Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]AVALIAÇÃO DAS REGIÕES DOS APOIOS DA ESTRUTURA DE TELHADO EM MADEIRA EM UMA EDIFICAÇÃO HISTÓRICA

Assessment of Bearing Regions for the Wooden Roof Structure in a Historical Building

Cassiano Souza
Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT | São Paulo, SP | cassianos@ipt.br

Ricardo G. F. N. B. Pereira
Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT | São Paulo, SP | rpereira@ipt.br

Takashi Yojo
Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT | São Paulo, SP | yojos@ipt.br

Gonzalo A. C. Lopez
Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT | São Paulo, SP | gonzalo@ipt.br

RESUMO

O uso de madeira serrada em estruturas de telhado é predominante no Brasil, desde o período colonial até os dias atuais. A necessidade da realização de inspeções técnicas nestas estruturas para a verificação da integridade do madeiramento, considerando a possibilidade de ataque por organismos xilófagos ou a presença de defeitos mecânicos é fundamental para a manutenção do sistema construtivo. Este trabalho apresenta a avaliação dos elementos de madeira constituintes de um telhado, nas suas regiões de apoio, em uma edificação histórica, localizada no Estado de São Paulo, considerando-se análise visual, avaliação mecânica e o uso de um resistógrafo para avaliação da presença de cavidades internas às peças. Todos os 26 apoios estavam engastados na alvenaria. Sem a realização das janelas de inspeção, cerca de 54% dos apoios poderiam ter sido considerados deterioração nível leve e 15% com nível destruído. Após a abertura das janelas, 11,5% dos apoios foram considerados com nível leve e cerca de 54% com nível destruído. O resistógrafo foi utilizado em peças que apresentavam sinais de ataque de cupins, identificando 10 peças com deterioração interna. Demonstra-se, assim, a importância a criação de janelas de inspeção para avaliação adequada de peças de madeira engastadas.

Palavras-chave: Estrutura de telhado; madeira; janela de inspeção; biodeterioração.

ABSTRACT

The use of sawn timber in roof structures has been predominant in Brazil from the colonial period to the present day. The need for technical inspections of these structures to verify the integrity of the timber, considering the possibility of attack by wood-destroying organisms or the presence of mechanical defects, is essential for the maintenance of the construction system. This work presents the evaluation of the wooden elements that make up a roof, in its bearing regions, in a historic building located in the state of São Paulo, considering visual analysis, manual mechanical evaluation and the use of a resistograph to evaluate the presence of cavities inside the pieces. All 26 supports were embedded in masonry. Without the inspection windows, some 54% of the supports could have been considered to have a slight deterioration and 15% a destroyed level. After the inspection windows were opened, 11.5% of the supports were considered to have a slight level of deterioration and around 54% to have been destroyed. The resistograph was used on pieces that showed signs of termite attack, identifying 10 pieces with internal deterioration. Consequently, the necessity of establishing inspection windows for the effective evaluation of timber components is demonstrated.

Keywords: *Roof structure; wood; inspection window; biodeterioration.*

[1]Souza, C.; et al. Avaliação das regiões dos apoios em uma edificação histórica com estrutura de telhado em madeira. In: V WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2025. Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

1 INTRODUÇÃO

Diversos materiais podem ser utilizados na construção civil, dentre eles a madeira, um dos mais antigos materiais empregados, que apresenta diversas vantagens em termos de características mecânicas, facilidade de manuseio e estética e, principalmente, por também ser um recurso renovável.

Historicamente, os telhados das construções no Brasil apresentam características dos telhados coloniais portugueses, com telhas cerâmicas sustentadas por estruturas descontínuas de madeira serrada. A treliça tipo Howe é a mais empregada em estruturas de telhado residenciais no Brasil, sendo indicada para vencer vãos de 6 a 20 metros. Dentre as madeiras mais utilizadas em estrutura de treliça destacam-se a peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*, Apocynaceae) e o pinho brasileiro (*Araucaria angustifolia*, Araucariaceae), principalmente na região centro-sul do Brasil. Atualmente, outras espécies têm ocupado este papel, inclusive madeiras provenientes de reflorestamento, como no caso do eucalipto (*Eucalyptus* spp., Myrtaceae) (MOLITERNO, 2010).

Como qualquer material, o correto uso da madeira depende de projeto e execução adequados, que levem em conta suas características físicas, mecânicas e biológicas. Sendo um material biológico, a madeira é susceptível à biodeterioração por agentes bióticos (tais como, fungos, cupins e brocas de madeira), mas também abióticos (como intemperismo e biodeterioração química) (SHUPE et al., 2008). Assim, inspeções e manutenções preventivas e periódicas são essenciais para proteção e preservação de edificações.

Quando se considera projetos com estruturas de madeira, já existem Normas Técnicas nacionais e internacionais e uma série de pesquisas científicas sobre o assunto (ABNT NBR 7190, ABNT NBR 16143). Contudo, poucos são os trabalhos a respeito de metodologias de inspeção e diagnóstico de estruturas de madeira danificadas, que possam indicar a segurança da edificação. Considerando as informações existentes na ABNT NBR 16143 - Preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso (ABNT, 2024), peças de madeira que apresentem alguma porção engastada na alvenaria são classificadas como Categoria 5, ou seja, apresentam alto risco de biodeterioração e sua avaliação é de extrema importância. Neste contexto, o presente estudo avaliou os vigamentos (barras) das estruturas de treliça nas regiões de apoio através do uso de técnicas não destrutivas para detecção de manifestações patológicas, considerando-se avaliações visuais, de punção com uso de sovela para avaliação externa das peças de madeira e o uso de um resistógrafo, para avaliação interna das peças e identificação da presença de cavidades, em uma estrutura de telhado, de uma edificação histórica localizada no estado de São Paulo, Brasil.

2 METODOLOGIA

A avaliação do madeiramento da estrutura de telhado foi realizada utilizando três etapas: avaliação visual, avaliação mecânica manual e avaliação mecânica instrumentada. Considerando que as regiões de apoio das treliças estavam engastadas na alvenaria, foram realizadas janelas de inspeção laterais para avaliação dos elementos.

Além disso, pequenos segmentos, medindo cerca de 3,5 cm x 1,5 cm x 2,0 cm, foram retirados de peças constituintes das tesouras para realização da identificação botânica da madeira pelo processo de anatomia do lenho.

2.1 Avaliação visual

A avaliação visual é a primeira a ser executada em uma estrutura e dispensa o uso de ferramentas. Ela permite identificar, de forma expedita, a presença de defeitos mecânicos, físicos, deslocamentos ou biodeterioração das peças da estrutura. A partir dessa avaliação é possível direcionar os esforços para a realização das avaliações mecânicas.

2.2 Avaliação mecânica manual

A avaliação mecânica manual é realizada com uso de uma ferramenta pontiaguda (sovela) para identificar e caracterizar a biodeterioração causada por organismos xilófagos (fungos, cupins e brocas) na seção externa dos componentes da estrutura, além de defeitos mecânicos (cisalhamentos e fendilhamentos). Uma vez

identificado um processo de biodeterioração remove-se o material degradado, para delimitar a seção residual sadia dos componentes, visando sua quantificação para a análise da segurança estrutural.

2.3 Avaliação mecânica instrumentada

A avaliação mecânica instrumentada é realizada com um resistógrafo (IML System GmbH, PD400), um equipamento de avaliação não-destrutiva que correlaciona a densidade da madeira e a taxa de resistência à perfuração da ponta de uma broca de 2 mm de diâmetro, com velocidade de avanço e rotação da broca controladas. Esse equipamento foi inicialmente desenvolvido para avaliações de árvores de florestas plantadas, sendo útil para avaliações de deteriorações internas.

A análise da deterioração das peças é feita por um software (PD-Tools Pro, IML System GmbH) do equipamento, que quantifica a porcentagem de deterioração ou presença de cavidade.

Os resultados podem ser visualizados no diretamente no display do equipamento no momento da medição ou, posteriormente, via software. Peças sem deterioração interna apresentam resistência uniforme ao longo de sua seção transversal, ao passo que uma peça com presença de cavidade apresenta uma queda abrupta da resistência interna.

O uso desse equipamento é recomendado em peças em que o acesso seja dificultado, por exemplo, regiões de engaste onde não é possível realizar uma janela de inspeção, ou naquelas que apresentem indícios de ataque de cupins, sendo uma das características de seu ataque, a criação de galerias no interior da peça, mantendo o exterior com aspecto sadio, ou mesmo intocadas.

Os componentes das tesouras que apresentaram indícios de ataque de cupins foram avaliados com o auxílio do resistógrafo para determinar a extensão do ataque em seu interior, a partir do limite entre a região de apoio e o vão livre.

2.4 Classificação da seção residual das peças

A classificação do nível de ataque das peças, a partir das informações das avaliações visual, mecânica manual e mecânica instrumentada é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação da seção residual das peças de madeira

TIPO DE PROBLEMA	DESCRIÇÃO
Defeito mecânico	Rachas (Rachaduras), rupturas (por tração e por cisalhamento)
Biodeterioração	Superficial (até 5% de redução da seção transversal)
	Leve (5% a 20% de redução da seção transversal)
	Moderado (20% a 40% de redução da seção transversal)
	Intenso (40% a 60% de redução da seção transversal)
	Muito intenso (60% a 80% de redução da seção transversal)
	Destruído (acima de 80% de redução da seção transversal)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A planta da cobertura avaliada é retangular com dimensões de 19,2 m de comprimento por 10,9 m de largura, composto por 4 treliças principais Tipo “Howe” (T1 a T4) igualmente espaçadas apoiando a cumeeira, 4 estruturas auxiliares (TA1 a TA4) e 4 diagonais (D1 a D4) nas mudanças de água para suporte dos espigões, e 2 meias-tesouras (MT1 e MT2) Tipo “Howe” modificada, localizadas no centro das águas menores, perpendiculares às tesouras principais, totalizando 26 apoios na alvenaria. Todos os apoios encontravam-se engastados na alvenaria. A cumeeira apresenta comprimento de 8,94 m.

Neste telhado, a espécie de madeira encontrada foi identificada como peroba-rosa (*Aspidosperma* sp., provável *Aspidosperma polyneuron*, Apocynaceae), que apresenta durabilidade natural moderada ao ataque de cupins e de baixa a moderada à biodeterioração por fungos apodrecedores.

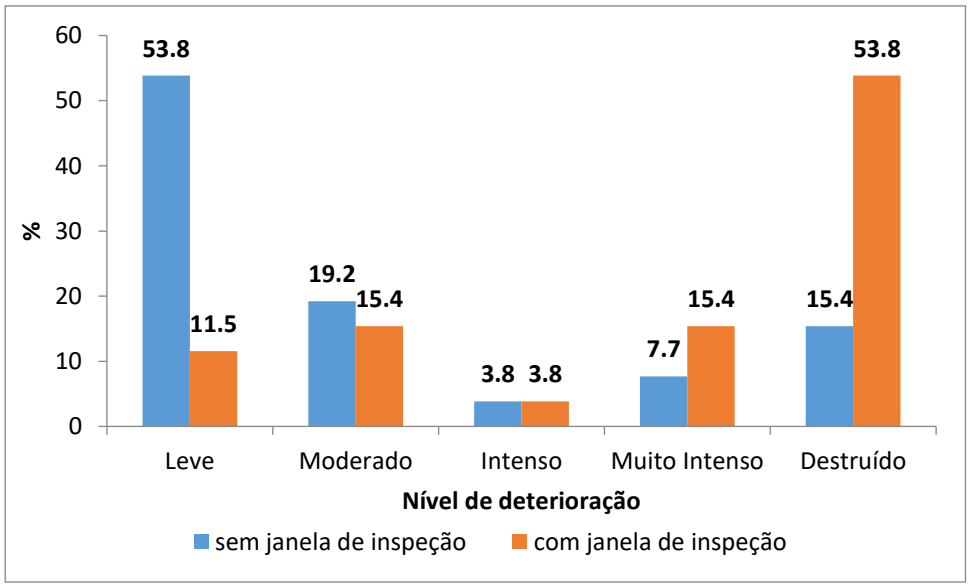
Por ser uma avalição não instrumentada, a avaliação visual, por vezes, é incapaz de quantificar adequadamente o nível de deterioração de uma peça de madeira. Na biodeterioração causada por fungos

apodrecedores, é comum que a seção deteriorada da madeira esteja ainda conectada com a porção sadia. Com a avaliação mecânica é possível remover essa porção, que já não mais apresenta função estrutural, e quantificar a porção residual com maior precisão. No caso dos insetos xilófagos, a face externa do componente de madeira pode apresentar pouco ou nenhum indício de deterioração, uma vez que esses insetos criam galerias em seu interior, sem necessariamente apresentar sinais de biodeterioração externa (SHUPE et al., 2008).

A forma como a biodeterioração se distribui no madeiramento (externamente, internamente, uniformemente distribuída ou de forma concentrada) é importante para a definição da seção residual sadia da peça e afeta diretamente a resistência mecânica do componente (YOJO et. al., 2018).

Além do uso de ferramentas para complementar a avaliação visual, a abertura de janelas de inspeção na alvenaria é essencial para a aferição da região das peças de madeira que está engastada. A Figura 1 apresenta um comparativo das respostas obtidas antes e depois da abertura de janelas de inspeção para avaliação das porções das tesouras que estavam engastadas na parede. Em alguns casos, entretanto, a deterioração foi tão severa, que toda a parte engastada da peça foi atacada resultando em deslocamento vertical; com esta identificação foi necessário de escoramento imediato da estrutura como medida emergencial, até que fosse concluída a avaliação da estrutura e indicadas as ações corretivas.

Figura 1: Classificação da deterioração do apoio das tesouras de madeira antes e depois da abertura das janelas de inspeção.

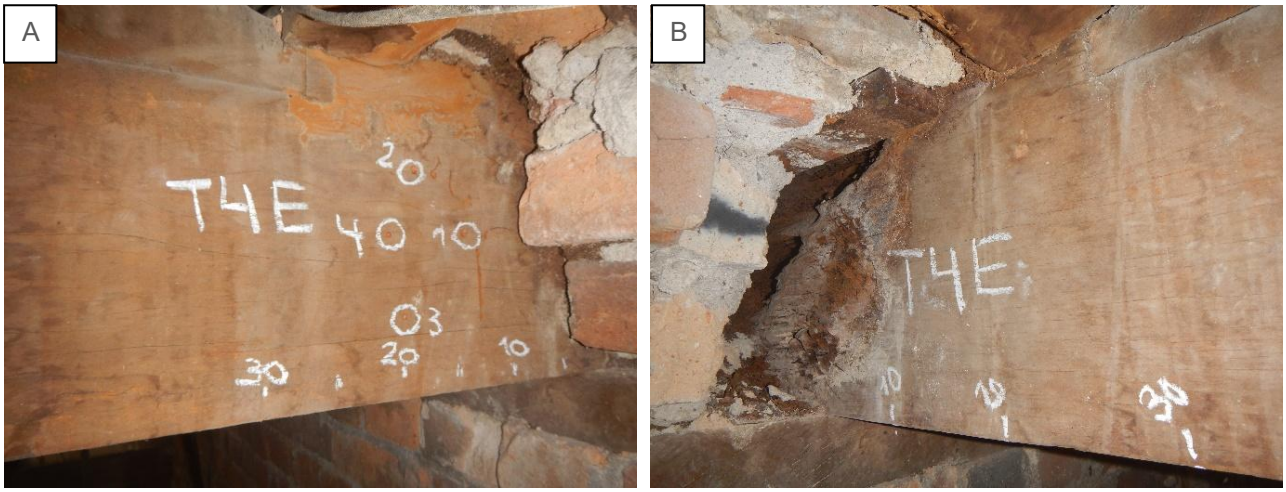


Fonte: Autores.

A condição de uso da madeira existente na estrutura da cobertura da edificação avaliada representa a Categoria 5, qual seja, da madeira em uso interior engastada em alvenaria em condição que permita o acúmulo de umidade (ABNT, 2024). O risco associado a essa categoria de uso é a possibilidade de biodeterioração por fungos apodrecedores e todos os grupos de insetos xilófagos, em especial os cupins (cupim de madeira seca, cupim subterrâneo e cupim arborícola), representando a categoria de maior risco. Para essa condição é recomendado que as espécies de madeiras utilizadas apresentem elevada durabilidade natural, ou então, que sejam tratadas para aumentar sua durabilidade aos organismos xilófagos.

A Figura 2 ilustra os riscos associados na avalição de estruturas de madeira quando não são realizadas janelas de inspeção para aferição da região de engaste das peças. Sem a janela de inspeção, verifica-se um ataque superficial de cupins subterrâneos na região da sambladura da treliça, além de alguns túneis de cupins (Figura 2A). Após a abertura da janela, constatou-se que a peça estava severamente atacada, tendo sido classificada com nível destruído (Figura 2B).

Figura 2: Apoio esquerdo da treliça T4. A) Aspecto da peça fora da área de engastamento, em que a análise sugere uma deterioração superficial. B) Após a abertura da janela de inspeção, a avaliação da peça classificou sua deterioração como destruído, representando 80% ou mais de redução de sessão transversal.



Fonte: os autores

O principal organismo responsável pela biodeterioração das treliças foi uma espécie de cupim subterrâneo (*Coptotermes gestroi*, Rhinotermitidae). Aproximadamente 70% dos apoios estavam comprometidos pelo ataque dessa espécie.

O conhecimento da forma de biodeterioração causada por cada tipo de organismo sobre as madeiras é de extrema importância durante a avaliação de uma estrutura. Fungos são organismos que necessitam que a madeira esteja úmida para que a biodeterioração ocorra. A condição de engaste dificulta a saída da água que eventualmente chegue nessa região, criando condições favoráveis para o apodrecimento da madeira. Assim, a forma mais eficaz para prevenir que a madeira apodreça é garantir que ela permaneça seca. Insetos, por outro lado, são capazes de obter água a partir de outras fontes de umidade, como no caso dos cupins subterrâneos e arborícolas, ou mesmo não precisarem de uma fonte de umidade, como os cupins de madeira seca e brocas de madeira, que conseguem obter toda água de que precisam a partir da sua alimentação.

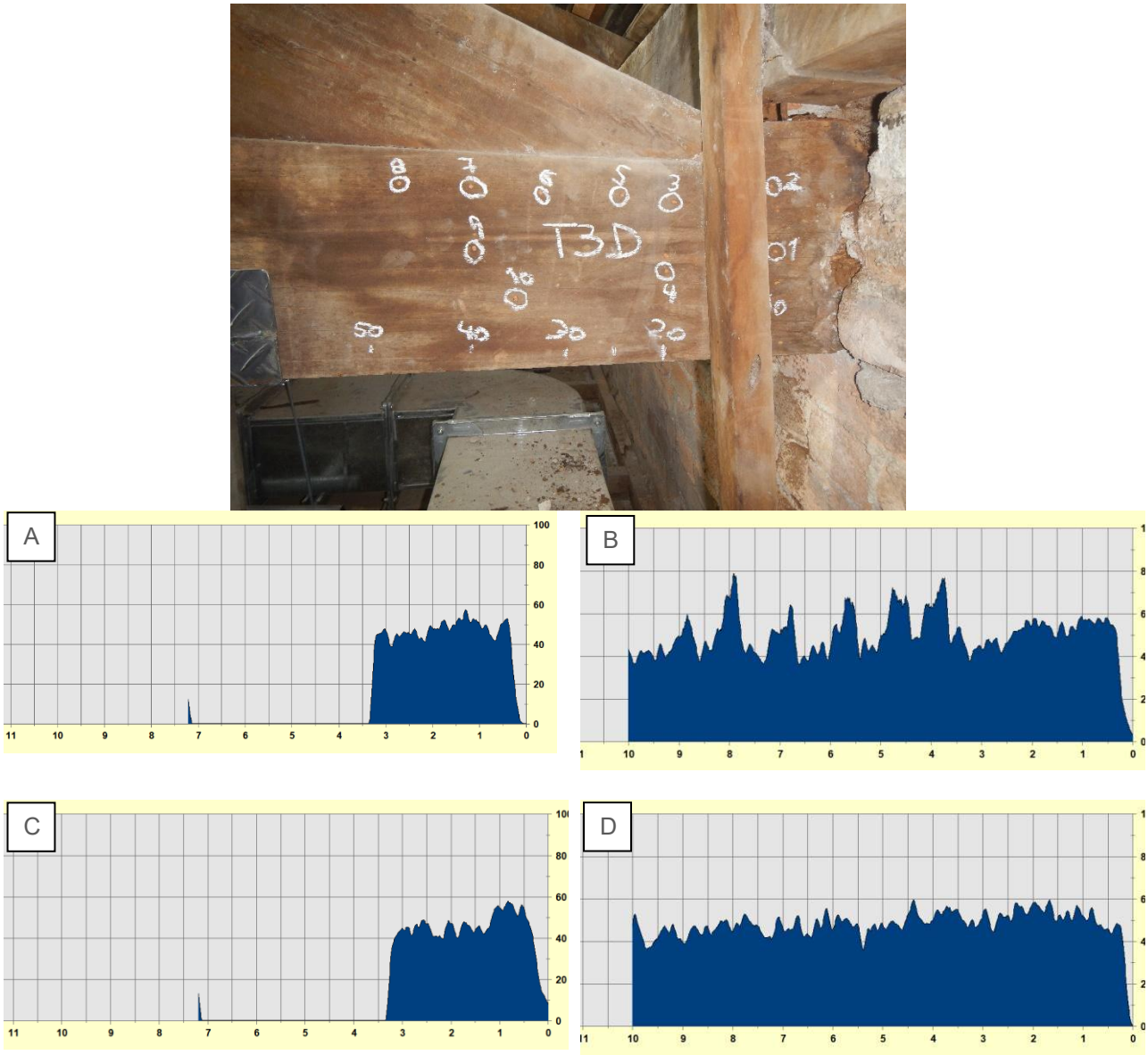
Com relação à forma de biodeterioração, o apodrecimento por fungos ocorre de fora para dentro, ou seja, ele se inicia a partir da superfície externa e pode ser reconhecida visualmente. Já os insetos criam galerias no interior das madeiras, podendo, ou não, apresentar sinais na face externa. Assim, sinais secundários que indiquem sua presença, como presença de túneis e ocorrência de resíduos próximos, devem ser considerados no momento da avaliação.

Em função da presença de ataque de cupins subterrâneos, 16 apoios das estruturas do telhado que apresentaram ataque de cupins subterrâneos foram complementarmente avaliados com o uso do resistógrafo, a fim de determinar a extensão do ataque no interior da peça. Foi verificado que em 10 componentes a deterioração causada por cupins avançava no interior da peça em pelo menos 10 cm a partir da região de apoio.

Em uma das treliças avaliadas (T3D), verificou-se que a deterioração por cupins avançava cerca de 40 cm a partir do apoio, apesar de externamente a tesoura apresentar um aspecto sadio. Entretanto, essa deterioração não ocorreu uniformemente no interior da peça, ficando restrita a região superior do banzo inferior, como verifica-se pelos resultados do resistógrafo (Figura 3). Essa situação evidencia a importância de conhecer o tipo de organismo responsável pela biodeterioração existente em uma estrutura de madeira.

Em função do pequeno diâmetro da broca do resistógrafo (cerca de 2 mm), deve-se considerar múltiplas perfurações para uma adequada avaliação, pois há chances de que a broca não passe por uma galeria de cupim em uma peça de madeira deteriorada.

Figura 3. Indicação dos locais perfurados e gráficos gerados durante a avaliação com o resistógrafo na Treliça T3. Os números na parte de baixo da tesoura indicam a distância em cm a partir do apoio na parede. A) Furo nº 3. B) Furo nº4 da tesoura. C) Furo nº7. D) Furo nº9. O Eixo X apresenta a distância (cm) percorrida pela broca.



Fonte: os autores

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram a importância da combinação das diferentes formas de inspeção (visual, mecânica manual e mecânica instrumentada) para avaliação de estruturas de madeira, bem como da realização de janelas de inspeção para peças engastadas, uma vez que esta condição representa um maior risco de deterioração da madeira.

As técnicas de avaliação mecânica manual (externa) e mecânica instrumentada (interna) são complementares e permitem estimar a redução da seção transversal das peças de maneira e sua respectiva seção residual sadia, informação fundamental para a realização do cálculo estrutural, e assim determinar o nível de segurança de componentes de madeira de uma edificação.

Além disso, reconhecer o agente responsável pela deterioração é essencial para direcionar as formas mais adequadas de inspeção e medidas a serem tomadas para evitar sua proliferação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 7190-1**: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro. ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16143:** Preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso. Rio de Janeiro. ABNT, 2024.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira:** 4ª edição revista. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2010.

SHUPE, T., LEBOW, S., RING, D. **Causes and Control of Wood Decay, Degradation and Stain**. LSU AgCenter e Research & Extension. Louisiana State University Agriculture Center, Baton Rouge, LA. Publication 2703. 27 Pages. 2008 Disponível em: https://www.lsuagcenter.com/portals/communications/publications/publications_catalog/environment/forestry/causes-and-control-of-wood-decay-degradation-and-stain. Acesso em 25 mar. 2025.

YOJO, T., SOUZA, C.O., MIRANDA, M.J.A.C., LOPEZ, G.C. **Evaluation of Strength and Stiffness of Wood Components Damaged by Xylophages.** In: Jornadas Sudamericanas de Ingenería Estructural, 38., Lima. Proceedings.,. Lima. 2018. p. 1-9.