproximadamente. Durante o processo de pirólise a madeira é decomposta em seus principais componentes: lignina, celulose e hemicelulose. Esses componentes são então decompostos em produtos como vapor d'água, dióxido e monóxido de carbono, e compostos orgânicos voláteis, que são liberados da madeira na forma de gases.

São nos compostos orgânicos voláteis que a combustão propriamente ocorre, e entre eles é possível citar metano, ácido acético, alcatrão, fenóis, aldeídos e cetonas, sendo alcatrão de especial importância, pois da sua destilação é obtido o creosoto, um dos primeiros preservativos modernos da madeira (OLIVEIRA e outros, 1986).

Após a queima dos gases voláteis, se a temperatura for alta o suficiente ocorre a combustão do carvão gerado na pirólise. Mas a queima do carvão, apesar deste possuir maior energia térmica por unidade de massa que a madeira, é paradoxalmente mais lenta, pois o carvão é um péssimo condutor de calor (da ordem de um sexto da condutibilidade térmica da madeira) (COSTA E SILVA, 2010 apud CASTRO E GUIMARÃES, 2018). O principal objetivo do tratamento contra o fogo na madeira é retardar ou diminuir a velocidade da pirólise, pois nela ocorre a liberação de gases tóxicos e perda das características mecânicas da madeira (FIGUEROA e MORAES, 2009).

Figura 6 - Etapas da combustão da madeira



Fonte: FIGUEROA E MORAES, 2009.

3.6 Deformações mecânicas

Refere-se aos danos causados na madeira por fenômenos físicos que não foram citados previamente. Com base nas informações apresentadas por Castro e Guimarães (2018) é possível classificar esses danos em desgaste físico, deformações e rachaduras.

- a) O desgaste físico é definido como a abrasão da madeira pelo contato e movimento de pessoas e objetos. Esse desgaste é bem comum em pisos de madeira, e não tem como ser facilmente evitado, principalmente em situações de uso contínuo .
- b) Deformações e rachaduras são causadas pela secagem incorreta da madeira, e também pela variação constante e/ou abrupta de temperatura.

3.7 Resumo dos problemas encontrados

Os agentes degradantes da madeira são vários, mas os danos causados a ela podem ser divididos em poucas categorias.

A perda de resistência mecânica é de grande relevância para a construção. Essa perda de resistência é causada pela ação de bactérias e pelos diversos fungos de podridão, que atacam a madeira quando ela está úmida e na faixa de temperatura adequada.

De grande preocupação também é o ataque de cupins, pois consomem a madeira rapidamente e são de difícil controle, pois muitas vezes não se sabe da existência de colônias próximas e só se nota o ataque quando ele está avançado.

Deformações mecânicas demoram a se manifestar, e são essencialmente irreversíveis, então evitá-las é de grande importância.

A descoloração, que pode ser causada tanto por fungos e bactérias quanto pelo intemperismo, não influencia as propriedades mecânicas da madeira, mas prejudica seu valor estético e conseqüentemente comercial.

Por fim, a combustão da madeira também é extremamente relevante, pois destrói o material e também ameaça a vida humana.

Um resumo desses problemas e suas causas é apresentado em seguida no quadro 1:

Quadro 1 - Resumo dos problemas encontrados

Problema	Origem
Perda de resistência mecânica	Causado por bactérias e alguns tipos de fungos. Exposição a umidade por tempo prolongado associada a temperaturas ideais podem causar ataque por bactérias, o que possibilita o ataque por fungos.
Consumo por cupins	Contato com o solo é o maior fator de risco, assim como a proximidade de colônias já existentes.
Deformações mecânicas	Variações constantes de umidade e temperatura podem fazer com que a madeira rache ou deforme, e o contato com pessoas e objetos causa abrasão superficial.
Descoloração	Fungos emboloradores e manchadores e alguns tipos de bactérias. Exposição prolongada à umidade é um fator de risco. Intemperismo causado pela exposição prolongada à luz solar.
Combustão	Pode se originar na madeira ou em elementos combustíveis próximos e se alastrar.

Fonte: Autoria própria, 2023

4 SOLUÇÕES PARA A PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

A preservação da madeira é uma prática antiga, e os métodos utilizados ao longo da história evoluíram significativamente, porém sempre com o mesmo objetivo: proteger a madeira da sua degradação natural (STUMPP, 1997).

No passado, a madeira era preservada naturalmente, por meio da seleção de árvores resistentes à deterioração e do uso de técnicas de secagem, corte e armazenamento adequados. Outra prática comum era a imersão da madeira em água por um longo período de tempo, o que ajudava a remover a seiva e a tornar a madeira mais durável (STUMPP, 1997).

Com o passar do tempo, foram desenvolvidos métodos mais sofisticados de preservação da madeira. No século XIX, surgiram os primeiros tratamentos de preservação com produtos químicos, visando proteger a madeira utilizada em ferrovias e em postes de telégrafo e de transporte de energia (LEPAGE, 1986).

No início do século XX, o uso de preservativos químicos se tornou mais difundido, com o desenvolvimento de compostos à base de arsênio, cromo e cobre. Esses tratamentos químicos se tornaram populares para proteger a madeira contra fungos, insetos e outros organismos que podem causar deterioração (LEPAGE, 1986).

4.1 Preservativos da madeira

Preservativos de madeira são produtos químicos utilizados para proteger a madeira da deterioração causada por organismos biológicos, como fungos, insetos e bactérias, e também contra agentes abióticos. São diversas as opções de mercado, que vem pouco a pouco se tornando mais sustentáveis.

Os primeiros preservativos industriais foram desenvolvidos à base de óleos, e por isso denominados oleossolúveis. São de alta eficácia, sendo bastante tóxicos para os organismos que atacam a madeira, mas também para seres humanos e para o meio ambiente. Com o tempo se desenvolveram os preservativos hidrossolúveis, um pouco menos agressivos mas também menos eficientes contra os agentes orgânicos (LEPAGE, 1986). Estudos mais modernos apontam uma terceira opção, o uso de extrativos de árvores com grande resistência natural à biodegradação, que aplicados na madeira de outra espécie conferem a ela essa resistência (STUMPP, 2005).

Para os agentes abióticos da combustão e do intemperismo, existem os ignífugos e as tintas, que possuem diversas finalidades. Ignífugos são químicos que diminuem o dano causado pelo fogo na madeira, dificultando para que ele se inicie ou se alastre. As tintas possuem diversas funções, podendo ter filtros da radiação ultravioleta para proteger da descoloração

causada pelo intemperismo, propriedades ignífugas, ou mesmo proteger do ataque de insetos ao criar uma barreira na superfície da madeira

A aplicação de todas essas soluções ocorre por diversos métodos, de variados níveis tecnológicos. Sua aplicação pode ser superficial ou profunda, impregnando a madeira. A escolha do método depende de vários fatores, como custo, uso da madeira, toxicidade do preservativo e outros (SILVA, 2008).

4.1.1 Preservativos oleossolúveis

Ravasi (2011) descreve os preservativos oleossolúveis como produtos que consistem em um solvente contendo uma mistura de óleo, apresentando uma composição química complexa com um grande número de compostos orgânicos em sua formulação. Esses preservativos são comumente utilizados no tratamento de madeiras secas e descascadas.

Os preservativos oleossolúveis naturais possuem características como cor escura e odor característico, além de alta viscosidade em temperatura ambiente. Eles também demonstram resistência à lixiviação e exibem propriedades inseticidas e fungicidas eficazes. No entanto, devido à sua natureza, esses preservativos tendem a alterar a cor original das peças de madeira, dificultando a aplicação de tintas e vernizes como acabamento (SILVA, 2007 apud RAVASI, 2011). Portanto, devido à sua durabilidade, seu uso é mais recomendado para peças em ambientes externos. Alguns preservativos comuns que podem ser citados são o creosoto, TTO, PCP e TBP.

a) creosoto: um dos primeiros, se não o primeiro, dos preservativos modernos. De origem renovável, pois é obtido a partir da destilação do alcatrão da hulha ou da madeira (MORESCHI, 2013)

Torna a madeira impermeável à água, tendo dessa forma uma alta eficiência. É usado em madeiras que possuem alto risco de biodegradação por estarem em contato direto com solo ou com a água. A desvantagem na utilização deste preservativo é que este deixa a madeira oleosa, o que impede a sua pintura (ROCHA, 2011 apud RAVASI, 2011).

O creosoto é um preservativo que contém em sua formulação química um princípio ativo tóxico aos agentes degradadores da madeira. Ultimamente não vem sendo mais utilizado na preservação da madeira, por falta de estudos que mostram benefícios em suas características preservativas e também pela perda estética causada por ele.

b) óxido de bis (tributil-estanho) – (TBTO): apresenta ótimos resultados contra organismos xilófagos em peças de madeira que não estejam em contato direto com solo,

possuindo características fungicidas e bactericidas. Suas principais características são: a baixa toxidez para animais e humanos e alta eficiência (principalmente quando comparado com o CCA e o pentaclorofenol). Contudo, seu uso é restrito devido ao alto preço de mercado do produto (ROCHA,2011 apud RAVASI, 2011). O TBTO pode ser usado para melhorar o creosoto, para preservar as peças de madeira que serão usadas em meio marítimo e associado a outros preservativos como o pentaclorofenol.

c) pentaclorofenol (PCP): um dos preservativos mais antigos, atualmente quase em desuso em vários países pela sua alta toxicidade para animais e para o ser humano. Seu uso persiste pela sua grande eficiência contra insetos, fungos e bactérias (MORESCHI, 2013). Possui baixa pressão de vapor, não se dissolve na água, é altamente tóxico para agentes degradadores da madeira, não se volatiliza, e também não corrói os metais,além de possuir resistência à lixiviação (MENDES, 1988 apud RAVASI, 2011)..

No Brasil o Pentaclorofenol é usado na forma de sais como preservativo de peças de madeira com ação fungicida e inseticida. É utilizado no tratamento de madeiras recém abatidas e recém serradas para eliminar os fungos emboloradores e manchadores .

d) O tribromofenol (TBP) é um composto que apresenta resultados excelentes no combate aos fungos manchadores. No entanto, no Brasil, sua eficácia é reduzida devido às condições climáticas desfavoráveis, que tendem a degradar o preservativo (MORESCHI, 2013).

Uma alternativa que vem sendo explorada é a transformação do tribromofenol em tribromofenato de sódio, por meio da mistura com hidróxido de sódio. Essa abordagem tem sido utilizada como uma tentativa de substituir o pentaclorofenol, oferecendo uma opção economicamente mais viável e com menor impacto ambiental, embora apresente menor eficiência contra agentes biológicos (MORESCHI, 2013).

Apesar disso, devido ao baixo valor de mercado em comparação com outros produtos alternativos para preservação da madeira e à baixa demanda por qualidade dos produtos madeireiros no mercado interno, o tribromofenol vem sendo amplamente utilizado (MORESCHI, 2005 apud RAVASI, 2011).

4.1.2 Preservativos hidrossolúveis

Os preservantes químicos hidrossolúveis são à base de água e geralmente formados de um ou mais componentes tóxicos. Em teoria, quanto mais compostos químicos em um só produto, maior será sua eficiência e eficácia contra os agentes biodegradantes (MENDES, 1988

apud RAVASI, 2011). Mas por outro lado a combinação de muitos produtos químicos pode vir a gerar uma reação contrária à esperada e não serem obtidas certas características desejáveis.

Os sais presentes nos preservativos hidrossolúveis têm uma grande vantagem de ordem prática e econômica: a sua comercialização em pó ou pasta de forma concentrada, sendo sua diluição feita apenas antes do uso, o que facilita o transporte e armazenamento.

a) arseniato de cobre cromatado (CCA): O CCA está presente em várias formulações disponíveis para a preservação da madeira, diferenciando-se pelas concentrações de cobre, cromo e arsênio utilizadas (LEPAGE, 1986). O cobre e o arsênio são substâncias altamente tóxicas para os agentes biodegradantes, tornando o preservativo altamente eficaz e recomendado para diversas aplicações.

b) borato de cobre cromatado (CCB): Moreschi (2013) considera o CCB como um produto alternativo ao CCA, utilizando em sua fórmula o boro ao invés do arsênio, o que o torna menos tóxico para humanos. Comparando-se os dois preservativos, o CCB apresenta maior perda por lixiviação e sua toxicidade não é tão elevada para insetos, sobretudo para madeira que ficará exposta por extenso período.

c) arseniato de cobre amoniacal (ACA): também conhecido por Chemonite. Sua fórmula contém sais de arsênio e de cobre, numa solução amoniacal. A adição de amônia causa maior permeabilidade porque gera abertura na estrutura da parede celular (LEPAGE, 1986).

É um produto preservativo bastante utilizado nos EUA e também no Canadá, sendo recomendado para madeiras que ficam em contato direto com o solo ou submersa em água doce ou salgada.

d) cromato de cobre ácido (ACC): em sua formulação contém sulfato de cobre, dicromato de sódio e trióxido de cromo e não apresenta função inseticida. Também é conhecido pelo nome Secure, que é utilizado em tratamentos de preservação da madeira que usam pressão ou não, proporcionando ótima proteção contra outros agentes (LEPAGE, 1986).

Na sua formulação não se deve misturar água que tenha carbonatos de cálcio com magnésio, porque precipitam o sulfato de cobre. Seu custo é bastante alto, o que faz com que seu uso seja reduzido.

e) cloreto de zinco cromatado (CZC): seu desenvolvimento deu-se com o intuito de diminuir a lixiviação e o efeito de corrosão em metais do cloreto de zinco puro. Começou a ser usado em larga escala em decorrência da escassez de creosoto depois da Primeira Guerra Mundial. O desenvolvimento de novos preservativos mais eficientes reduziu sua utilização

nos últimos anos, mas ainda é utilizado em baixa quantidade por causa de suas características combinadas, ou como preservativo e como retardante de fogo (LEPAGE, 1986).

É um preservativo de ótima fixação nas peças de madeira, causa pequena corrosão, e não é utilizado nas peças de madeira que serão utilizadas em lugares com temperatura elevada e baixa umidade relativa, porque tais características degradam o preservativo.

f) compostos de boro: Estes preservativos são incolores, sem odor, possuem baixa toxicidade para o homem e sua penetração é alta em peças de madeira verde. Porém, sua utilização é restrita, sendo que as peças tratadas não devem ser expostas à chuva e a outras formas de umidade.

O ácido bórico e o tetraborato de sódio (bórax) são pouco solúveis, porém elevadas concentrações podem ser obtidas quando misturados com outros compostos, e esta formulação saturada se desidrata, produzindo o preservativo conhecido internacionalmente como “Timbor” sendo ele o principal preservativo da madeira a base de borato (MORESCHI, 2013).

Geralmente é preciso aquecer a formulação para manter a concentração necessária. Essa concentração varia conforme a espessura da peça que sofrerá o tratamento. O procedimento pode ser feito por pulverização ou por imersão com baixa concentração. Estes preservativos obtêm bons resultados quando utilizados contra os fungos manchadores. Por outro lado, sua utilização não é recomendada contra bolores.

4.1.3 Tintas e ignífugos

Os métodos citados anteriormente atuam principalmente para a proteção contra a biodegradação da madeira. Para a proteção contra o fogo e contra o intemperismo, utilizam-se outras soluções, sendo as mais usuais os ignífugos e as tintas.

Os ignífugos atuam de diversas formas na madeira, muitas vezes de forma combinada, mas podem se destacar os seguintes meios de ação, de acordo com Lepage (1986):

- a) Revestimento: o produto reveste a madeira, mesmo em altas temperaturas, dificultando o acesso de oxigênio e também o escape de gases da pirólise. Os produtos mais eficientes geram uma camada de espuma quando há um aumento da temperatura, pois esta atua também como isolante térmico, outro método de retardamento de chamas.
- b) Isolamento térmico: com a diminuição do fluxo de calor para o interior da madeira, a velocidade da pirólise é menor, o que diminui a velocidade da combustão. Uma forma de obter esse resultado é por meio de catalisadores que aumentam a velocidade de

produção de carvão (como o carbonato de potássio), já que este é um bom isolante térmico;

- c) Diluição de gases: os ignífugos que atuam dessa forma liberam gases inertes quando queimados, e esses gases se misturam aos gases voláteis da pirólise, diminuindo a sua velocidade de queima. Exemplos: amônia, dióxido de enxofre, fosfatos, sulfatos, cloretos de zinco, cálcio e magnésio.
- d) Reações químicas: visam alterar a reação de pirólise, reduzindo a produção de gases voláteis e aumentando a produção de carvão. Exemplos: ácido fosfórico, cloretos de magnésio, alumínio e zinco, e sulfetos de ferro e cobalto.

Bons ignífugos são hidrossolúveis, o que facilita sua absorção pela madeira mas os tornam suscetíveis à lixiviação. Por isso, sua aplicação é mais eficiente e recomendada em ambientes internos ou protegidos da chuva.

Analogamente aos outros tipos de preservativos, podem ser aplicados de duas formas, de acordo com Lepage (1986):

- a) Sob pressão: feita em autoclave, necessário quando é exigida alta resistência ao fogo pela madeira. Como vantagens é possível citar a velocidade do processo, seu alto grau de controle, e a possibilidade de aplicação simultânea de outras soluções preservativas. Porém, seu custo é alto, há um alto uso de produto, e a madeira perde resistência mecânica.
- b) Em pressão atmosférica: pode ser feito por pincelamento ou pulverização. Mais simples, barato e eficiente que o realizado sob pressão, além de poder ser realizado no local. Porém o controle do processo é bem menor.

As tintas com finalidade de proteção ao intemperismo são impermeáveis, filtram os raios UV (os mais degradantes à madeira), e a barreira física criada por elas também protege a madeira de insetos, bactérias e fungos (SILVA, 2008). Podem ser aplicadas da mesma forma que tintas comuns, de forma industrial ou não, por pincelamento ou rolo.

4.1.4 Produtos alternativos de baixa toxicidade

De forma geral, os métodos apresentados apresentam grande toxicidade ao meio ambiente. Uma abordagem relativamente recente ao problema da preservação da madeira é o uso de extratos naturais, que apresentam menor toxicidade e maior degradação. Por ser um tema recente, a literatura a respeito ainda é escassa e mais estudos precisam ser feitos, o que é esperado com a maior importância dada atualmente à sustentabilidade.

Stumpp e outros (2005) realizaram um estudo comparando a eficiência de cinco diferentes extratos naturais para a proteção da contra cupins de madeira seca, sendo eles:

- a) Extratos vegetais de taninos (ET e HT): Tratam-se de extratos vegetais que apresentam baixo impacto ambiental.
- b) Mineralizante Hasil (H): pode ser definido como um produto à base de silicatos de potássio, além de óleos vegetais, resinas e celuloses.
- c) Óleo de Mamona (M): constitui-se em um importante preservante natural sustentável. Sua composição química muda de acordo com a variedade e região de cultivo.
- d) Extrato EMX (X): é um produto à base de óleos essenciais extraídos de plantas da Amazônia. O extrato é constituído por leveduras, fungos, bactérias produtoras de ácido láctico e fotossintéticas, que produzem enzimas e substâncias bioativas, desenvolvidas em calda vegetal.
- e) Wood Bliss (WX): Combinação WX = extrato EMX (X) + mineralizante Hasil (H); na proporção de 1:1.

Foram tratados corpos de provas de quatro espécies de uso comercial (araucária, eucalipto e pinus) por meio do processo de imersão, que foram expostos ao intemperismo e a cupins de madeira seca, por um período de 60 dias. Após esse prazo, analisou-se o índice de mortalidade de cupins e a quantidade de perfurações por corpo de prova, conforme o quadro:

Quadro 2 - Avaliação de corpos de prova tratados com preservantes naturais

Produtos	<i>PINUS SPP.</i>		<i>ARAUCARIA SP.</i>		<i>EUCALYPTUS GRANDIS</i>	
	M(%)	P (n°)	M(%)	P (n°)	M(%)	P (n°)
Controle	40	3	53	2	53	2
Hasil	93	0	59	0	84	0
Mamona	100	0	73	0	61	0
HT	100	0	100	0	99	0
ET	90	0	73	0	96	0
EMX	100	0	72	0	84	0
WX	93	0	58	0	60	0

M – mortalidade

P – perfurações em número por corpo-de-prova

Controle – um corpo-de-prova sem tratamento

Fonte: STUMPP, (2005).

Pode-se observar a alta eficiência desse tipo de preservativo contra os cupins de madeira seca, tornando esse tipo de tratamento um novo tipo de solução para casos em que não é desejável o uso de produtos tóxicos.

4.2 Métodos de preservação da madeira

Várias divisões podem ser feitas com relação com os métodos de preservação da madeira e uma possibilidade é dividi-los em em métodos superficiais e de impregnação.

Os métodos superficiais de tratamento da madeira envolvem a aplicação de produtos químicos preservantes diretamente na superfície da madeira. Geralmente, essa aplicação é feita por meio de pincelamento, pulverização ou imersão.

Já os métodos de impregnação são aqueles em que a madeira é submersa em uma solução química preservante para que os produtos penetrem profundamente em sua estrutura por meio de vácuo ou pressão

Ambos os métodos têm suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre um e outro vai depender do tipo de madeira e do uso a que ela se destina.

4.2.1 Métodos superficiais de tratamento

Nem sempre é possível tratar a madeira com métodos sofisticados, principalmente devido ao custo mas também disponibilidade de opções industriais no local onde a madeira será utilizada. Por estas razões é bem comum optar-se pela utilização de métodos de tratamento simples, onde o produto preservativo normalmente é aplicado à madeira no próprio local de utilização final. Porém, embora o método a ser adotado possa ser considerado simples, a sua utilização não pode ser feita de forma desleixada e o resultado do tratamento deve proteger a madeira de forma eficaz.

Ou seja, independente do método de preservação a ser adotado, em todos eles deve-se obter resultados que garantam o aumento da vida útil do material tratado para sua utilização específica. Para isso, Moreschi (2013) considera que deve-se atentar a três critérios:

- a) Profundidade de penetração do produto preservativo;
- b) Retenção, em termos de massa de produto por volume de madeira tratada, e;
- c) Uniformidade de distribuição do produto.

O atendimento adequado destes três critérios de forma geral é obtido com maior facilidade pelos métodos mais sofisticados, haja vista que tais sofisticações tenham sido feitas justamente para alcançar os resultados desejados. No entanto, muitos métodos simples são suficientemente capazes de alcançá-los se executados de forma correta e levando-se em conta qual a finalidade do tratamento, as condições às quais a madeira será exposta e qual o melhor preservativo para a situação.

4.2.1.1 Pincelamento

O tratamento preservativo da madeira por meio de pincelamento é um procedimento simples que envolve a aplicação de um produto líquido preservativo, ou dissolvido em solvente, na superfície da peça de madeira a ser tratada. No entanto, para alcançar a qualidade desejada no tratamento, é crucial considerar alguns detalhes de alta importância, conforme mencionado anteriormente.

O primeiro passo é selecionar o produto adequado, levando em consideração características como toxicidade, viscosidade, cor, odor, compatibilidade com tintas e vernizes, entre outros. Essa escolha é essencial para garantir a qualidade exigida no uso da madeira. Além disso, é importante levar em conta a espécie de madeira, os agentes biológicos aos quais ela está suscetível, sua permeabilidade e a profundidade de tratamento necessária para prevenir possíveis ataques biológicos no uso da madeira tratada (MORESCHI, 2013).

Em determinadas situações, o tratamento por pincelamento visa apenas proteger a superfície da madeira. Nesses casos, a aplicação de um produto compatível com o uso do material, seguindo as recomendações do fornecedor, deve ser suficiente para atingir o objetivo do tratamento. No entanto, em outras situações, como em peças de madeira mais expostas, é necessário um tratamento mais profundo (MORESCHI, 2013).

Em situações como essas, é necessário aumentar a quantidade de produto utilizado proporcionalmente à espessura da camada de madeira a ser tratada. A solução preservativa deve ser aplicada de maneira uniforme na superfície das peças, em aplicações sucessivas. Cada reaplicação deve ocorrer imediatamente após a absorção da aplicação anterior, sem permitir a secagem do produto ou perdas por evaporação (MORESCHI, 2013).

Os preservativos oleossolúveis têm uma maior capacidade de penetração na madeira por unidade de tempo, e essa capacidade está inversamente relacionada à viscosidade da solução preservativa a ser aplicada (MORESCHI, 2013). Por outro lado, os produtos hidrossolúveis não conseguem penetrar na madeira com a mesma facilidade, devido à forte afinidade da água com a celulose. À medida que a camada superficial da madeira absorve água, ocorre um inchaço que diminui gradualmente a taxa de absorção da solução preservativa.

Portanto, nem todos os produtos hidrossolúveis considerados eficientes para o tratamento da madeira em outros métodos mais rápidos são adequados para o tratamento por pincelamento, que é um processo mais lento (MORESCHI, 2013). O tempo de aplicação pode ser bastante longo, o que pode resultar na fixação química dos preservativos com os componentes da madeira ou na evaporação do produto antes de atingir a profundidade de penetração necessária.

Isso é particularmente relevante quando se utiliza produtos altamente reativos, como o CCA, que não são recomendados para o tratamento por pincelamento ou outros métodos de aplicação lenta. Isso ocorre porque há uma tendência de supertratamento na camada superficial da peça, enquanto o interior absorve uma solução muito diluída ou apenas água, resultando em um tratamento interno insatisfatório (MORESCHI, 2013).

4.2.1.2 Pulverização

Do ponto de vista técnico, o tratamento da madeira realizado por pulverização de soluções preservativas é praticamente o mesmo que o tratamento por pincelamento (aplicação de solução preservativa na superfície da madeira seca), com a diferença de que é necessário utilizar um pulverizador e há um maior risco de contaminação para o aplicador (MORESCHI, 2013). Por essa razão, esse método só é recomendado quando o tratamento por pincelamento não é viável, o que normalmente ocorre quando a madeira a ser tratada é inacessível para a aplicação com pincéis, especialmente em espaços reduzidos e encaixes de peças estruturais já montadas, ou situações semelhantes.

Para evitar contaminações, são necessárias precauções adicionais tanto para o aplicador, como o uso de roupas protetoras, óculos de proteção, máscaras e outros equipamentos de segurança, quanto para a área circundante onde o produto está sendo aplicado, como gramados, animais domésticos, etc.

A escolha do produto preservativo, assim como a quantidade de solução e sua concentração para obter uma penetração e retenção satisfatórias, e outras variáveis do tratamento, como o local de utilização da madeira, podem ser feitas da mesma forma que no método de tratamento por pincelamento (MORESCHI, 2013).

4.2.1.3 Imersão

Como o nome diz, o processo consiste em imergir a madeira seca em solução preservativa, vide figura 7, até que seja obtida a absorção necessária do produto, sendo o tempo necessário obtido experimentalmente e dependendo da permeabilidade da madeira, do tipo de produto utilizado e da penetração necessária, podendo variar de minutos a várias horas ou até dias (CARVALHO E OUTROS, 2018).

O tipo de preservativo mais recomendável para a maior eficiência do tratamento é o oleossolúvel de alta viscosidade. Soluções pouco viscosas podem ser aplicadas com maior rendimento se for realizado um aquecimento prévio. Soluções hidrossolúveis também podem

ser utilizadas neste método, mas devido às características hidrófilas da madeira a absorção e a penetração do produto tornam-se muito mais lentas e limitadas.

Figura 7- Bambu sendo tratado pelo processo de imersão em CCB



Fonte: CARVALHO E OUTROS, 2018.

4.2.2 Métodos de tratamento de impregnação

Esses métodos buscam retirar a água presente naturalmente na madeira de forma rápida e completa, substituindo-a por algum produto preservativo. As madeiras que recebem tratamento industrial sob pressão apresentam melhores resultados em função da boa absorção e homogeneização do produto aplicado (RAVASI, 2011). Existem três tipos de métodos, o processo de célula cheia, o de célula vazia e a substituição de seiva, segundo a forma com que é realizada a distribuição do preservativo na peça de madeira (LEPAGE e outros, 1986). Tratamentos de célula cheia são os processos de Bethell, Burnett, Boulton, duplo vácuo e Cellon. Os tratamentos de célula vazia são os processos de Rüping, Lowry e MSU (Mississippi State University). O método de substituição de seiva por ser realizado à pressão atmosférica ou sob pressão.

4.2.2.1 Tratamento de célula cheia

Os tratamentos de célula cheia são caracterizados pela aplicação de vácuo no início do processo para a extração do ar das células, o que facilita a penetração do preservativo na madeira (SILVA, 2008). Lepage e outros (1986) enumeram três processos comuns, sendo eles:

- a) Processo de Burnett: O método de burnetização, também conhecido por método de Burnett, foi desenvolvido e patentado por Willian Burnett no ano de 1838 na

Inglaterra, e é considerado um dos primeiros e mais simples métodos industriais.

Consiste em:

1- Preparação da madeira: A madeira a ser tratada deve ser lixada e limpa para remover qualquer sujeira, poeira ou resíduos de tinta ou verniz. A madeira também deve estar seca antes de ser tratada, para permitir a absorção completa da solução química.

2- Imersão da madeira: A madeira é então imersa na solução preservativa. Durante a imersão, a madeira absorve a solução química, através de pressões exercidas pelas autoclaves.

3- Secagem da madeira: Após o período de imersão, a madeira é retirada da solução química e deixada secar completamente. Durante a secagem, a solução química na madeira cristaliza, formando um revestimento protetor contra a deterioração.

b) Processo de Bethell: John Bethell patenteou seu método de preservação de madeira com seu nome, na Inglaterra, no ano de 1838. Basicamente o processo abrange a injeção de alcatrão e do óleo de alcatrão na madeira, utilizando-se, para isso, da aplicação de pressão em cilindros fechados.

1- Submete-se a madeira a vácuo inicial por um período de 30 minutos à 1 hora, dependendo da permeabilidade da madeira. O objetivo dessa etapa é retirar o ar das camadas superficiais da madeira, para melhorar a penetração do preservativo.

2 - Ocorre a admissão do preservativo sem interromper o vácuo. Nesta etapa pode ser usada uma bomba de transferência para complementar o processo, porque é preciso que a autoclave fique completamente cheia da substância preservante, sem a ocorrência das bolsas de ar no interior do equipamento.

3 - A madeira é submetida à pressão. Com a autoclave totalmente cheia, aumenta-se a pressão até chegar na faixa de 10 a 12 kgf/cm². O tempo de aplicação dessa pressão é de 1 a 5 horas, dependendo da permeabilidade da madeira.

4 - Ocorre a drenagem do preservativo, quando a pressão é diminuída e o preservativo que resta é bombeado de volta para o tanque de armazenamento.

5 - É aplicado vácuo por pequeno período de tempo, com intenção de drenar o restante do preservativo da superfície das peças de madeira, economizando o preservativo e não gerando mais gastos.

c) Processo duplo vácuo: O processo utiliza a madeira que já foi previamente seca e emprega preservativos oleossolúveis e hidrossolúveis. Foi desenvolvido na

Inglaterra com objetivo de tratar a madeira serrada. Este processo não deve ser utilizado em madeiras que não sofreram processos de usinagem e que apresentem baixa permeabilidade.

Diferencia-se dos demais processos por não utilizar a pressão e sim somente o vácuo. As peças de madeira devem estar secas, com teor de umidade na faixa de 20 a 30%. O procedimento é recomendado para madeira que são utilizadas na construção de moradias.

1- Após colocar todas as peças de madeira na autoclave e fechar o cilindro, levando em consideração a permeabilidade das peças de madeira, o processo começa com aplicação de um vácuo por 15 a 30 minutos para extrair todo o ar que se encontra dentro das peças.

2- Em seguida a solução preservante é inserida na autoclave. Quando todo o espaço do cilindro for preenchido com a formulação é liberado o vácuo. Com esse procedimento, o líquido preservativo é pressionado para o interior das peças até que a pressão atmosférica seja atingida, e em seguida, as peças ficam submersas no preservativo por 5 a 20 minutos.

3- Logo a seguir, inicia-se a drenagem do preservativo da autoclave, sendo aplicado vácuo final, mais forte que o inicial, por período de 15 a 30 minutos, para retirar excesso de preservativo da madeira. Na sequência é feita drenagem do preservativo residual e é feita a retirada do material.

4.2.2.2 Tratamento de célula vazia

Nestes processos não se aplica o vácuo inicial para a retirada de ar. Com a injeção do preservativo ocorre uma compressão do ar interno da madeira, o qual, após o alívio da pressão, se expande e expulsa a parte do preservativo. Com isso, além de uma boa penetração, consegue-se recuperar grande parte do preservativo aplicado (SILVA, 2008). Para obter-se bons resultados, a madeira deve estar devidamente seca ao ar, embora possa ser empregado material verde desde que submetido preliminarmente a um banho de vapor e vácuo ou outro método adequado. Três métodos são apontados por Lepage e outros (1986) e por Moreschi (2013):

- a) Processo de Lowry: O processo foi patenteado por C. B. Lowry no ano de 1906. O método é muito parecido com o de Rüping, tendo como única diferença a forma de aplicação da substância preservante. Neste método de Lowry o preservativo é injetado na autoclave. O ar que existe dentro da madeira vai sendo comprimido no interior da célula e permanece até acabar o tempo de aplicação de pressão.

Os passos para desenvolvimento do processo de Lowry:

1- A autoclave é preenchida com solução preservativa por gravidade (o tanque de abastecimento é localizado acima em relação à autoclave);

2- Aplicação de pressão por período de uma ou duas horas, de acordo com o tipo e permeabilidade da madeira e do preservativo;

3- Em seguida ocorre o retorno à pressão atmosférica, de forma que o interior da madeira se expande e expulsa grande parte do preservante;

4- Na etapa final é aplicado um vácuo que combinado com a pressão do ar nas cavidades celulares, gera a expulsão de uma parte do produto preservante absorvido durante a fase de pressão.

b) Processo de Rüping:Esse processo foi patenteado na Alemanha por Max Rüping em 1920, e na Europa e nos Estados Unidos, o método de preservação com célula vazia mais usual é este.

1- A madeira é transportada para uma câmara com ar e submetida à pressão para a penetração da solução preservativa.

2- Em seguida a pressão é diminuída até chegar à pressão atmosférica e o preservante em excesso é retirado.

c) Processo Mississippi State University (MSU):O método utiliza somente o preservativo Arseniato de Cobre Cromatado (CCA). Diferencia-se dos outros métodos de preservação da madeira que utilizam pressão por ter uma fase de aquecimento das peças de madeira, o que ocasiona melhor penetração e retenção do CCA nas peças de madeira.

Por causa disto, ocorre uma diminuição expressiva no período de espera para a fixação em comparação com os procedimentos tradicionais. Enquanto as peças de madeira tratadas levam cerca de um mês para a fixação do produto, pelo procedimento de MSU levam apenas 2 horas no interior da autoclave. Outro benefício desse método é que a solução preservativa retorna no final do procedimento, sem açúcares e agentes redutores. Dessa forma, não ocorre precipitação dos sais preservantes, o que desbalanceia a concentração da solução.

4.2.2.3 Substituição de seiva

A maior parte da umidade da madeira natural encontra-se na seiva, e esses métodos buscam substituí-la por alguma solução preservativa, utilizando-se ou não de pressão (SILVA,

2008). Possuem semelhanças com os outros já citados, como o método de imersão e impregnação, mas possuem particularidades que os distinguem.

4.2.2.3.1 Substituição de seiva por capilaridade

Este método tem como mecanismo de ação a substituição parcial da água e da seiva originalmente existentes na madeira, utilizando-se de preservativos hidrossolúveis. Seus melhores resultados são obtidos em peças recém abatidas. Método bastante utilizado para tratar estacas, mourões e cercas. A madeira, que deve estar sem casca, é mergulhada na solução preservativa.

Os seguintes cuidados devem ser tomados de acordo com Moreschi (2013):

- a) A madeira deve conter um teor de umidade elevado, preferencialmente o teor de umidade original. Isso evita a obstrução dos capilares da madeira com bolhas de ar resultantes da secagem dos topos das peças que serão imersas na solução preservativa.
- b) Para assegurar um fluxo adequado da solução preservativa ao longo da peça de madeira, é necessário cortar os seus extremos antes de submergi-la na solução. Isso facilita a eliminação do ar pelos capilares da madeira, permitindo uma melhor penetração e distribuição uniforme do preservativo, contribuindo para um tratamento mais eficiente e eficaz.
- c) Deve-se remover com cuidado toda a casca. Qualquer resquício torna a madeira menos permeável, reduzindo a saída do ar e a absorção do preservativo.
- d) Devem ser utilizados produtos pouco reativos, como o CCB ou compostos de boro. Produtos muito reativos, como o CCA, reagem muito rapidamente com a superfície da madeira, deixando-a super tratada, enquanto seu interior fica mal tratado ou totalmente sem tratamento.

O nível de solução reduz-se ao longo do tempo, dada sua absorção pela madeira, e deve ser repostado continuamente enquanto durar o processo, que é considerado encerrado quando cessar a absorção da solução. Após isso, as peças tratadas devem permanecer cerca de um mês armazenadas em local coberto para serem protegidas da chuva e da lixiviação, e então já podem prontamente ser utilizadas (MORESCHI, 2013). O método se assemelha à imersão, com a diferença que a solução penetra nos capilares ao invés de se concentrar na superfície.

4.2.2.3.2 Substituição de seiva por pressão

Seu princípio é o mesmo que o do método por capilaridade, com a vantagem de ser mais rápido, pois a solução preservativa é empurrada por pressão hidráulica para dentro da tora por

um de seus extremos, com a seiva sendo expulsa pela outra extremidade. O processo é descrito por Moreschi (2013) da seguinte forma:

1. No início do processo, a tora de madeira recém-abatida é colocada levemente inclinada sobre suportes, mantendo a casca intacta e com a porção basal na posição mais elevada. Uma conexão de borracha sanfonada inflável, revestida por uma capa metálica, é adaptada à porção basal da tora.
2. A conexão de borracha é conectada a um tubo de alimentação que fornece a solução preservativa a partir de um depósito localizado em um nível mais elevado, geralmente a uma altura de 10 metros.
3. Com a aplicação da pressão, a solução preservativa é forçada a entrar na tora, fazendo com que a seiva presente na madeira comece a sair pelo outro extremo da tora. O tratamento continua até que seja observado o escoamento da solução preservativa pelo extremo oposto.

Para garantir a eficiência do tratamento é recomendado utilizar um preservativo que não seja altamente reativo com os componentes da madeira, como mencionado anteriormente. Os produtos à base de boro são amplamente recomendados nesse sentido. Além disso, é importante proteger a madeira da lixiviação durante pelo menos um mês (MORESCHI,2013).

Vale ressaltar que, embora o processo envolva a aplicação de pressão, ele difere dos métodos de impregnação tradicionais, pois a madeira não é tratada em uma autoclave. Em vez disso, apenas as extremidades da madeira são submetidas à pressão para facilitar a absorção do preservativo.

4.3 Resumo das soluções para a preservação da madeira

Os preservativos mencionados possuem em sua grande maioria função bactericida, fungicida e inseticida, sendo suficiente para os casos de biodegradação. Deve-se atentar que os oleossolúveis não são recomendados para uso interno pela sua toxicidade, sendo mais recomendados os hidrossolúveis. Tintas podem ser usadas em qualquer tipo de ambiente. Cupins também podem ser repelidos com o uso de extrativos naturais.

Para a degradação abiótica, é recomendado o uso de tintas com filtro de radiação ultravioleta para ambientes externos, e ignífugos para todos os ambientes suscetíveis ao fogo.

Quanto às deformações mecânicas, não podem ser solucionadas por estes métodos pois tratam-se de fenômeno físico intrínseco às propriedades da madeira.

Um resumo das soluções está mostrado no quadro 3.

Quadro 3 - Resumo dos métodos preservativos

Problema	Solução Preservativa
Perda de resistência mecânica	Preservativos bactericidas e fungicidas
Consumo por cupins	Uso de preservativos com propriedades inseticidas; uso de tintas adequadas a esse fim; uso de extrativos naturais
Deformações mecânicas	Não se aplica esse tipo de solução.
Descoloração	Preservativos bactericidas e fungicidas. Tintas que filtram os raios solares, principalmente UV.
Combustão	Aplicação de ignífugos e/ou tintas adequadas para esse fim

Fonte: Autoria própria, 2023

5 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA A PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

O preconceito contra a habitação de madeira é de origem cultural no Brasil e ocorre por consequência da pouca utilização das tecnologias de preservação no País, muitas vezes vistas como algo fora da realidade para a maioria. Mas além dos métodos citados, existem detalhes construtivos capazes de aumentar a durabilidade natural da madeira, estes sim de maior aceitação do público. Esses detalhes construtivos buscam controlar a umidade proveniente de chuvas, do solo, ou de outras fontes, já que ela é o maior agente de degradação da madeira, catalisando a biodegradação e também causando empenamento e inchamento.

Os textos técnicos divergem em suas listas de princípios para construção em madeira. Dependendo dos objetivos específicos e da metodologia adotada pelos autores, diferentes aspectos são citados como recomendações, regras ou princípios. Porém, o princípio básico para construção em madeira pode ser bem resumido na seguinte frase: a água não deve penetrar na madeira, mas se penetrar, deve ser eliminada rapidamente (PEREIRA e outros, 2018).

Com base nessa premissa, a literatura e a experiência empírica recomendam vários princípios construtivos que buscam primeiramente afastar a água da madeira, e se isso não for possível, diminuir ao máximo sua permanência em contato com o material.

5.1 Proteção da água da chuva

Estruturas de telhado feitas em madeira são bem comuns, e devem ser tratadas com especial cuidado, pois estão particularmente suscetíveis a goteiras e vazamentos. O telhado deve ser sempre estanque, bem encaixado, sem telhas furadas ou quebradas, e preferência com algum sistema de impermeabilização e/ou de subcobertura. Paredes externas de madeira também precisam de atenção, pois são os elementos mais expostos diretamente à chuva.

Uma maneira simples e comum de proteger a madeira são os beirais, que consistem em uma prolongação do telhado que tem como finalidade proteger as paredes da chuva, de modo que águas pluviais não escorram pela fachada das construções. A dimensão mínima para a proteção de paredes de madeira é de pelo menos 60 cm, o ideal 1,20 m (PEREIRA e outros, 2018), sendo também necessário o avanço do beiral para além do piso, para diminuir o dano causado por respingos de água.

Outra opção são as calhas, canais abertos que recebem o escoamento de telhados, terraços e similares. A calha de beiral é empregada quando se quer evitar a queda livre das águas dos telhados sobre a área adjacente à construção, assim diminuindo o seu respingo. Contudo, vazamentos em calhas são bastante comuns, por isso devem ser feitas inspeções

constantes, principalmente após o período de chuva, e as calhas devem ser sempre externas à edificação. Causas comuns de vazamentos são (PEREIRA e outros, 2018):

- a) Desgaste natural dos elementos da calha, como o de soldas e a oxidação de pregos,;
- b) Entupimento por excesso de sujeira, por isso devem ser realizadas limpezas periódicas;
- c) Uso de peças subdimensionadas para a precipitação média da região, causando transbordamento.
- d) Caimento invertido ou insuficiente, dificultando a drenagem da água.

Para evitar a formação de poças de água e facilitar o escoamento da água, qualquer parte da construção feita de madeira e exposta diretamente às intempéries deverá ter uma inclinação superior a 1% (PEREIRA e outros, 2018).

Na figura 8, alguns detalhes são relevantes. O telhado é impermeabilizado com manta, protegendo sua estrutura, e também é utilizado um forro interno, aumentando a proteção interna da água da chuva. É utilizado beiral, porém ele não avança para além do piso externo, o que aumenta os respingos de água da chuva, que são consideráveis levando-se em conta que não há o uso de calhas. Além disso, não há a presença de uma vala de drenagem, o que aumenta em muito o risco de empoçamento, mas nesse caso ela não é necessária pois a madeira não está em contato com o solo, e sim assentada sobre camada impermeabilizada.

Figura 8 - Corte de um projeto de edificação feita em madeira



Fonte: COSTA FILHO, 2017.

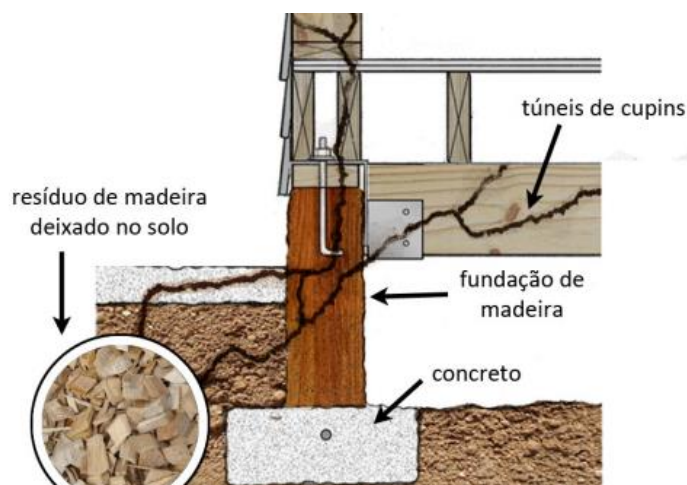
5.2 Proteção da umidade do solo

Nenhum elemento de madeira não tratada deve entrar em contato direto com o solo ou com materiais permeáveis que estejam em contato direto. Por isso, os primeiros 20 cm a 40 cm devem ser de outros materiais impermeáveis como pedras, concreto e alvenaria impermeabilizados, para evitar a percolação da água e ataque de cupins (SOUZA e outros, 2018), como mostrado nas figuras 9 e 10. Se por algum motivo isto não for possível, o contato direto com o solo deve ser feito por peças tratadas. Uma opção para pilares é sua fixação sobre um apoio metálico, que por sua vez pode ser apoiado sobre concreto ou alvenaria não impermeabilizados (COSTA FILHO, 2017), como demonstrado na figura 11.

Pisos de madeira devem ser elevados em relação ao solo para que haja ventilação e possibilitar inspeções e manutenções e aumentar a proteção contra cupins, ou serem assentados em camada de material impermeável ou impermeabilizado. Os sistemas de impermeabilização utilizados são diversos, e englobam mantas, membranas e argamassas poliméricas, por exemplo.

Também é recomendado o uso de valas de drenagem circunscrevendo a edificação para drenar a água da chuva evitando assim o empoçamento.

Figura 9 - Esquema de contaminação de cupins por meio de madeira em contato com o solo



Fonte: PEREIRA e outros, 2018.

Figura 10 - Assentamento de um pilar de madeira sobre concreto por meio de peça metálica



Fonte: COSTA FILHO, 2017.

Figura 11 - Construção de casa de madeira sobre elementos impermeabilizados



Fonte: COSTA FILHO, 2017.

5.3 Proteção da umidade de condensação

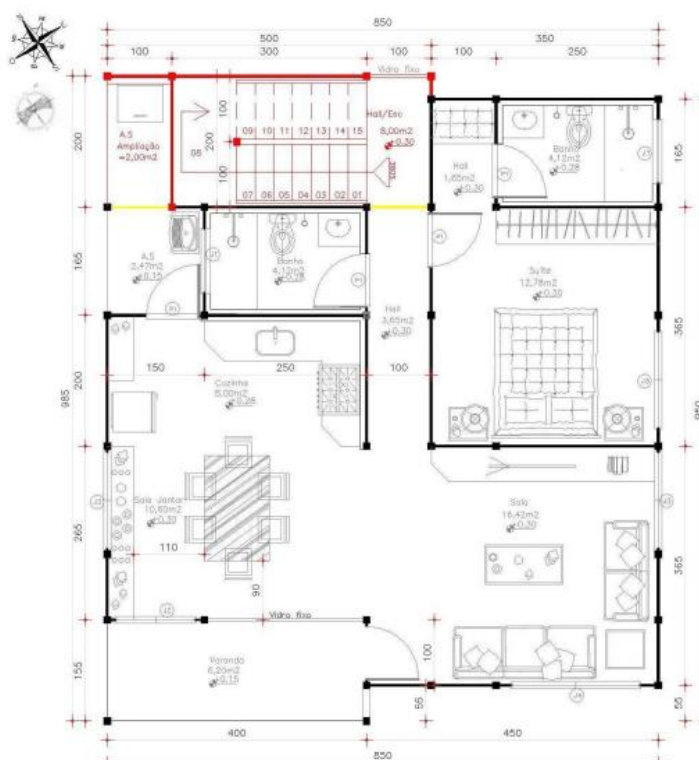
Devem ser considerados em projeto a construção de aberturas nos ambientes que se utilizam de madeira para que seja mantida uma boa ventilação, reduzindo a umidade. Essas aberturas devem preferencialmente levar em consideração a direção predominante dos ventos da região para maior aproveitamento (PEREIRA e outros, 2018).

A ventilação é importante principalmente em construções voltadas para residência permanente de pessoas, que são grandes geradoras de umidade. Por exemplo, uma família de quatro pessoas pode produzir diariamente cerca de 10,2 litros de umidade apenas com atividades diárias como banho e lavagem de louça (PEREIRA e outros, 2018). Em uma casa mal ventilada, toda essa umidade produzida tende a condensar-se e ficar presa dentro do ambiente.

Como já citado, ventilação abaixo das construções também é importante. Deve haver aberturas na fundação da casa em quantidade e tamanho suficientes para evitar bolsões de ar parado, que aumentam a umidade. Aberturas colocadas a 3 metros da esquina da construção geralmente dão uma melhor ventilação. O tamanho e número dessas aberturas dependem da umidade do solo, umidade e movimentação do ar. Em geral, a área total de ventilação deve ser equivalente a 1/150 da área projetada (PEREIRA e outros, 2018). Obstáculos devem ser mantidos longe das aberturas para permitir melhor circulação do ar.

Na planta baixa mostrada na figura 12 três elementos chamam atenção: a área de janelas, a amplitude dos espaços (dois elementos que facilitam a boa ventilação) e a orientação espacial da construção, que além de garantir luz solar para todos os cômodos da residência pelo em algum momento do dia, é alinhada com os ventos predominantes na região da construção (COSTA FILHO, 2017). Na figura 13 vê-se a habitação concluída, com seu pé direito alto, forro que acompanha o perfil do telhado (maximizando o volume do ambiente) e a amplitude dos cômodos, melhorando a ventilação.

Figura 12 - Planta baixa de uma edificação em madeira



Fonte: COSTA FILHO, 2017.

Figura 13 - Interior de uma edificação em madeira



Fonte: COSTA FILHO, 2017.

5.4 Escolha da madeira

Quase todos os tratamentos de madeira exigem que ela esteja previamente seca, pois sua umidade natural acelera sua biodegradação (COSTA FILHO, 2017). A remoção dessa umidade por um processo simples de secagem ao ar livre já aumenta significativamente a vida útil das peças, desde que protegidas da chuva e da umidade por meio de outros métodos (GONZAGA, 2006).

Como já foi citado, algumas espécies de madeira possuem uma grande resistência natural à degradação, e sua escolha para a construção é recomendada, principalmente se não for possível a realização de algum método mais complexo de tratamento (GONZAGA, 2006). Existem milhares de espécies com essa característica, e deve-se pesquisar quais estão disponíveis no local da construção.

Outra possibilidade é o uso da madeira do cerne. A maior parte da madeira comercializada provém do alburno, o que a torna mais barata pois este compõe o maior percentual de composição das espécies comumente utilizadas. Porém, se não for possível ou viável algum outro tratamento mais complexo, a utilização de madeira de cerne é uma opção.

Por fim, o uso de madeira com maior espessura retarda o tempo de queima, o que é recomendado principalmente em elementos estruturais para possibilitar uma evacuação segura em caso de incêndio.

Observa-se na figura 14 a secagem natural da madeira. Porém os dois processos estão sendo realizados de forma incorreta. No caso da esquerda, a madeira não está totalmente protegida da chuva nem da luz solar, o que aumenta o risco de rachaduras e deformações, e as peças estão empilhadas de forma incorreta. No segundo caso, elas estão devidamente espaçadas,

mas estão cobertas por lona, o que aumenta a duração do processo de secagem sem trazer nenhum benefício.

Figura 14 - Secagem natural da madeira



Fonte: COSTA FILHO, 2017.

5.5 Manutenção regular

Tradicionalmente negligenciada no Brasil em qualquer tipo de construção, ainda mais nas de madeira, a manutenção é essencial para garantir a durabilidade dos elementos construtivos (GONZAGA, 2006). Este item é amplo e inclui:

- a) Reaplicação periódica de vernizes, seladores e pinturas de proteção, de acordo com as recomendações do fabricante;
- b) Inspeção e limpeza de calhas, principalmente após períodos de chuva intensas;
- c) Secagem de elementos que foram expostos a umidades excessivas, como pisos molhados;
- d) Eliminação de focos de umidade, como vazamentos e infiltrações;
- e) Inspeção regular para substituição de peças danificadas ou apodrecidas. Deve ser feito prontamente especial no caso de haver ataque por insetos, pois ele pode se alastrar para outras peças.

5.6 Métodos de barreira contra cupins

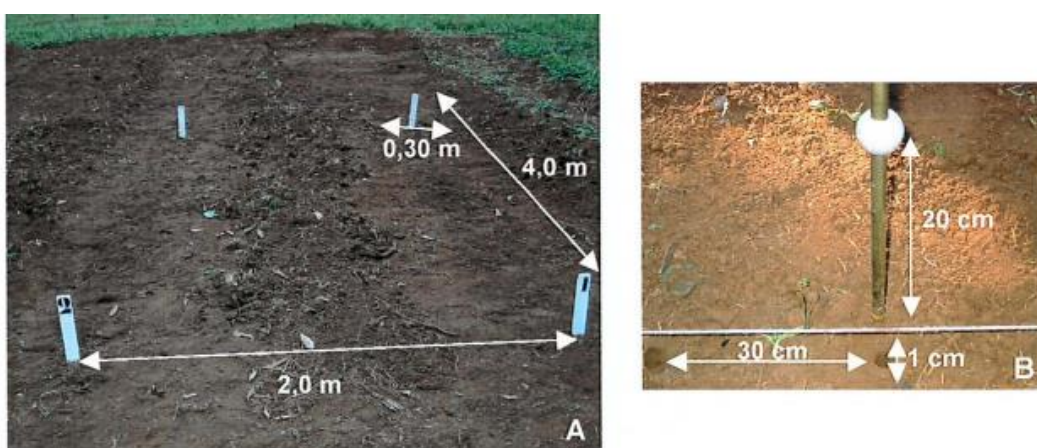
A proteção contra cupins é difícil de ser obtida apenas com soluções construtivas, pois apenas manter a madeira seca não é suficiente para afastá-los, sendo normalmente sendo necessária a utilização de químicos. Muitas das soluções com produtos químicos preservantes apontadas anteriormente possuem papel inseticida. Porém, por vezes elas não são viáveis em alguns ambientes, por razões construtivas ou por causa da toxicidade dos químicos utilizados. Para esses casos existe a opção dos métodos de barreira, que consistem em tratar não a madeira,

mas sim seus arredores. Como cupins de madeira seca são alados, esses métodos são pouco eficientes para eles, sendo mais recomendados para cupins de solo.

5.6.1 Método de barreira química

Consiste na aplicação de cupinidas diretamente no solo. Bernardini (2005), realizou um estudo com a aplicação de quatro inseticidas químicos aprovados pelo Ministério da Agricultura, aplicados em uma área de 4,0 x 2,0 m, a cada 30 cm de perímetro, e a 20 cm de profundidade, conforme mostra a figura 15.

Figura 15 - Tratamento químico no solo



Fonte: BERNARDINI, 2005.

Foram coletadas amostras de solo antes do tratamento e 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após ele. Essas amostras foram colocadas em tubos fechados de acrílico de 25 cm, divididos em três partes, e infestadas com cerca de 100 cupins de solo em uma das extremidades de cada um. O progresso dos cupins dentro do corpos de provas foi medido em diferentes intervalos de tempo, e os corpos de prova foram abertos depois de 15 dias, para medir sua mortalidade.

As medições mostraram que os inseticidas pouco retardam a penetração dos cupins no solo. Porém, conforme mostrado no quadro x, a mortalidade após 15 dias foi extremamente alta para todos os inseticidas, e não ocorreu na amostra de testemunho.

Quadro 4 - Eficácia dos métodos de barreira química
Média de cupins vivos (V) e mortos (M)

Tratamentos	1ª Divisão		2ª Divisão		3ª Divisão		Total M	Mort. (%)
	V	M	V	M	V	M		
1. IMID	0,00 b*	11,80 a	0,00 b	88,20 a	0,00 b	0,00 b	100 a	100
2. FIPR	0,00 b	12,40 a	0,00 b	74,20 b	0,00 b	13,60 a	100 a	100
3. CLOR	0,00 b	8,80 a	0,00 b	88,80 a	0,00 b	2,40 b	100 a	100
4. BIFEN	10,60 a	7,00 ab	0,00 b	82,20 ab	0,00 b	0,00 b	89,40 b	88,86
5. TEST	3,00 ab	2,40 b	54,20 a	2,20 c	38,00 a	0,20 b	4,80 c	0,00

Fonte: BERNARDINI, 2005.

Dessa forma é possível observar a alta eficácia do método. Porém ele deve ser utilizado apenas como último recurso, pois os inseticidas também são tóxicos para seres humanos e a aplicação deles diretamente no solo pode causar a contaminação de lençóis freáticos, e os químicos presente neles não podem ser removidos facilmente por métodos tradicionais de tratamento de água.

5.6.2 Uso de iscas

Uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente para o controle de cupins é a utilização de iscas. Uma isca consiste de um produto inseticida incorporado a substratos celulósicos atrativos aos cupins. Essas iscas, com texturas semelhantes a papelão, é consumida pela parcela da população responsável pela coleta de alimento, que no seu retorno à colônia acaba contaminando outros indivíduos. O inseticida deve apresentar algumas características importantes, tais como não ser repelente, ter ação lenta, agir em pequenas concentrações e ser rapidamente degradável quando exposto ao ambiente (MENON, 2010)

Em estudo realizado em prédios históricos atacados por cupins de solo na cidade de São Paulo, Menon (2010) testou a eficiência desse método, utilizando-se rolos de papelão impregnados com o inseticida bistrifluron. Após 8 semanas, a infestação de cupins deixou de existir por completo. O estudo é promissor, mas o método é de uso recente no Brasil e mais pesquisas devem ser realizadas para difundir seu uso.

5.7 Resumo das soluções construtivas para a proteção da madeira

As soluções construtivas possuem a vantagem de não depender da disponibilidade comercial dos produtos preservativos, com exceção dos métodos de barreira para cupins, nem das instalações necessárias para sua aplicação, pois são executadas no local de uso da madeira. Um detalhe relevante é que esse tipo solução é bastante útil contra as deformações mecânicas, porém pouco eficiente contra a combustão. Um resumo delas está apresentado no quadro 5.

Quadro 5 - Resumo das soluções construtivas

Problema	Solução Construtiva
Perda de resistência mecânica	Manter a madeira em locais ventilados e com pouca umidade, o que pode ser obtido afastando-a do solo, utilizando-se de calhas, beirais, e quando o contato com a água for inevitável, utilizar a madeira de forma inclinada
Consumo por cupins	Manter a madeira afastada do solo; utilizar madeira seca; utilizar madeira de grande resistência natural e/ou de cerne; uso de barreira química; uso de iscas;
Deformações mecânicas	Manter a madeira em local arejado e com pouca variação de temperatura e umidade; se seu uso for externo utilizar beirais; secar a madeira corretamente.
Descoloração	Evitar exposição direta da madeira à luz solar, utilização de beirais;
Combustão	Não é recomendado o uso de madeira sem tratamento em ambientes onde ocorre o manuseio de chamas, como cozinhas e churrasqueiras. Nesses casos, a madeira deve ser tratada, revestida, ou substituída por outro material. Elementos estruturais devem ter uma alta espessura, para manterem integridade estrutural por maior tempo em caso de incêndio.

Fonte: Autoria própria, 2023

6 ANÁLISE DOS PROBLEMAS E SOLUÇÕES PARA O USO DA MADEIRA

Quadro 6: Soluções para perda de resistência mecânica

Perda de resistência mecânica	
Origem	Causado por bactérias e alguns tipos de fungos. Exposição a umidade por tempo prolongado associada a temperaturas ideais podem causar ataque por bactérias, o que possibilita o ataque por fungos.
Solução Preservativa:	Preservativos bactericidas e fungicidas
Solução Construtiva:	Manter a madeira em locais ventilados e com pouca umidade, o que pode ser obtido afastando-a do solo, em ambientes internos, utilizando-se de calhas, beirais, e quando o contato com a água for inevitável, utilizar a madeira de forma inclinada
Análise	
<p>Pode ser considerado o problema mais prejudicial da madeira sob o ponto de vista estrutural, então sua prevenção é de grande importância. Se a madeira for utilizada em ambiente externo, principalmente se estiver em contato direto com o solo, são recomendados preservativos oleossolúveis, dada sua eficácia maior. Em ambientes internos, os hidrossolúveis são mais adequados, pois apresentam menos odor e em geral menor toxicidade. Para elementos estruturais, é mais recomendado a utilização de métodos de impregnação, por apresentar maior durabilidade e eficiência. Para elementos menos críticos, métodos de aplicação superficial costumam ser suficientes. Não há regra geral, cada caso deve ser avaliado individualmente, considerando-se as variáveis já citadas e também outras, como viabilidade econômica, disponibilidade de tratamento e também considerações ambientais.</p> <p>Quanto aos métodos construtivos, seu principal objetivo deve ser manter a madeira seca, ou o mais afastada da umidade quanto possível. Ambientes internos devem se manter ventilados sempre que possível. Quanto à madeira de uso externo, deve ser protegida da água (principalmente da chuva) com o uso de telhados e de beirais quando possível, e deve ser utilizada de forma inclinada quando o contato com a água for inevitável, porém rápido. Em situações ele é inevitável, deve-se priorizar o uso de madeira de cerne, mais durável à degradação, sempre seca (como nos outros casos).</p>	

Fonte: Autoria própria, 2023

Quadro 7: Soluções para consumo por cupins

Consumo por cupins	
Origem	Causado quase exclusivamente por cupins, e por alguns besouros em menor escala. Contato com o solo é o maior fator de risco, assim como a proximidade de colônias já existentes.
Solução Preservativa:	Uso de preservativos com propriedades inseticidas; uso de tintas adequadas a esse fim; uso de extratos naturais.
Solução Construtiva:	Manter a madeira afastada do solo; utilizar madeira seca; utilizar madeira de grande resistência natural e/ou de cerne; métodos de barreira química ou de iscas.
Análise	
<p>Analogamente aos casos anteriores, são recomendado preservativo oleossolúveis para ambientes externos e hidrossolúveis para ambientes internos. O uso de tintas também é uma opção, particularmente em ambientes internos, dada sua simplicidade de aplicação e de reaplicação. O uso de extratos naturais também é recomendado para qualquer tipo de ambiente, tendo como vantagem a baixa toxicidade.</p> <p>Manter a madeira afastada do solo é imprescindível, assim como o uso de madeira seca. Porém, muitas vezes não é possível evitar a contaminação dessa forma, pois a proximidade com colônias próximas já é o suficiente para ocorrer uma infestação. Então também é recomendado o uso de madeiras com grande resistência natural, assim como de cerne, principalmente se não for possível a utilização de métodos de tratamento com preservativos.</p>	

Fonte: A autoria própria, 2023

Deformações mecânicas	
Origem	Variações constantes de umidade e temperatura podem fazer com que a madeira se desgaste mecanicamente, o que pode levar a um rachamento ou a uma deformação ou empenamento.
Solução Preservativa:	Não se aplica esse tipo de solução
Solução Construtiva:	Manter a madeira em local arejado e com pouca variação de temperatura; se seu uso for externo utilizar beirais; secar a madeira de forma correta.
Análise	
<p>O processo de secagem deve ser feito de forma correta, ou durante o processo esses problemas já podem se manifestar. A madeira não deve ficar exposta a grandes variações de temperatura, como exposta diretamente à luz solar ou próximas a fontes de calor. Além disso, a ventilação adequada ajuda a atenuar problemas de variação brusca de temperatura.</p>	

Fonte: Autoria própria, 2023

Quadro 9: Soluções para descoloração

Descoloração	
Origem	<ul style="list-style-type: none"> a) Fungos emboloradores e manchadores e alguns tipos de bactérias. Exposição prolongada à umidade é um fator de risco. b) Intemperismo causado pela exposição prolongada à luz solar.
Solução Preservativa:	<ul style="list-style-type: none"> a) Preservativos bactericidas e fungicidas b) Tintas que filtram os raios solares, principalmente UV
Solução Construtiva:	Evitar exposição direta da madeira à luz solar, utilização de beirais;
Análise	
<p>A descoloração é um dano puramente estético, mas nem por isso menos importante, pois isso leva a uma perda significativa de valor econômico do material. Ambientes externos são menos suscetíveis a esse tipo de problema, e novamente preservativos hidrossolúveis são recomendados pela relativa baixa toxicidade e baixo odor. Madeiras de uso externo devem ser protegidas da exposição prolongada à luz solar, novamente pelo uso de calhas e beirais, sendo recomendado também a utilização de tintas nesse caso.</p>	

Fonte: Autoria própria, 2023

Quadro 10: Soluções para combustão

Combustão	
Origem	Como elemento inflamável a madeira deve ser mantida longe do fogo.
Solução Preservativa:	Aplicação de ignífugos e/ou tintas adequadas para esse fim
Solução Construtiva:	Evitar o uso de madeira em locais onde ela ficaria suscetível ao fogo.
Análise	
<p>A aplicação de ignífugos é relativamente simples, e é altamente recomendada para madeira de uso interno, assim como tintas ignífugas.</p> <p>Não é recomendado o uso de madeira em ambientes suscetíveis a abertura de chamas, como em cozinhas ou próximo a churrasqueiras. Elementos estruturais devem preferencialmente ter uma alta espessura, para manterem integridade estrutural por maior tempo em caso de incêndio e possibilitar uma evacuação segura.</p>	

Fonte: Autoria própria, 2023

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as questões de preservação ambiental e sustentabilidade cada vez mais relevantes, a madeira se destaca por ser um material de construção renovável, e não deve ser descartada como solução construtiva. Os preservativos industriais, que um dia já foram extremamente tóxicos, tendem a ser cada vez menos agressivos ao meio ambiente, tanto por questões de legislação ambiental quanto por pressões de mercado, derrubando mais uma barreira para a adoção desse material.

Diferente de outros países, como EUA, Canadá e na Europa, no Brasil a madeira é vista como um material de baixo valor, baixa qualidade, quase descartável. Essa visão dificulta a propagação de uma cultura que visa seu beneficiamento e preservação. Foi observado que a maior parte dos os problemas, senão todos, inerentes à madeira como material construtivo podem ser solucionados, com métodos simples e complexos.

Estudos futuros sobre métodos mais modernos, assim como uma maior divulgação dos métodos já existentes, podem melhorar a aceitação da madeira, que conforme já dito possui diversas vantagens ambientais, reabrindo para ela um nicho de mercado promissor.

REFERÊNCIAS

- BERNARDINI, J.F. **Tratamento químico do solo visando ao controle do cupim Coptotermes Gestroi** - Tese de mestrado - Universidade de São Paulo, 2005.
- CARVALHO, D.E. e outros. Fungos manchadores e emboloradores. Em: CASTRO, V.G. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. p.21-40.
- CARVALHO D.E. e outros, Agentes com alta capacidade de degradação de lignina. Em: CASTRO, V.G. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018, p.55-66.
- CASTRO, V.G. e GUIMARÃES, P.P. Agentes deterioradores abióticos. Em: CASTRO, V.G. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. p.7-20.
- CHIMELO, J.P. Anatomia da madeira. Em: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1 p.41-66.
- COSTA FILHO, R.F.D **Sistema Construtivo em Madeira: Modelo de Referência Para Habitação na Zona da Mata em Minas Gerais** - Monografia - Universidade Federal de Viçosa, 2017
- GUIMARÃES, P.P. e outros. Agentes com alta capacidade de degradação da lignina. Em: CASTRO, V.G. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. p.55-66.
- FIGUEROA, M.J.M. e MORAES, P.D. **Comportamento da madeira a temperaturas elevadas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.9, n.4, p.157-174, 2009.
- GONZAGA, A. L. Madeira: Uso e Conservação – IPHAN/MONUMENTA, 2006.
- KLOCK U. e ANDRADE A.S.D. **Química da madeira**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- LEPAGE, E.S. Química da madeira. Em: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1 p.69-96.
- LEPAGE, E.S. Preservativos e sistemas preservativos. Em: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1 p.279-330.
- LEPAGE, E.S. e outros. Métodos de tratamento. Em: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.2 p.343-411.

MENON, R. **Avaliação de isca a base de bistrifluron para o controle de cupim subterrâneo *Coptotermes Gestroi* em patrimônio histórico** - Monografia - Universidade Estadual Paulista, 2010.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e Preservação da Madeira** - Notas de Aula - Universidade Federal do Paraná, 2013.

OLIVEIRA, A.M.F. Agentes destruidores da madeira. Em: LEPAGE, E.S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v.1 p.99-256.

RAVASI, R. **Métodos de Preservação de Madeira e seus Preservativos** - Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, 2011.

PEREIRA, K.T.O e outros. Técnicas construtivas para a proteção da madeira. Em: CASTRO, V.G. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. p.179-199.

SILVA, J. P. A. G. **Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira** - Tese de Mestrado - Universidade do Porto, 2008.

SOUZA, G.O. e outros. Insetos: ordem isoptera. Em: CASTRO, V.G. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. p.67-84.

STUMPP, E. **Estudos Tecnológicos Unisinos Engenharia: Madeira** - Revista Científica - Universidade do Vale dos Sinos, 1997.

STUMPP et al. **Avaliação de sustentabilidade e eficácia de tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantadas no RS para o controle do cupim** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.