



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**PEDRO VICTOR BARBOSA PAÉ**

**PATOLOGIAS BIÓTICAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: ESTUDO DE CASO  
EM EDIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA - PA**

**ITAITUBA/PA  
2024**

**PEDRO VICTOR BARBOSA PAÉ**

**PATOLOGIAS BIÓTICAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: ESTUDO DE CASO  
EM EDIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA – PA**

Trabalho apresentado à disciplina de TCC II, do curso Bacharelado em Engenharia Civil, como requisito parcial para obtenção de nota de avaliação na disciplina de TCC II. Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Universitário de Itaituba.  
Orientador Prof.º Andrews Malone Pontes da Costa.

**ITAITUBA/PA  
2024**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

---

- P126p Paé, Pedro Victor Barbosa  
Patologias bióticas em estruturas de madeira: estudo de caso em edificação no município de Itaituba - PA / Pedro Victor Barbosa Paé – Itaituba, 2024.  
52 p. : il.  
Inclui bibliografias.
- Orientador: Andrews Malone Pontes da Costa  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Itaituba, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil.
1. Madeira. 2. Edificações. 3. Efeitos patológicos. 4. Bióticos. I. Costa, Andrews Malone Pontes da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 624




SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Ao décimo primeiro dia do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 15h, realizou-se no auditório do Campus Universitário de Itaituba, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Pedro Victor Barbosa Paé**, intitulado: **"Patologias bióticas em estruturas de madeira: estudo de caso em edificação no município de Itaituba - PA"**, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pelo professor **Andrews Malone Pontes da Costa**, orientador do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, o professor **Allan Peralta Leiroz** e o professor **Mikhail de Araújo Santhyago**. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota **9,5**. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, Andrews Malone Pontes da Costa, na qualidade de professor orientador do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Itaituba - PA, 11 de outubro de 2024.

Presidente/orientador(a):  \_\_\_\_\_

Membro:  \_\_\_\_\_

Membro:  \_\_\_\_\_



## RESUMO

A madeira pode ser utilizada temporariamente para instalação em canteiros de obras, andaimes, escoramentos, cofragens de concreto, entre outros. Além disso, pode ser usado permanentemente em estruturas de cobertura, telhados, molduras, tetos, pisos, etc. Nesse contexto, o referido material é produzido por plantas lenhosas e possui diversas propriedades como, bom isolamento térmico, porosidade, trabalhabilidade, considerável resistência e baixa densidade relativa. As construções feitas de madeira possuem uma tradição histórica e cultural bastante rica. Em muitos lugares, essas estruturas representam uma parte significativa do patrimônio arquitetônico, refletindo técnicas construtivas tradicionais e a história das comunidades locais. Portanto, examinar suas aplicações históricas oferece uma oportunidade valiosa para ampliar nosso conhecimento sobre esse material, que continua a ser utilizado no mercado, apesar das inúmeras inovações tecnológicas que surgiram ao longo dos anos. O caso em estudo foi escolhido por se tratar de uma construção com estrutura de madeira, suscetível a danos causados por agentes patológicos, como fungos, insetos e efeitos bactericidas, que comprometem a segurança estrutural e tornam inviável o uso desse material. Portanto, é de extrema importância analisar as patologias causadas por esses agentes bióticos para garantir a integridade e o desempenho não apenas das coberturas, mas de todos os componentes da construção. Neste contexto, o estudo das patologias nesta edificação de madeira contribuirá para a preservação desse patrimônio, assegurando que as futuras gerações possam apreciar e aprender com essa estrutura. Com o conhecimento sobre os efeitos patológicos, será possível identificar e corrigir os problemas antes que afetem a funcionalidade da estrutura.

**Palavras-chave:** Madeira; edificações; efeitos patológicos; bióticos.

## ABSTRACT

Wood can be used temporarily for installation on construction sites, scaffolding, shoring, concrete formwork, among others. Additionally, it can be used permanently in structures such as coverings, roofs, frames, ceilings, floors, etc. In this context, wood is produced by woody plants and possesses various properties, such as good thermal insulation, porosity, workability, considerable strength, and low relative density. Constructions made of wood have a rich historical and cultural tradition. In many places, these structures represent a significant part of the architectural heritage, reflecting traditional construction techniques and the history of local communities. Therefore, examining their historical applications provides a valuable opportunity to expand our knowledge about this material, which continues to be used in the market despite the numerous technological innovations that have emerged over the years. The case under study was chosen because it involves a wooden structure susceptible to damage caused by pathological agents such as fungi, insects, and bactericidal effects, which compromise structural safety and make the use of this material unfeasible. Therefore, it is of utmost importance to analyze the pathologies caused by these biotic agents to ensure the integrity and performance not only of the roofing but of all the components of the construction. In this context, the study of pathologies in this wooden building will contribute to the preservation of this heritage, ensuring that future generations can appreciate and learn from this structure. With knowledge of the pathological effects, it will be possible to identify and correct problems before they affect the functionality of the structure.

**Keywords:** Wood; buildings; pathological effects; biotic.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todas as pessoas que fazem parte da minha caminhada e que, com carinho, dedicação e ensinamentos, me guiaram até este momento tão importante.

Ao meu pai, Almir Soares Paé, e à minha mãe, Luzenira Barbosa de Moura, pela base sólida de amor, apoio e incentivo incondicional, sempre acreditando nos meus sonhos e me mostrando o valor da determinação.

Aos meus irmãos, por estarem ao meu lado nos momentos de alegria e de desafios, sendo sempre minha fonte de motivação.

Aos meus avós, que com sua sabedoria e experiências, deixaram ensinamentos valiosos para a minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Andrews Malone Pontes da Costa, por sua paciência, orientações precisas e incansável dedicação, que foram essenciais para a realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aspectos anatômicos das coníferas e folhosas (dicotiledôneas).....	16
Figura 2 - Ruptura localizado no meio do vão da viga, de seção composta de madeira. ....	17
Figura 3 - Manchas causadas por fungos.....	19
Figura 4 - Biodeterioração de estacas de madeira por bactérias.....	21
Figura 5 - Características visuais de madeira ataca por fungos emboloradores.....	23
Figura 6 - Características visuais de seção transversal de madeira atacada por fungos manchadores cromogêneos.....	24
Figura 7 - Ação de fungos apodrecedores na madeira.....	25
Figura 8 - Cupins e túneis por eles produzidos. ....	27
Figura 9 - Orifícios produzidos por brocas.....	29
Figura 10 - Característica visual de manifestação patológica na base do arco de madeira. ....	31
Figura 11- Característica visual de manifestação patológica na base do arco.....	32
Figura 12 - Planta baixa de locação.....	35
Figura 13 - Patologia causada por umidade.....	37
Figura 14 - Patologia causada por umidade.....	38
Figura 15 - Patologia causada por umidade.....	39
Figura 16 - Patologia causada por umidade.....	41
Figura 17 - Patologia causada por fungos. ....	42
Figura 18- Patologia causada por fungos. ....	44
Figura 19 - Patologia causada por cupins. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Matriz GUT.....	36
Tabela 2 - Matriz GUT das manifestações patológicas representadas em cada foto. ....	46

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 CONCEITO DE PATOLOGIA EM ESTRUTURAS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 PATOLOGIA DA MADEIRA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 AGENTES DE DETERIORAÇÃO DA MADEIRA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 AGENTES BIÓTICOS .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.1 Bactérias .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.2 Fungos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.2.1 Fungos Emboloradores .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.2.2 Fungos Manchadores .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.2.3 Fungos Apodrecedores.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.3 Insetos .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.3.1 Formigas Carpinteiras.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.3.2 Cupins.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.3.3 Brocas .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6 TRATAMENTO DA MADEIRA.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7 ESTUDO DE CASO DAS COBERTURAS DO GINÁSIO SÃO CARLOS CLUB.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.1 Inspeções não Destrutivas nas Coberturas do Ginásio São Carlos Club.....</b>	<b>31</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>

<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o decorrer dos anos, o homem vem utilizando a madeira como esquematização estrutural que corresponde às construções civis, devido à facilidade de extração dos recursos disponíveis deste material, que sempre fez parte do desenvolvimento humano. Segundo Losgdon e Calil Junior (2002), comenta que madeira ainda é bastante utilizada na construção civil, alguns engenheiros e arquitetos a empregam como principal elemento construtivo, levando em consideração alguns fatores como, a locação do empreendimento e os agentes biológicos aos quais a construção será exposta.

A madeira pode ser utilizada temporariamente para instalação em canteiros de obras, andaimes, escoramentos, cofragens de concreto, entre outros. Além disso, pode ser usado permanentemente em estruturas de cobertura, telhados, molduras, tetos, pisos, etc. Nesse contexto, o referido material é produzido por plantas lenhosas e possui diversas propriedades como, bom isolamento térmico, porosidade, trabalhabilidade, considerável resistência e baixa densidade relativa.

Porém, a madeira necessita de cuidados técnicos como, mão de obra especializada, tratamento superficial, dimensionamento correto, etc. O não conhecimento empírico pode levar as patologias que influenciam nas propriedades originais da madeira. Outro fator importante que pode gerar problemas patológicos é o manuseio e armazenados inadequadamente, que podem ocorrer manifestações patológicas rapidamente devido à degradação biológica, estrutural e físico-química pelos agentes externos.

Segundo levantamento realizado por Brito (2014), em todos os anos do Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira (EBRAMEM), houveram 2637 artigos publicados, sendo que destes, somente 74 artigos (o que representa 2,8% de todos os artigos publicados) foram sobre Patologia, Recuperação de Estruturas e Durabilidade da Madeira.

Assim, destaca-se a relevância do estudo em questão, que busca aprofundar o conhecimento sobre a patologia da madeira, um material de construção amplamente empregado em diversas edificações. A madeira, devido às suas características únicas, como leveza, resistência e estética, é uma escolha popular na construção civil. No entanto, sua vulnerabilidade a fatores patológicos, como a deterioração causada por agentes bióticos, pode comprometer sua durabilidade e segurança. Portanto, compreender melhor essas patologias são fundamentais não apenas para melhorar as práticas de tratamento e manutenção da madeira,

mas também para promover a sustentabilidade e a eficiência nas construções. Esse conhecimento contribui para a formação de profissionais mais capacitados, que poderão tomar decisões mais informadas e implementar soluções que assegurem a longevidade e a integridade das estruturas construídas com esse material.

Para embasar o conteúdo apresentado, foram realizadas pesquisas sistemáticas na literatura especializada sobre as manifestações patológicas em estruturas de madeira. Essas investigações consistiram em uma revisão abrangente de estudos anteriores, que forneceram insights valiosos sobre os diversos tipos de deterioração que a madeira pode sofrer ao longo do tempo. Além disso, foram feitas investigações literárias focadas nas técnicas de inspeção e reabilitação, permitindo a organização e a sistematização das informações relevantes para a prática. Esse rigor metodológico assegura que o conhecimento adquirido seja fundamentado em evidências científicas, contribuindo para uma compreensão mais profunda dos problemas que afetam a madeira e das abordagens eficazes para a sua avaliação e recuperação. Assim, o trabalho não apenas se apoia em fontes confiáveis, mas também busca integrar as melhores práticas e inovações no campo da preservação e manutenção de estruturas de madeira.

O presente estudo visa realizar uma análise detalhada de um caso específico que investiga as manifestações patológicas bióticas em uma edificação com estrutura de madeira. O foco principal é identificar e mapear os agentes responsáveis pela deterioração da madeira, como fungos, insetos e outras formas de vida que possam comprometer a integridade do material. Além de identificar esses agentes causadores, o estudo também propõe a apresentação de medidas preventivas e corretivas que podem ser implementadas para mitigar os danos e preservar a qualidade da estrutura. Esse enfoque não apenas contribui para uma melhor compreensão dos problemas enfrentados por edificações de madeira, mas também fornece recomendações práticas que podem ser aplicadas para proteger e prolongar a vida útil da madeira, garantindo a segurança e a durabilidade da edificação em questão.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral, visa apresentar um estudo de caso que descreva as patologias bióticas ocorridas na madeira em uma edificação residencial no município de Itaituba- PA.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Apresentar os resultados obtidos, demonstrando através de levantamento de campo as consequências e propondo medidas preventivas e corretivas no referido estudo de caso;
- Debater os resultados apresentados, com base na pesquisa de campo, considerando as normas brasileiras de segurança e o sistema construtivo de estruturas de madeiras;
- Mensurar as patologias existentes na edificação do estudo de caso.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

As construções feitas de madeira possuem uma tradição histórica e cultural bastante rica. Em muitos lugares, essas estruturas representam uma parte significativa do patrimônio arquitetônico, refletindo técnicas construtivas tradicionais e a história das comunidades locais. Portanto, examinar suas aplicações históricas oferece uma oportunidade valiosa para ampliar nosso conhecimento sobre esse material, que continua a ser utilizado no mercado, apesar das inúmeras inovações tecnológicas que surgiram ao longo dos anos. O caso em estudo foi escolhido por se tratar de uma construção com estrutura de madeira, suscetível a danos causados por agentes patológicos, como fungos, insetos e efeitos bactericidas, que comprometem a segurança estrutural e tornam inviável o uso desse material. Portanto, é de extrema importância analisar as patologias causadas por esses agentes bióticos para garantir a integridade e o desempenho não apenas das coberturas, mas de todos os componentes da construção. Neste contexto, o estudo das patologias nesta edificação de madeira contribuirá para a preservação desse patrimônio, assegurando que as futuras gerações possam apreciar e aprender com essa estrutura. Com o conhecimento sobre os efeitos patológicos, será possível identificar e corrigir os problemas antes que afetem a funcionalidade da estrutura. Outro aspecto que motiva a realização deste estudo de caso é o menor impacto ambiental em comparação com outros materiais de construção. A manutenção adequada das edificações de madeira pode incentivar o uso sustentável desse recurso, reduzindo a necessidade de novas construções e, conseqüentemente, o consumo de recursos naturais. Portanto, a correta manutenção dessas edificações de madeira terá um impacto direto na qualidade de vida de seus ocupantes, proporcionando ambientes seguros, confortáveis e esteticamente agradáveis, promovendo assim o bem-estar dos moradores e usuários.

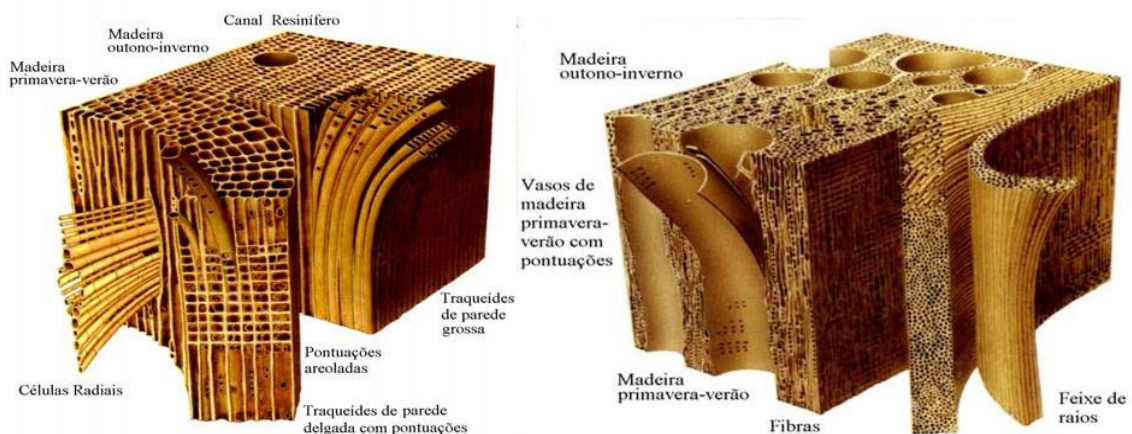
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

O material produzido a partir do tecido das plantas lenhosas é composto principalmente por fibras de celulose, hemicelulose e lignina, que dão rigidez e resistência às plantas, especialmente árvores e arbustos. Esses tecidos, localizados no xilema (parte interna da planta responsável pelo transporte de água e minerais), são essenciais para a sustentação e crescimento das plantas lenhosas, permitindo que atinjam grandes alturas e resistam a condições adversas. Esse tipo de material é amplamente utilizado em indústrias, como na fabricação de papel, madeira serrada, móveis e biocombustíveis, devido à sua durabilidade, resistência e abundância em florestas e áreas de reflorestamento.

Segundo pressupõe Brito (2014), as folhosas (Figura 1) são compostas principalmente por fibras, parênquima, vasos e raios. As fibras, que variam de comprimento entre 0,5 a 1,5 mm, desempenham um papel crucial ao conferir resistência e rigidez à madeira. Os vasos, cujos diâmetros variam de 0,02mm a 0,5mm, são responsáveis pelo transporte da seiva bruta e estão orientados na direção da altura da árvore. As células radiais, dispostas radialmente na seção do tronco da árvore, têm a função de transportar a seiva elaborada para o interior do lenho, tanto em coníferas quanto em dicotiledôneas. Além disso, elas armazenam material orgânico não utilizado na formação das células.

Figura 1 - Aspectos anatômicos das coníferas e folhosas (dicotiledôneas).



Fonte: DIAS et al. (2005).

As células radiais, organizadas em fileiras que se estendem do centro para a periferia do tronco da árvore, desempenham um papel vital no transporte da seiva elaborada (nutrientes e produtos da fotossíntese) para o interior do lenho. Presentes tanto em coníferas quanto em

dicotiledôneas, essas células são responsáveis por distribuir os nutrientes essenciais das folhas para os tecidos internos, garantindo que toda a estrutura da planta, incluindo as áreas mais profundas do tronco, receba o suprimento necessário para o crescimento e manutenção. Esse transporte radial é fundamental para a saúde da árvore e para a continuidade dos processos vitais ao longo de toda sua estrutura lenhosa.

## 2.2 CONCEITO DE PATOLOGIA EM ESTRUTURAS

Para Souza e Ripper (1998), a Patologia das Estruturas é o ramo da Engenharia de Estruturas que se dedica ao estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos das falhas e/ou deterioração dos elementos estruturais. Assim, a Patologia das Estruturas é fundamental para identificar problemas potenciais e propor soluções que previnam deteriorações mais graves, garantindo a segurança e a durabilidade das construções.

A Patologia das Estruturas é uma área crucial na engenharia e arquitetura, dedicada a identificar falhas, anomalias e potenciais problemas em edificações, pontes e outras construções. Esse estudo permite a detecção precoce de defeitos que, se ignorados, poderiam comprometer a segurança, funcionalidade e durabilidade das estruturas. Ao analisar os materiais, técnicas construtivas e o ambiente ao redor, é possível determinar as causas das deteriorações e propor intervenções corretivas que evitam danos mais sérios e custos elevados de reparo no futuro. Dessa forma, a Patologia das Estruturas contribui para manter a integridade das construções e prolongar sua vida útil com segurança.

Figura 2 - Ruptura localizado no meio do vão da viga, de seção composta de madeira.



Fonte: CALIL et al., (2011); BRITO et al. (2012).

No entanto, Souza e Ripper (1998) afirmam que a Patologia das Estruturas não é apenas um novo campo no que diz respeito à identificação e ao conhecimento das anomalias, mas

também à concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente, à formação do Engenheiro Civil. O aprendizado em Engenharia de Estruturas tem sido tradicionalmente focado na abordagem das estruturas a serem construídas, tanto em nível de projeto quanto de execução.

A patologia em estruturas na Figura 2, emerge como um campo interdisciplinar que vai além da simples identificação e compreensão das anomalias que podem afetar edificações e infraestruturas. Este campo abrange também a concepção e o projeto de estruturas, enfatizando a importância de integrar o conhecimento sobre possíveis falhas e deteriorações já na fase de planejamento. Assim, a patologia em estruturas se torna um componente essencial na formação do engenheiro civil, equipando-o com a capacidade de antecipar e prevenir problemas que podem comprometer a segurança e a durabilidade das construções. Essa abordagem holística não apenas melhora a qualidade dos projetos, mas também contribui para a sustentabilidade das obras, uma vez que permite a identificação de soluções que minimizam os riscos de falhas estruturais. Portanto, a patologia em estruturas é fundamental para formar profissionais mais completos, capazes de lidar com os desafios contemporâneos da engenharia civil e de promover edificações mais seguras e resilientes.

### **2.3 PATOLOGIA DA MADEIRA**

Conforme Cánovas (1988), a patologia na engenharia é o campo que se dedica a investigar os sintomas, mecanismos, causas e origens de falhas em construções e empreendimentos. Em alguns casos, uma simples inspeção visual pode ser suficiente para identificar os problemas patológicos. No entanto, em outros casos, é necessário avaliar o projeto, investigar as cargas aplicadas à estrutura, analisar a execução da obra em detalhes e observar como as falhas se comportam diante de certos estímulos. Esse campo estuda sinais e sintomas de falhas, analisando seus mecanismos, causas e origens. Às vezes, uma inspeção visual simples é suficiente para detectar problemas, mas em situações mais complexas, é necessário um exame mais aprofundado, que inclui a revisão do projeto, o estudo das cargas aplicadas à estrutura e uma análise detalhada de como as falhas se manifestam quando submetidas a diferentes condições.

### **2.4 AGENTES DE DETERIORAÇÃO DA MADEIRA**

Kumode (2008) acrescenta que o tipo de dano que a madeira sofre depende do grau de exposição ao risco e dos fatores que influenciam esse processo. Nesse contexto, Brito (2014) destaca que os danos podem variar desde manchas ou descolorações leves, causadas por fungos

ou produtos químicos, até deteriorações mais graves, provocadas por fungos que causam apodrecimento ou por insetos.

Figura 3 - Manchas causadas por fungos.



Fonte: KLOCK et al. (2005).

O tipo de dano que a madeira sofre depende diretamente de seu grau de exposição a fatores de risco como umidade, luz solar, pragas e variações de temperatura. Em ambientes externos, onde a madeira está exposta ao clima, é comum o desenvolvimento de mofo, podridão e rachaduras, enquanto em locais internos, sem proteção adequada, ela pode sofrer ataques de insetos como cupins e brocas. A intensidade e o tipo de deterioração variam conforme a resistência natural da madeira, seu tratamento preventivo e a frequência de manutenção. Portanto, conhecer esses fatores é essencial para escolher a madeira certa para cada aplicação e garantir sua durabilidade ao longo do tempo.

Conforme Mendes e Alves (1988), os principais fatores que causam a deterioração da madeira são os agentes bióticos, que provocam a degradação biológica, e os agentes abióticos, responsáveis pela degradação física, química e desgaste mecânico. A deterioração da madeira é principalmente causada por dois tipos de agentes. Os agentes bióticos, como fungos e insetos, que levam à degradação biológica da madeira, e os agentes abióticos, como umidade, temperatura e produtos químicos, que provocam a degradação física e química, além de desgastes mecânicos.

A deterioração da madeira na Figura 3, é predominantemente provocada por dois tipos de agentes, sendo os agentes bióticos os mais significativos nesse processo. Entre esses agentes, destacam-se os fungos e os insetos, que causam a degradação biológica da madeira. Os fungos, como os de podridão branca e marrom, se alimentam da celulose e da lignina, essenciais para a estrutura da madeira, resultando em fraqueza e desintegração do material. Já os insetos, como os cupins e as brocas, perfuram e consomem a madeira, criando galerias que comprometem sua

integridade e resistência. Essa deterioração não apenas afeta a estética da madeira, mas também sua durabilidade e funcionalidade, tornando-a vulnerável a colapsos e danos. Assim, a compreensão dos agentes bióticos responsáveis pela deterioração é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de preservação e manutenção da madeira, assegurando sua longevidade em diversas aplicações.

## **2.5 AGENTES BIÓTICOS**

De acordo com KLOCK et al. (2005), os principais organismos responsáveis pela deterioração da madeira são as bactérias, os fungos e os insetos. Da mesma forma, Mendes e Alves (1988), destacam que a degradação causada por agentes bióticos ocorre devido à ação de organismos xilófagos, entre os quais estão fungos, insetos, moluscos, crustáceos e bactérias.

A madeira é naturalmente vulnerável a organismos que podem comprometer sua integridade ao longo do tempo. Entre esses agentes, destacam-se as bactérias, fungos e insetos, que são os principais responsáveis pela sua deterioração. As bactérias podem se infiltrar em ambientes com alta umidade, causando podridão em madeiras expostas à água ou ao solo. Os fungos também dependem de condições de umidade e são comuns em locais onde a madeira está pouco ventilada, sendo os causadores de apodrecimento e descoloração. Já os insetos, como cupins e brocas, perfuram e consomem a madeira, causando danos estruturais significativos e tornando-a frágil. Esses organismos atuam de maneira complementar, acelerando o processo de degradação e limitando a durabilidade da madeira em diferentes.

Conforme ALCAROL (2014), os agentes bióticos são os principais responsáveis por patologias e rupturas, tanto parciais quanto totais, nas estruturas, sendo os fungos frequentemente associados a essas degradações.

Agentes bióticos, como fungos, insetos e bactérias, são os principais responsáveis por causar patologias e rupturas em estruturas de madeira, comprometendo sua integridade de forma parcial ou até total. Esses organismos se alimentam da madeira e decompõem seus componentes, como celulose e lignina, enfraquecendo a estrutura ao longo do tempo. Por exemplo, cupins e brocas perfuram a madeira para se alimentar, criando galerias que fragilizam o material, enquanto fungos de podridão causam deterioração, principalmente em ambientes úmidos. A presença desses agentes reduz a resistência da madeira, podendo resultar em danos irreversíveis e até em colapsos estruturais. Por isso, é fundamental monitorar e proteger as estruturas de madeira contra esses organismos para evitar comprometimentos significativos.

### 2.5.1 Bactérias

Kumode (2008), ressalta que o principal fator para o ataque bacteriano é a elevada umidade. Dessa forma, a madeira que fica em contato contínuo com a água por períodos prolongados torna-se vulnerável à ação bacteriana. ABRAMI et al. (2005), complementa afirmando que, embora a biodeterioração causada por bactérias seja um processo lento, ela pode se intensificar consideravelmente quando a madeira permanece submersa por muito tempo.

O ataque bacteriano à madeira ocorre principalmente em ambientes de elevada umidade, uma vez que a presença constante de água cria condições ideais para a proliferação de bactérias. Quando a madeira permanece em contato direto com a água por longos períodos, suas fibras ficam saturadas, o que facilita a penetração e a ação degradativa das bactérias. Essas bactérias atacam os componentes da madeira, especialmente a celulose, causando perda de resistência e integridade estrutural, além de alterações na aparência e textura do material. Esse tipo de deterioração é comum em estruturas como postes, pontes, e fundações expostas a ambientes aquáticos ou a solos úmidos, onde a umidade contínua torna a madeira mais suscetível ao ataque microbiano.

Figura 4 - Biodeterioração de estacas de madeira por bactérias.



Fonte: ABRAMI et al. (2005).

O ataque bacteriano na madeira na Figura 4, geralmente se manifesta na forma de manchas superficiais que alteram a aparência do material. Essas manchas ocorrem porque as bactérias se proliferam em condições de alta umidade, penetrando na superfície da madeira e liberando substâncias que causam descoloração. Embora essa ação bacteriana nem sempre

comprometa a estrutura interna da madeira, ela pode reduzir seu valor estético e, em casos mais graves, enfraquecer suas camadas externas. Esse tipo de deterioração é comum em madeiras que ficam em contato prolongado com solo ou água, onde a umidade facilita o crescimento bacteriano e intensifica a formação das manchas.

## **2.5.2 Fungos**

Brito (2014) esclarece que os fungos utilizam a madeira como fonte de nutrientes, liberando enzimas que quebram componentes como celulose, hemicelulose e lignina, absorvendo o material decomposto para completar a digestão.

Esse processo de decomposição permite que os fungos obtenham a energia e os nutrientes necessários para seu crescimento e reprodução. Com o tempo, essa atividade enzimática enfraquece a madeira, comprometendo sua resistência estrutural, já que são justamente esses componentes que garantem sua rigidez e durabilidade.

Kumode (2008) ressalta que a umidade da madeira é um fator crucial para sua durabilidade, pois propicia as condições ideais para o crescimento de diversas espécies de fungos. Por exemplo, os fungos de podridão seca afetam a madeira com umidade entre 20% e 40%, os de podridão úmida proliferam com umidade entre 40% e 50%, enquanto os fungos de podridão mole precisam de níveis de umidade elevados, geralmente até 80%, para se desenvolverem.

A umidade é um fator essencial para a durabilidade da madeira, pois ela influencia diretamente a resistência do material ao ataque de agentes degradantes, como fungos e bactérias. Quando a madeira contém níveis elevados de umidade, cria um ambiente favorável ao desenvolvimento desses organismos, acelerando o processo de decomposição biológica. Por outro lado, uma madeira mais seca é menos propensa à ação de fungos e outros microrganismos, pois eles dependem de condições úmidas para se proliferarem. Assim, o controle da umidade é fundamental para prolongar a vida útil da madeira e garantir sua integridade estrutural, sendo um aspecto central em seu armazenamento, manuseio e uso em construções.

### **2.5.2.1 Fungos Emboloradores**

De acordo com ABRAMI et al. (2005), esses fungos crescem na superfície da madeira, utilizando os resíduos nutritivos disponíveis nela. A madeira contaminada por fungos de mofo exibe diferentes colorações e pode ser removida com facilidade.

Figura 5 - Características visuais de madeira ataca por fungos emboloradores.



Fonte: ARRIAGA et al. (2002).

Os fungos se desenvolvem na superfície da madeira conforme a Figura 5, aproveitando os nutrientes presentes em resíduos orgânicos, como poeira, sujeira e restos de matéria vegetal. Esses resíduos contêm compostos que servem de fonte de energia e sustento para os fungos, promovendo o crescimento de colônias que podem, com o tempo, afetar a qualidade e aparência da madeira. Embora o crescimento inicial ocorra apenas na superfície, ele pode favorecer a colonização mais profunda se as condições forem favoráveis, especialmente em ambientes com alta umidade. Por isso, a limpeza e o controle de umidade são medidas importantes para prevenir o desenvolvimento de fungos e proteger a madeira.

Segundo ARRIAGA et al. (2002), a madeira infectada por fungos de mofo apresenta uma superfície poeirenta e é comumente encontrada em toras recém-cortadas, em madeira serrada durante a secagem e em peças expostas a elevados níveis de umidade.

A poeira visível na superfície é composta por partículas liberadas pelo crescimento do mofo, que não só afeta a estética do material, mas também compromete sua integridade estrutural ao causar deterioração. Além disso, a presença de mofo pode representar riscos à saúde, uma vez que pode desencadear reações alérgicas e problemas respiratórios em indivíduos expostos.

#### **2.5.2.2 Fungos Manchadores**

De acordo com ARRIAGA et al. (2002), os fungos manchadores atacam tanto as toras recém-cortadas quanto as peças de madeira serrada durante o processo de secagem. Além disso,

madeiras que foram secas ao ar e depois reidratadas também estão vulneráveis a esse tipo de ataque.

Os fungos manchadores, também conhecidos como fungos de mancha azul, atacam tanto as toras recém-cortadas quanto as peças de madeira serrada durante a fase de secagem. Esses fungos não degradam a estrutura da madeira, mas causam manchas escuras que afetam sua aparência e valor comercial. Eles se desenvolvem rapidamente em ambientes úmidos e em madeira recém-cortada, alimentando-se de substâncias presentes nas células lenhosas. Durante o processo de secagem, se a madeira não for devidamente ventilada e protegida, esses fungos podem se espalhar, comprometendo a qualidade estética do material. Esse tipo de dano, embora superficial, é indesejável e frequentemente leva a um processamento adicional para remover as manchas ou à desvalorização da madeira para o mercado consumidor.

Figura 6 - Características visuais de seção transversal de madeira atacada por fungos manchadores cromogêneos.



Fonte: ARRIAGA et al. (2002).

ARRIAGA et al. (2002), declara que os fungos causadores de manchas possuem hifas pigmentadas e se alimentam dos nutrientes contidos nas células. Kumode (2008) também destaca que uma das características desses fungos é a capacidade de penetrar nas células, criando pequenos orifícios que afetam a capacidade natural da madeira de permitir a passagem de substâncias.

Esses fungos manchadores conforme a Figura 6, podem de fato, causar sérios danos à madeira, comprometendo sua durabilidade e integridade. Portanto, a detecção desse fungo deve ser vista como um sinal de alerta para a necessidade de monitoramento e controle das condições

ambientais, a fim de prevenir a invasão de fungos mais agressivos que podem levar à deterioração significativa da madeira e, conseqüentemente, a falhas estruturais em edificações.

### 2.5.2.3 Fungos Apodrecedores

A presença desses fungos conforme a Figura 7, resulta em sintomas visíveis, como a perda de resistência estrutural, que torna a madeira mais suscetível a danos e falhas. Além disso, ocorre uma diminuição da densidade do material, levando a um amolecimento que pode facilitar sua desintegração. Os fungos também provocam descoloração, alterando a aparência da madeira e, muitas vezes, indicando a gravidade da infestação. Esses efeitos não apenas prejudicam a estética, mas também reduzem a vida útil da madeira, destacando a importância de medidas preventivas e de controle para preservar a integridade das estruturas feitas com esse material.

Figura 7 - Ação de fungos apodrecedores na madeira.



Fonte: GARCIA (2006).

Conforme mencionado por GARCIA (2006), os fungos de podridão mole conseguem penetrar na parede secundária das células, atravessando a lamela média e invadindo a parede adjacente de forma sucessiva. A superfície da madeira exibe fissuras transversais que se assemelham à carbonização, e a degradação ocorre mais lentamente em comparação com outros tipos de fungos.

Os fungos de podridão mole são capazes de invadir profundamente a estrutura celular da madeira, penetrando a parede secundária das células e atravessando a lamela média para

atingir as paredes das células vizinhas de forma contínua. Esse processo resulta em uma degradação característica, com a formação de fissuras transversais na superfície da madeira que lembram um efeito de carbonização, embora sem envolver queima. Ao contrário de outros fungos de decomposição, os fungos de podridão mole degradam a madeira de maneira mais lenta, mas gradual, comprometendo a integridade estrutural do material ao longo do tempo. Essa ação lenta, porém, persistente, torna esses fungos especialmente problemáticos em condições de umidade elevada e temperaturas amenas, onde a madeira permanece úmida por longos períodos, favorecendo o desenvolvimento e a disseminação dos fungos.

### **2.5.3 Insetos**

De acordo com GARCIA (2006), os insetos desempenham um papel importante na remoção de componentes da microestrutura da madeira. Além disso, eles podem dar início a ciclos de fungos que causam apodrecimento e manchas, bem como transferir hifas de determinados fungos para outras áreas da madeira, o que aumenta significativamente a deterioração do material.

Ao se alimentarem da madeira, esses insetos, como besouros e larvas, quebram as ligações entre as fibras, resultando na destruição de sua microestrutura. Esse processo de degradação pode levar à perda de resistência e integridade do material, tornando-o mais vulnerável a outros tipos de danos, como os causados por fungos e umidade. Embora a atividade desses insetos faça parte de um ciclo ecológico essencial, onde contribuem para a decomposição e reciclagem de matéria orgânica, sua presença em estruturas de madeira pode ser prejudicial, exigindo atenção e controle para evitar danos significativos.

#### **2.5.3.1 Formigas Carpinteiras**

De acordo com Freitas (2009), o ataque das formigas carpinteiras confere à madeira uma aparência laminada. Isso ocorre porque as operárias removem o lenho inicial, preservando o lenho tardio, o que gera diversos túneis e expulsa os resíduos para fora da peça, resultando em túneis com uma aparência limpa.

Esse processo não apenas altera a estética da madeira, mas também compromete sua integridade estrutural, pois as galerias podem enfraquecer a resistência do material. Além disso, a presença das formigas carpinteiras é um indicativo de que a madeira pode estar em condições

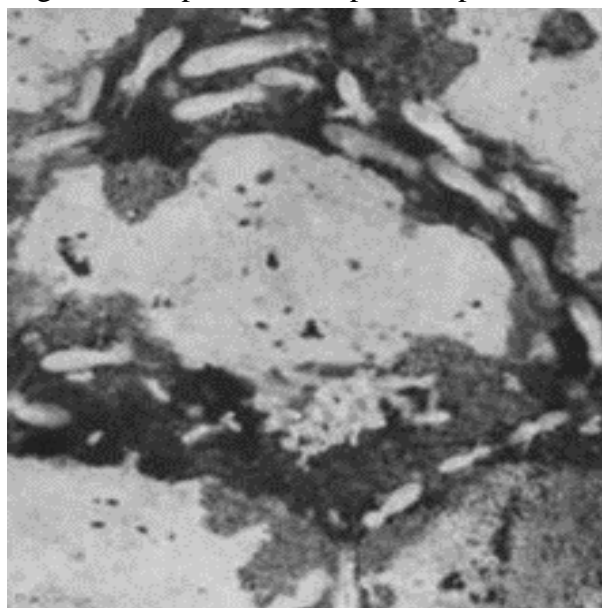
favoráveis à deterioração, ressaltando a importância de monitorar e controlar a infestação para preservar a durabilidade e a funcionalidade das estruturas de madeira.

### 2.5.3.2 Cupins

Brito (2014) também aponta que os cupins necessitam de condições específicas para sobreviver, como a celulose como fonte de alimento, altos níveis de umidade e uma elevada concentração de dióxido de carbono e oxigênio.

Os danos causados por esses insetos podem ser extremamente severos, comprometendo completamente a estrutura afetada. Frequentemente, quando o ataque é detectado, a deterioração já está em um estágio avançado, resultando em uma significativa perda de resistência da peça. Os cupins, insetos conhecidos por seu papel destrutivo em estruturas de madeira, requerem condições específicas para a sua sobrevivência e desenvolvimento. A celulose, presente em materiais vegetais como a madeira, é a principal fonte de alimento para essas criaturas, tornando a madeira um alvo preferencial para seus ataques. Além disso, os cupins prosperam em ambientes com altos níveis de umidade, que não só facilitam a digestão da celulose, mas também ajudam a manter a integridade de seus ninhos e colônias. Outro fator importante é a elevada concentração de dióxido de carbono e oxigênio, que é essencial para sua respiração e metabolismo.

Figura 8 - Cupins e túneis por eles produzidos.



Fonte: CRUZ (2001).

Segundo CRUZ (2001), os cupins que vivem no solo atacam praticamente todas as variedades de madeira e são responsáveis pela maior parte da destruição madeireira. Eles precisam de umidade e constroem seus ninhos no solo, criando túneis que se estendem até a superfície para transportar madeira. Contudo, não há buracos visíveis que possam indicar a presença deles. Em edificações, esses insetos utilizam vários espaços para alcançar seus alimentos. Segundo Eleotério (2000), os cupins subterrâneos fazem túneis com uma mistura de terra, fezes e saliva, com o intuito de se proteger da umidade do ar e de predadores.

Os cupins que habitam o solo conforme a Figura 8, são conhecidos por sua capacidade de atacar quase todas as variedades de madeira, tornando-se uma ameaça significativa para construções e estruturas de madeira. Esses insetos subterrâneos são altamente adaptáveis e possuem um sistema digestivo que lhes permite decompor a celulose presente em diversos tipos de madeira, independentemente da sua origem. O ataque dos cupins do solo não se limita a madeiras macias; eles podem infestar madeiras duras e tratadas, comprometendo a integridade estrutural de edificações e móveis. Sua habilidade de criar extensas colônias no subsolo permite que esses insetos acessem as raízes das árvores e, eventualmente, se infiltram nas estruturas de madeira, tornando o controle e a prevenção de infestações uma tarefa crucial para proteger os bens materiais e garantir a segurança das construções.

### **2.5.3.3 Brocas**

De acordo com Eleotério (2000), o dano à madeira causado por brocas é frequentemente confundido com o ataque de cupins, devido aos excrementos que estes deixam para trás. A diferenciação entre os dois é feita pela análise dos excrementos, que são mais finos no caso das brocas.

O dano à madeira causado por brocas é frequentemente confundido com o ataque de cupins, uma vez que ambos os tipos de infestação resultam em buracos e galerias na madeira. A confusão é exacerbada pelos excrementos que ambos os insetos deixam para trás, que podem ser semelhantes em aparência. As brocas, que são larvas de insetos como o besouro do pó da madeira, criam galerias ao se alimentarem da madeira, enquanto os cupins também perfuram a estrutura lenhosa para obter celulose. Além disso, os resíduos excretados por ambos podem se acumular em pequenas pilhas ou serem misturados à madeira danificada, dificultando a identificação do agente causador do dano. Essa semelhança pode levar a diagnósticos incorretos e, conseqüentemente, a abordagens inadequadas para o tratamento e controle das infestações,

tornando essencial uma inspeção cuidadosa para determinar a causa real da degradação da madeira.

Figura 9 - Orifícios produzidos por brocas.



Fonte: MONTANA (2016).

MONTANA (2016), destaca que a madeira em processo de secagem apresenta níveis moderados de umidade, tornando-se atrativa para as brocas que se alimentam durante essa fase. Essas brocas podem desenvolver seu ciclo de vida nesse tipo de madeira. Além disso, aquelas que infestam madeira seca são frequentemente observadas em edificações. Os indícios de tais ataques geralmente são reconhecidos por buracos na madeira, frequentemente acompanhados de pó.

A madeira em processo de secagem, embora tenha níveis moderados de umidade, ainda apresenta condições que a tornam atrativa para brocas, que são larvas de insetos, como os besouros do pó da madeira. Durante essa fase, a madeira é vulnerável, pois a umidade residual pode ser suficiente para sustentar a alimentação das brocas, permitindo que elas se desenvolvam e completem seu ciclo de vida. As brocas se alimentam da celulose presente na madeira, causando danos que podem se manifestar em galerias e buracos. Esse crescimento é problemático, pois, mesmo em madeira que está sendo seca, o potencial de infestação pode comprometer a qualidade do material, resultando em perdas econômicas e em uma redução na durabilidade da madeira, caso o controle adequado não seja realizado durante o processo de secagem.

## 2.6 TRATAMENTO DA MADEIRA

O tratamento da madeira envolve a aplicação de produtos químicos repelentes ou tóxicos em concentrações adequadas, visando aumentar sua resistência a ataques biológicos, como os causados por fungos, insetos e outros organismos que podem comprometer sua integridade. Esses produtos são incorporados à madeira de diversas maneiras, como impregnação, pincelamento ou pulverização, dependendo do tipo de tratamento e do grau de proteção desejado. Ao criar uma barreira contra esses agentes patológicos, o tratamento não apenas previne a deterioração e o apodrecimento, mas também contribui para a durabilidade e a manutenção da estética da madeira ao longo do tempo. Com isso, a vida útil da madeira é significativamente prolongada, tornando-a uma escolha mais econômica e sustentável para diversas aplicações na construção civil, móveis e outros produtos de madeira.

Conforme MONTANA (2016), o tratamento preservativo da madeira é fundamental e deve ser realizado com atenção para prevenir infestações de microorganismos que se alimentam da madeira e protegê-la das condições climáticas adversas, prolongando assim sua durabilidade. Icimoto (2018) observa que os preservantes para madeira podem ser agrupados em três tipos, com base em suas características: oleosos, oleossolúveis e hidrossolúveis. No Brasil, os produtos preservantes mais comuns incluem o CCA-C-ÓXIDO, que é formado por cobre, cromo e arsênio, respondendo por cerca de 90% do mercado, e o CCB-ÓXIDO E SALINO, que contém cobre, cromo e boro, representando aproximadamente 10% do mercado.

O tratamento da madeira consiste na incorporação de produtos repelentes ou tóxicos em quantidades apropriadas para aumentar sua resistência contra ataques biológicos e, conseqüentemente, prolongar sua vida útil. A escolha do método de tratamento que oferece o melhor custo/benefício varia conforme a finalidade da madeira, ou seja, a classe de uso. A norma brasileira ABNT NBR 7190:2012 define orientações para assegurar que a madeira utilizada em edificações e outras finalidades receba um tratamento adequado, levando em consideração o ambiente onde será aplicada, a seleção do preservante, a técnica de aplicação e a necessidade de manutenção regular para garantir a durabilidade e a segurança das estruturas de madeira.

Para Lepage, Salis e Guedes (2017), existem três regras fundamentais para conservar a madeira em boas condições, independentemente de sua durabilidade natural ou do tratamento químico recebido: manter a madeira seca, evitar que a madeira absorva água e afastar fontes de água da madeira.

A umidade é um dos principais fatores que favorecem a deterioração da madeira, promovendo o crescimento de fungos, o aparecimento de mofo e a infestação de insetos, como cupins. Ao garantir que a madeira permaneça em um ambiente seco, é possível evitar esses problemas e preservar sua integridade estrutural e estética. Isso pode ser alcançado através de práticas como a ventilação adequada em locais de armazenamento, a utilização de barreiras contra a umidade e a escolha de locais elevados, longe do contato direto com o solo ou água. Dessa forma, a manutenção da madeira em condições secas não só protege seu valor e funcionalidade, mas também contribui para uma maior longevidade dos materiais em diversas aplicações.

## **2.7 ESTUDO DE CASO DAS COBERTURAS DO GINÁSIO SÃO CARLOS CLUB**

### **2.7.1 Inspeções não Destrutivas nas Coberturas do Ginásio São Carlos Club**

De acordo com Brito et al. (2012), as armaduras dos estribos localizados no topo do pilarete de concreto armado, que servem para fixar a base do sistema do arco, apresentam sinais visíveis de corrosão superficial, resultado da falta de proteção adequada com concreto em algumas áreas. Além disso, foram encontrados dois orifícios na base do arco, com características visíveis de danos causados por brocas de madeira.

Figura 10 - Característica visual de manifestação patológica na base do arco de madeira.



Fonte: BRITO (2014).

As armaduras dos estribos localizados no topo do pilarete de concreto armado conforme a Figura 10, que têm a função de fixar a base do sistema do arco, estão apresentando sinais visíveis de corrosão superficial. Essa corrosão é um indicativo claro da falta de proteção adequada com concreto em determinadas áreas, o que expõe as armaduras metálicas ao ambiente externo. A presença de umidade e agentes corrosivos, como poluentes e sais, pode

acelerar esse processo de deterioração, comprometendo a resistência e a durabilidade da estrutura. A corrosão das armaduras é preocupante, pois, se não tratada, pode levar à perda da capacidade de carga do pilarete e, conseqüentemente, ao colapso do sistema estrutural. Portanto, é fundamental realizar inspeções regulares e garantir a proteção adequada das armaduras com concreto para preservar a integridade da estrutura ao longo do tempo.

A verificação do acúmulo de detritos, como fezes, nos túneis ou nas áreas adjacentes é uma prática essencial para monitorar a presença de infestações de insetos, como os cupins, que podem comprometer a integridade da madeira e das estruturas. O acúmulo de fezes é um sinal visível da atividade desses organismos, indicando que a madeira pode estar sob ataque e, portanto, requer atenção imediata. Além disso, a identificação de manchas de corrosão química na madeira e na armadura dos estribos, especialmente localizados no topo do pilarete de concreto armado, é igualmente crucial. Essas manchas são indicativas de reações químicas que podem ser prejudiciais e que, junto aos indícios de corrosão superficial, sugerem que as estruturas metálicas estão se deteriorando devido à exposição a um ambiente corrosivo. A presença desses sinais alerta para a necessidade de intervenções de manutenção e reparo, visando garantir a segurança e a durabilidade da edificação, evitando danos mais severos no futuro.

Figura 11- Característica visual de manifestação patológica na base do arco.



Fonte: BRITO (2014).

As características observadas na madeira conforme a Figura 11, incluem indícios de ataque por fungos de podridão branca, que se manifestam através de uma deterioração visível que altera a textura e a resistência do material. Esses fungos, que se alimentam da celulose e da lignina presentes na madeira, podem provocar uma degradação significativa, resultando em um aspecto esfarelado e frágil. Além disso, as manchas de corrosão química que acompanham esse ataque indicam a presença de agentes corrosivos, que podem ser provenientes de substâncias

químicas aplicadas na madeira ou de condições ambientais adversas, como a umidade excessiva ou a exposição a produtos químicos agressivos. A combinação da ação dos fungos e da corrosão química não apenas compromete a estética da madeira, mas também sua integridade estrutural, ressaltando a importância de monitoramento e intervenções adequadas para evitar danos severos e prolongar a vida.

### 3 METODOLOGIA

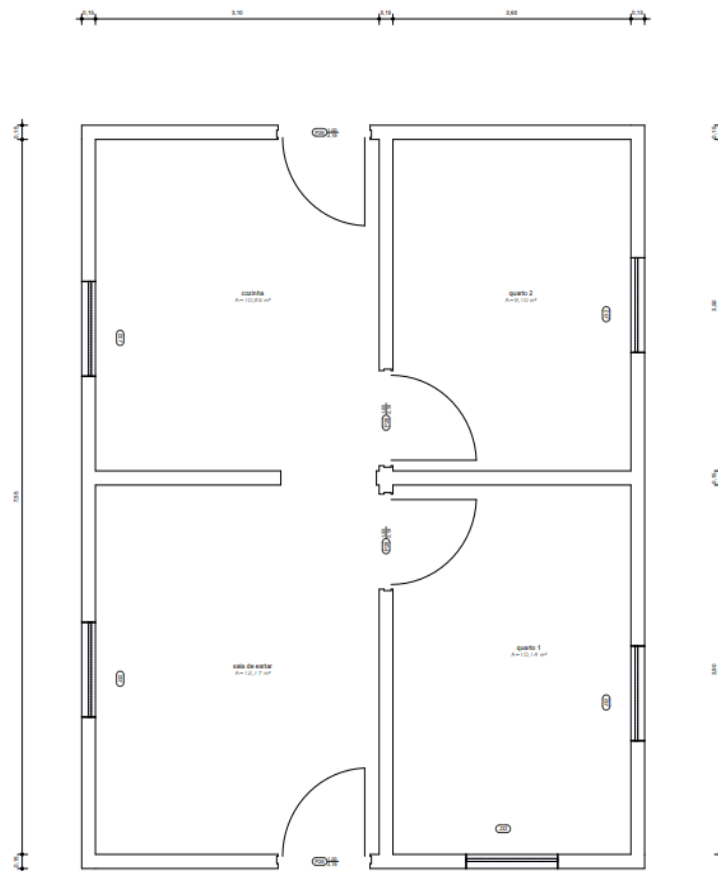
O método de estudo desenvolvido para o presente estudo de caso, visa pela escolha de uma edificação constituída por sistemas estruturais em madeira, localizada na cidade de Itaituba-PA, no bairro Maria Magdalena. Com isso, será estabelecido as bases para a análise do estudo de caso, com o desenvolvimento a longo prazo, será realizado uma revisão sistemática da literatura de estudo sobre as manifestações patológicas das estruturas de madeira.

Posteriormente, visa estabelecer um contato inicial com o proprietário da edificação para obter a devida autorização de acesso, possibilitando a realização de uma visita preliminar. Durante essa primeira visita em loco, pretende-se realizar uma avaliação inicial da edificação e observar os elementos construtivos presentes no local. Com isso, será executado um levantamento técnico detalhado, com o intuito de identificar as patologias construtivas existentes e os fatores que contribuíram para o surgimento dessas anomalias através de levantamento fotográfico. Após a visita inicial, será solicitado ao proprietário o acesso aos documentos técnicos e históricos da edificação, visando esclarecer informações relevantes sobre o histórico construtivo e eventuais intervenções anteriores.

Nesse contexto, será efetuada uma inspeção visual e fotográfico, conforme recomendado pela NBR 16747 (ABNT, 2020). Durante essa inspeção, serão identificadas manifestações patológicas e inconformidades, além de serem registrados fotograficamente os elementos a serem analisados. Com os resultados obtidos na vistoria, todos os registros fotográficos serão catalogados por elemento avaliado, subdivididos por cada parte da edificação, para analisar os tipos de manifestações patológicas encontradas.

Após a realização da vistoria, todos os resultados obtidos serão organizados de forma sistemática, com os registros fotográficos catalogados por elemento avaliado. Cada parte da edificação será subdividida em categorias específicas, permitindo uma análise detalhada das manifestações patológicas identificadas. Esse processo de catalogação não apenas facilita a identificação e o mapeamento das patologias, como também possibilita uma comparação entre os diferentes elementos da estrutura, auxiliando na avaliação da gravidade e na definição das intervenções necessárias. Além disso, a organização dos registros fotográficos serve como um recurso valioso para futuras referências, consultas e monitoramento das condições da edificação ao longo do tempo, contribuindo para a manutenção e preservação da sua integridade.

Figura 12 - Planta baixa de locação.



Fonte: próprio autor (2024).

Na Figura 12, demonstra uma planta baixa de locação de uma casa em que foi realizado um estudo de caso de patologia em madeira, é uma residência unifamiliar que tem uma área total de 48 m<sup>2</sup>, dividida em 4 (quatro) cômodos, no qual tem a sala de estar, cozinha, quarto 1 e quarto 2.

Com isso, será utilizada a matriz GUT, uma ferramenta que auxilia na priorização da resolução dos problemas, classificando-os segundo os critérios de gravidade, urgência e tendência. Cada um dos achados será avaliado, recebendo uma nota de 1 a 5 para cada critério, conforme demonstrado na Tabela 2. O grau crítico de cada manifestação patológica será obtido multiplicando-se as pontuações dos três critérios atribuídos.

Tabela 1- Matriz GUT.

NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não mudar nada
2	Pouco grave	Pouco urgente	Piorar em longo prazo
3	Grave	O mais rápido possível	Piorar em médio prazo
4	Muito grave	É urgente	Piorar em curto prazo
5	Extremamente grave	Precisa ser resolvido já	Piorar rapidamente

Fonte: PERIARD (2011).

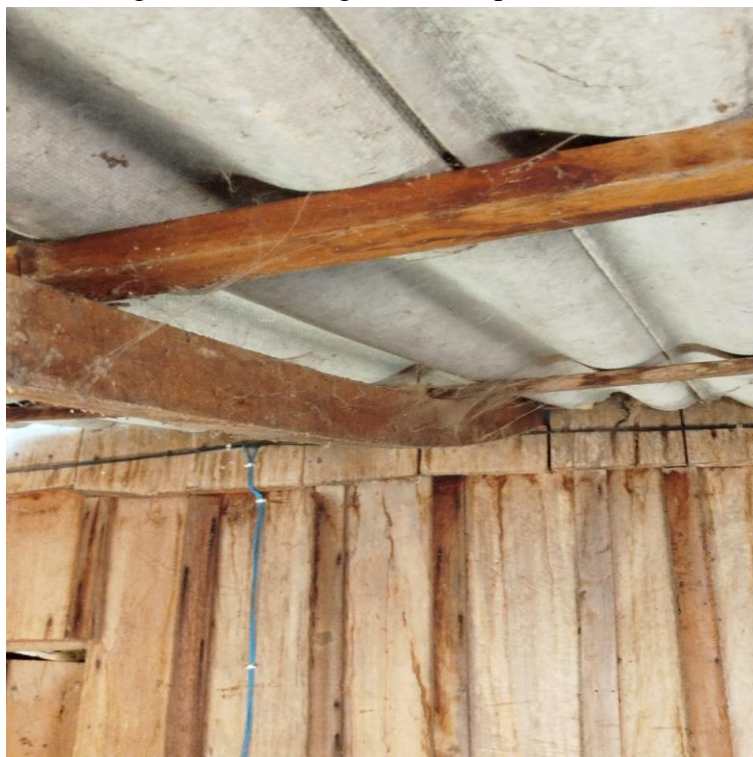
A aplicação da matriz GUT, conforme apresentado na Tabela 2, é uma ferramenta que auxiliará no diagnóstico das manifestações patológicas mais críticas encontradas na edificação. Essa matriz permite analisar e classificar os problemas de acordo com critérios de Gravidade, Urgência e Tendência, ajudando a identificar quais casos necessitam de atenção prioritária. Após a compilação dos resultados obtidos através dessa análise, será realizado um mapeamento que orientará as ações de manutenção mais adequadas para cada situação específica. Essa abordagem sistemática não só facilita a identificação de problemas mais severos, mas também assegura que os recursos disponíveis sejam alocados de forma eficaz, visando a preservação da estrutura e a minimização de danos futuros.

A referida edificação residencial está localizada na sétima travessa, quadra 04, lote 08, no bairro Maria Magdalena situada no município de Itaituba- PA. A residência tem como proprietária Sra. Marciane Benadine dos Santos, ao qual reside no local.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 13 ilustra-se uma das variações dimensionais detectadas na estrutura do telhado de madeira na parte interna da edificação, a qual levou a peça a sofrer flexão em decorrências da madeira passar por mudanças dimensionais quando seu teor de umidade se altera. Uma madeira com alto teor de umidade enfrenta uma série de problemas que comprometem suas propriedades físicas e mecânicas, resultando em uma redução significativa na resistência e na elasticidade do material. Essa umidade excessiva provoca um aumento no movimento dimensional, fazendo com que a madeira se expanda ou se contraia, o que pode gerar fissuras, empenamentos e deformações. Além disso, a umidade cria condições favoráveis para ataques de fungos, que podem causar deterioração e comprometer ainda mais a integridade da madeira. Essas alterações não apenas prejudicam a performance estrutural do material, mas também dificultam a execução de acabamentos, como pintura ou envernizamento, pois superfícies úmidas não aderem bem a produtos químicos, resultando em um acabamento de baixa qualidade e diminuindo a durabilidade dos tratamentos aplicados. Por isso, é crucial controlar a umidade da madeira para garantir sua funcionalidade e estética ao longo do tempo.

Figura 13 - Patologia causada por umidade.



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

Segundo pressupõe Rowell (2005), uma madeira com alto teor de umidade apresenta redução na resistência e elasticidade, além de maior movimento dimensional e suscetibilidade a ataques de fungos, o que dificulta a execução de acabamentos. As paredes celulares da madeira são compostas principalmente por celulose e hemicelulose, que possuem grupos hidroxila em suas estruturas, tornando-as altamente higroscópicas. Por outro lado, a lignina é predominantemente hidrofóbica. Assim, as paredes celulares da madeira têm alta espessura com a água, mas essa característica é limite.

Na Figura 14, retrata a flexão do caibro de um ângulo diferente na estrutura do telhado, destacando a presença de uma patologia visível. A flexão do caibro, que é uma viga inclinada de sustentação, pode indicar problemas estruturais como sobrecarga, falha no dimensionamento ou até deterioração. Essa patologia pode ser resultado de diversos fatores, como exposição prolongada à umidade, uso de madeira de baixa qualidade ou deficiências no projeto estrutural.

Figura 14 - Patologia causada por umidade.



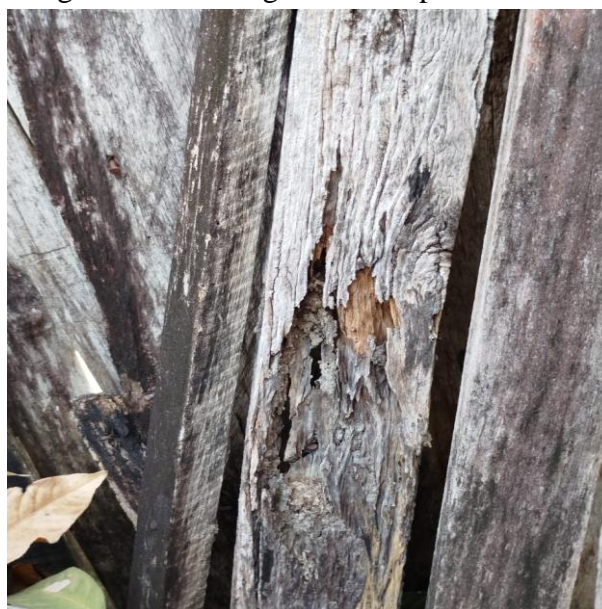
Fonte: Arquivo pessoal (2024).

Essa deformação, que ocorre quando o caibro, uma peça estrutural que suporta a cobertura, não se mantém em sua posição original, pode ser causada por diversos fatores, como sobrecarga, infiltrações de água, deterioração por fungos ou ataque de insetos. A presença dessa patologia visível sugere que o caibro está sob estresse, o que pode levar a problemas mais graves, como colapso parcial do telhado, se não for tratado adequadamente. Identificar e diagnosticar essa flexão é crucial para a implementação de intervenções corretivas, assegurando a segurança da estrutura e evitando danos adicionais no futuro.

Segundo Stangerlin (2010), vários fatores podem afetar as propriedades mecânicas, tais como: a forma e dimensões das peças, o ângulo de inclinação das fibras, a densidade, o teor de umidade, a temperatura, as características anatômicas, a composição química e o estado de degradação do material.

As propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por uma variedade de fatores que interagem de maneira complexa, afetando seu desempenho em diferentes aplicações. A forma e as dimensões das peças de madeira, por exemplo, podem alterar sua resistência a esforços de compressão e flexão. O ângulo de inclinação das fibras em relação à direção da carga aplicada também é crucial, pois fibras alinhadas com a carga tendem a suportar melhor as tensões. Outros fatores, como a densidade do material, o teor de umidade e a temperatura, desempenham papéis significativos na determinação da rigidez e da capacidade de carga da madeira. As características anatômicas, que variam entre as diferentes espécies de árvores, assim como a composição química dos componentes da madeira, como celulose e lignina, também influenciam suas propriedades mecânicas. Além disso, o estado de degradação do material, causado por fungos, insetos ou outros agentes, pode comprometer sua integridade e funcionalidade. Por essa razão, compreender a interação entre esses fatores é fundamental para o uso eficaz da madeira em projetos de engenharia e construção.

Figura 15 - Patologia causada por umidade.



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

A peça ilustrada na Figura 15, demonstrar uma estrutura de madeira que está localizada na região externa da edificação, na qual essa estrutura ressalta uma patologia causada por

excesso do teor de umidade na madeira, favorecendo a deterioração desse material. A patologia causada pelo excesso de teor de umidade na madeira é um problema significativo que favorece a deterioração desse material, comprometendo sua integridade estrutural e funcionalidade. Quando a madeira absorve umidade em níveis elevados, cria-se um ambiente propício para o desenvolvimento de fungos, bactérias e insetos, que se alimentam da celulose e da lignina presentes na madeira, levando à degradação biológica. Esse excesso de umidade pode resultar em apodrecimento, aparecimento de mofo e redução da resistência mecânica do material, tornando-o mais suscetível a danos. Além disso, a umidade excessiva provoca movimentos dimensionais, como empenamentos e fissuras, que prejudicam a estética e a durabilidade da madeira. Portanto, é fundamental monitorar e controlar os níveis de umidade em ambientes onde a madeira está exposta, utilizando técnicas de proteção e tratamentos adequados, para prevenir esses tipos de patologias e garantir a longevidade do material em diversas aplicações.

Na perspectiva Cruz (2001), descreve que um habitual comum de manifestações patológicas na madeira está relacionado ao contato prolongado com a água ou com elevados níveis de umidade no ambiente. Vale ressaltar que a umidade, por si só, não causa degradação da madeira, mas aumenta o risco de deterioração por certos agentes biológicos, já que esses organismos só atacam a madeira quando o teor de umidade atinge níveis específicos. Em particular, quando a madeira permanece em condições de alta umidade por longos períodos, cria-se um ambiente favorável para o ataque de fungos e térmitas subterrâneas, que se alimentam desse material.

Uma manifestação patológica comum na madeira está frequentemente associada ao contato prolongado com a água ou à exposição a elevados níveis de umidade no ambiente. Quando a madeira é submetida a essas condições, ocorre a absorção de umidade, que favorece o desenvolvimento de fungos e bactérias, resultando em problemas como apodrecimento, mofo e desintegração. Essa degradação pode comprometer não apenas a estética do material, mas também sua resistência e durabilidade, tornando-o suscetível a danos estruturais. A presença contínua de umidade cria um ambiente ideal para a proliferação de organismos patogênicos, que se alimentam da celulose e da lignina presentes na madeira, levando à sua deterioração. Portanto, é fundamental tomar medidas preventivas, como a aplicação de tratamentos protetores e a garantia de uma boa ventilação, para evitar a exposição da madeira a condições de umidade excessiva, assegurando sua integridade e prolongando sua vida útil em diferentes aplicações.

Na Figura 16, ressalta uma estrutura de madeira localizada na parte externa da edificação, a mesma está em contato direto com água, resultando processo de deterioração por apodrecimento, ou seja, variação no teor de umidade na madeira favorecer ao ataque de agentes bióticos.

A estrutura de madeira situada na parte externa da edificação está em contato direto com a água, o que resulta em um processo de deterioração por apodrecimento. Essa condição é particularmente preocupante, pois a variação no teor de umidade da madeira cria um ambiente propício para o desenvolvimento de agentes bióticos, como fungos e bactérias, que se alimentam da madeira e a degradam ao longo do tempo. A umidade constante favorece a decomposição dos componentes estruturais, como a celulose e a lignina, levando à perda de resistência e integridade da madeira. Essa deterioração pode comprometer a funcionalidade da estrutura e, se não for tratada, pode resultar em danos significativos à edificação. Portanto, é essencial implementar medidas de proteção e manutenção para evitar o contato prolongado da madeira com a água e garantir sua durabilidade.

Figura 16 - Patologia causada por umidade.



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

Para Ritter e Morrell (1990), em regiões de interface onde ocorrem ciclos de molhagem e secagem ou a exposição contínua à umidade, pode haver lixiviação de substâncias tóxicas naturais presentes no cerne e/ou de certos tipos de preservativos aplicados na madeira. Esse processo diminui a eficácia desses compostos, reduzindo a resistência da madeira à biodeterioração, especialmente ao apodrecimento causado por agentes biológicos.

Nas regiões de interface da madeira, onde ocorrem ciclos frequentes de molhagem e secagem ou onde há exposição contínua à umidade, pode ocorrer a lixiviação de substâncias tóxicas naturais presentes no cerne da madeira, bem como de determinados tipos de preservativos que foram aplicados para protegê-la. Durante os ciclos de molhagem, a água pode dissolver essas substâncias, transportando-as para o ambiente circundante. Essa lixiviação não apenas pode afetar a qualidade do solo e da água nas proximidades, mas também representa um risco à saúde humana e ao ecossistema, especialmente quando se tratam de preservativos químicos utilizados na madeira, que podem ser prejudiciais. Além disso, a lixiviação pode reduzir a eficácia dos preservativos, comprometendo a proteção da madeira contra fungos e insetos. Assim, é crucial monitorar e gerenciar a umidade em regiões de interface para minimizar esses impactos negativos e garantir a segurança ambiental e a durabilidade da madeira.

Na Figura 17, demonstra uma estrutura de madeira utilizada para sustentação do reservatório d'água, exposta às intempéries e ao peso constante da água, essa estrutura está localizada na parte externa da edificação, ao qual ressalta algumas patologias de deterioração causadas por fungos, isso pode ocorrer devido a madeira em contato frequente com água ou umidade elevada pode desenvolver fungos que causam efeitos patológicos, especialmente se não houver tratamento adequado.

Figura 17 - Patologia causada por fungos.



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

De acordo com Ritter e Morrell (1990), a umidade também oferece um meio de transporte para as enzimas que os fungos utilizam na degradação da estrutura da madeira. Quando a água penetra na madeira, ocorre o inchaço de sua microestrutura até atingir o ponto de saturação das fibras, que corresponde a cerca de 30% de teor de umidade. Nesse ponto, a água livre armazenada nas cavidades celulares da madeira torna-se uma fonte propícia para o desenvolvimento de diversos tipos de fungos responsáveis pela decomposição da madeira. Assim, o inchaço causado pela presença de água torna a celulose mais vulnerável às enzimas fúngicas, acelerando o processo de deterioração por apodrecimento.

Conforme a Figura 18, ressalta uma estrutura de madeira que apresenta sinais claros de degradação biológica, causada por fungos “manchadores”, que utilizam a celulose e a lignina como fonte de nutrientes. A superfície da madeira está descolorida, com presença de manchas escuras (fungos de mancha), que indicam colonização inicial. Logo, a madeira aparenta estar úmida, com áreas de amolecimento ou desagregação da estrutura. A descoloração da superfície da madeira, acompanhada da presença de manchas escuras provocadas por fungos de mancha, é um indicativo claro de uma colonização inicial desses organismos, sinalizando que a madeira está em processo de deterioração. Essas manchas escuras, típicas de infestações fúngicas, indicam que as condições ambientais, como a umidade elevada, estão favorecendo o crescimento dos fungos, que se alimentam dos componentes estruturais da madeira. Conseqüentemente, a madeira pode apresentar uma aparência úmida, o que agrava a situação e torna a estrutura mais vulnerável. Além disso, o surgimento de áreas de amolecimento ou desagregação é um sinal de que a integridade física do material está comprometida, resultando em perda de resistência e funcionalidade. Essa condição requer atenção imediata, pois se não tratada, pode levar a uma deterioração mais severa, com riscos à segurança e à durabilidade da madeira em aplicações diversas. Portanto, intervenções rápidas, como a remoção dos fungos e a aplicação de tratamentos adequados, são essenciais para restaurar a saúde da madeira e prevenir danos adicionais.

Figura 18- Patologia causada por fungos.



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

Segundo Martins (2009) afirma que os esporos podem permanecer inativos por muitos anos em edificações, sem apresentar sinais visíveis, resistindo à desidratação enquanto esperam por condições adequadas para se desenvolverem. Dentre todas as condições favoráveis, o nível de umidade é o fator mais determinante para o surgimento de fungos. Diversas causas podem contribuir para o aumento da umidade, como infiltrações de água provenientes do contato com o solo, má conservação de telhados, vazamentos em tubulações, além de ventilação insuficiente ou ausente dentro da construção.

Na Figura 19, ressalta uma estrutura de madeira que exhibe múltiplas galerias associadas à infestação por cupim de madeira úmida. A madeira atacada apresenta fragilidade ao toque, com seções visivelmente ocas e paredes de galerias lisas. Manchas escuras e inchaços são visíveis em áreas afetadas, sugerindo a presença concomitante de fungos de decomposição. A integridade estrutural da madeira foi severamente comprometida, com risco iminente de colapso nas seções de maior carga. A madeira que foi atacada por organismos deterioradores demonstra uma fragilidade significativa ao toque, indicando que sua integridade estrutural está comprometida. Esse tipo de dano é frequentemente acompanhado por seções visivelmente ocas, resultado da perfuração causada por insetos, como cupins, que criam galerias em seu interior. Essas galerias são caracterizadas por paredes lisas, um sinal de que os insetos estão se alimentando da madeira de forma intensa, removendo material e criando um espaço oco que enfraquece ainda mais a estrutura. Além disso, a presença de manchas escuras e inchaços na superfície da madeira sugere a atuação de fungos ou a ocorrência de umidade excessiva, que

favorecem a degradação e o apodrecimento do material. Essa combinação de sinais é alarmante, pois não apenas afeta a estética da madeira, mas também a torna altamente suscetível a falhas e colapsos, exigindo uma avaliação urgente e intervenções corretivas para restaurar sua funcionalidade e garantir a segurança de quaisquer estruturas que dependam dela.

Figura 19 - Patologia causada por cupins.



Fonte: Arquivo pessoal (2024).

De acordo com Ritter e Morrell (1990), as espécies de cupins de madeira úmida precisam de madeira com um teor de umidade extremamente elevado para sobreviver, e seu ataque está frequentemente relacionado à decomposição. Esses insetos podem causar danos em madeiras recém-cortadas, postes e qualquer madeira não tratada que esteja em contato com o solo. Os túneis construídos pelos cupins de madeira úmida são relativamente grandes, mas, assim como os cupins subterrâneos, tendem a evitar atacar a madeira de verão.

As espécies de cupins de madeira úmida são especialmente adaptadas para viver em ambientes com um teor de umidade extremamente elevado, o que é essencial para sua sobrevivência. Esses insetos tendem a atacar madeiras que já estão em processo de decomposição, pois a umidade facilita a deterioração do material, tornando-o mais acessível e nutritivo. Assim, o ataque de cupins de madeira úmida é frequentemente observado em madeiras recém-cortadas, postes e em qualquer tipo de madeira não tratada que esteja em contato direto com o solo. A presença de umidade nessas madeiras cria um ambiente propício para a infestação, permitindo que os cupins se alimentem e se multipliquem. O dano causado por esses insetos pode ser significativo, comprometendo a integridade estrutural e a durabilidade dos materiais, além de representar um desafio para a preservação da madeira em

construções e outras aplicações. Portanto, medidas de controle e proteção são essenciais para prevenir a infestação e prolongar a vida útil das madeiras expostas a essas condições.

Na Tabela 3, apresenta-se a pontuação dos achados relacionados às manifestações patológicas identificadas na edificação do estudo, disposta de forma decrescente.

Tabela 2 - Matriz GUT das manifestações patológicas representadas em cada foto.

Fotos	Gravidade	Urgência	Tendência	Grau Crítico
31	5	5	5	125
30	5	5	4	100
29	4	5	5	100
33	4	5	4	80
27	3	4	2	24
28	3	4	2	24
32	3	3	2	18

Fonte: próprio autor (2024)

A apresentação da pontuação dos achados relacionados às manifestações patológicas identificadas na edificação do estudo é organizada de forma decrescente, o que significa que as anomalias mais graves ou impactantes aparecem primeiro na lista. Esse tipo de organização facilita a visualização e a priorização dos problemas que precisam ser abordados, permitindo que os responsáveis pela manutenção ou recuperação da edificação concentrem seus esforços nas questões mais críticas. A classificação dos achados de maneira decrescente não só destaca a gravidade de cada manifestação patológica, mas também ajuda na elaboração de um plano de ação eficaz para a intervenção, visando à preservação da estrutura e à segurança dos ocupantes.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo foi realizado com o objetivo de analisar os efeitos patológicos em uma residência localizada na cidade de Itaituba, no estado do Pará, levando em consideração diversos fatores que podem contribuir para a origem dessas patologias. A investigação envolveu uma observação cuidadosa das condições da edificação, bem como das circunstâncias ambientais e estruturais que podem influenciar a deterioração da madeira. Nesse contexto, a matriz de GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) desempenhou um papel crucial na análise, pois forneceu uma estrutura para categorizar e priorizar os dados obtidos das observações empíricas. Com essa matriz, foi possível avaliar a gravidade dos problemas identificados, a urgência de suas intervenções e a tendência de agravamento, permitindo assim uma compreensão mais clara dos desafios enfrentados pela residência e fundamentando a elaboração de recomendações para ações corretivas e preventivas adequadas.

A pesquisa chegou à conclusão de que os fatores patológicos, tanto internos quanto externos, são resultantes da ausência de um tratamento adequado e das condições do local onde a estrutura está situada. Compreender de forma clara e detalhada cada um dos agentes causadores dessas patologias é fundamental para garantir um tratamento eficaz. Isso não apenas reforça a importância das práticas construtivas corretas, mas também assegura a segurança e o bem-estar de todos os habitantes da edificação. Além disso, a identificação e análise dessas condições permitem a implementação de estratégias de manutenção e prevenção mais eficazes, contribuindo para a longevidade das estruturas e a proteção dos usuários. Portanto, é essencial investir em conhecimento e em ações que visem a mitigação dos riscos associados a esses fatores patológicos, promovendo ambientes mais seguros e saudáveis.

Desse modo percebe-se a que os agentes patológicos bióticos são intrinsecamente ligados a prática construtiva como o tratamento adequado da madeira, sendo este um fator primordial para a adequação correta de aditivos que permitem a proteção adequada do referido material em estudo.

Assim, observa-se que os agentes patológicos bióticos estão intimamente relacionados às práticas construtivas, especialmente no que diz respeito ao tratamento adequado da madeira. Esse tratamento é um fator crucial, pois a aplicação correta de aditivos e preservantes é essencial para garantir a proteção da madeira contra organismos prejudiciais, como fungos e insetos. Sem essas medidas preventivas, a madeira se torna vulnerável a ataques bióticos, o que pode resultar em deterioração e perda de integridade estrutural ao longo do tempo. Portanto, investir em

técnicas de tratamento eficazes e na escolha apropriada de aditivos é fundamental para prolongar a vida útil da madeira e assegurar que as construções mantenham sua funcionalidade e segurança, minimizando os riscos associados a danos patológicos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747:2020**. Inspeção predial: Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:2012**. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2012.
- ABRAMI et al. **Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites: Chapter 2 - Bacterial wood decay in Europe**. Final report. EVK4-CT-2001-00043. BACPOLES. Wageningen, Netherlands, 2005.
- ALCAROL. A. C. **Stone Ideias. Com. Revista Internacional para Arquitetura, Arte e Design**. 2014. Disponível em < <https://www.stone-ideas.com>>. Acesso em 19 mai. 2024.
- ARRIAGA, F. **Sistemas de refuerzo y consolidación en estructuras de madera**. In: **Congreso Patrimônio 2010**, 14 a 16 de abril de 2010, Porto, Portugal.
- ARRIAGA, F.; PERAZA, F.; ESTEBAN, M.; BOBADILLA, I.; GARCÍA, F. (2002). **Intervención en estructuras de madera**. ISBN: 84-87381-24-3. Editora AITIM Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, Madrid, España.
- BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- BRITO, L. D.; CALIL JR., C. **Técnicas de inspeção visual (NDT) para avaliações das manifestações patológicas na estrutura de madeira roliça da “Ponte Fazenda Yolanda” em São Carlos, Brasil**. 17 f. Anais In: IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. João Pessoa, 2013.
- CAMILO, L. **Propriedades Botânicas da Madeira**. 2018. Disponível em: < <https://student.ilang.com>> Acesso em: 20 de fev. de 2024.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.
- CÓIAS, V. **Qualificação dos profissionais e das empresas para a qualidade na reabilitação de estruturas de madeira**. CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero – Latino Americano da Madeira na Construção. Coimbra, Portugal, 2011.

CRUZ, H. (2001). **Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira. II Curso Livre Internacional de Patrimônio**. Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico; Fórum UNESCO Portugal. Santarém, fevereiro/março de 2001.

DIAS, A. A.; CALIL JR., C.; LAHR, F. A. R. **Sistemas estruturais I: arquitetura e urbanismo - estruturas de madeira**. Notas de aula SET 177, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

ELEOTÉRIO, E. S. R. **Levantamento e identificação de cupins (insecta: isoptera) em área urbana de Piracicaba, SP**. 101 f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

FREITAS, R. R. **Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira aplicado ao Estado de São Paulo**. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.

GARCIA, M. **Blog Restauro da Madeira**. Disponível em: <<http://restauromadeira.blogspot.com/2006/09/podrido-cbica.html>>. Acesso em 18 mai. 2024.

HIGHLEY, T. L.; SCHEFFER, T. **Controlling decay in waterfront structures. Evaluation, Prevention, and Remedial Treatments**. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. FPL-RP-494. Madison, WI, United States, 1989.

KLOCK, et al. **Química da Madeira**. 10 f. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfG1QAD/apostila-qu-mica-madeira>>. Acesso em 15 mai. 2024.

KUMODE, M. M. N. **Análise das causas da deterioração precoce dos postes de madeira tratada na Ilha do Mel**. 108 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

LEPAGE, E.; SALIS, A. G.; GUEDES, E. C. R. **Tecnologia de proteção da madeira**. 225 f. São Paulo: Montana Química, 2017.

LOSGDON, N. B.; CALIL JUNIOR, C. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 18, p. 77- 107, 2002.

MARTINS, S. F. M. F. **Estruturas de madeira - Inspeção e diagnóstico. Aplicação em Caso de Estudo. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil - Área de Especialização Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção** - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

MARTINS, J. F. A; FIORITI, C. F. **Avaliação de manifestações patológicas identificadas nas estruturas em madeira do centro de eventos IBC (Instituto Brasileiro do Café).** REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [S. l.], v. 12, n. 3, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/39267>. Acesso em: 23 abril. 2024.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação.** 58 f. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1988.

MILANI, C. J.; KRIPKA, M. **A Identificação de Patologias em Pontes de Madeira: Diagnóstico Realizado no Sistema Viário do Município de Pato Branco – Paraná.** REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [S. l.], v. 4, n. 1, 2012. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/17726>>. Acesso em: 20 maio. 2024.

MORENO, J. **Blog Deck Universal.** 2013. Disponível em: <<http://deckuniversal.blogspot.com/2013/>>. Acesso em 19 mai. 2024.

MONTANA QUÍMICA. Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Guia-da-Madeira/Tratamento/Agentes-Biodeterioradores>>. Acesso em 21 mai. 2024.

PERIARD, G. **Matriz GUT: Guia completo.** [S. l.], 3 nov. 2011. Disponível em: <http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>. Acesso em: 19 mai. 2024.

RITTER, M. A.; MORRELL, J. J. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. Chapter 13: Bridge Inspection for Decay and Other Deterioration.** United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. United States, 1990.

RODRIGUES, M. A. S.; SALES, J. C. **A madeira e suas patologias. Estudo de caso: Igreja Nossa Senhora das Mercês – Itapipoca/CE.** 15 f. Anais In: IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. João Pessoa-PB, 2013.

ROWELL, Roger M. **Handbook of wood chemistry and wood composites.** CRC press, 2005.

SOUZA, V. C. M. de.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998, 255p

STANGERLIN, Diego Martins, et al. **Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade**. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), 2010.