PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: ESTUDO DE CASO DE QUATRO PASSARELAS NA CIDADE DE SÃO CARLOS – SP

C.C. SACCHI
Engenheiro Civil
Prefeitura Municipal de São Carlos
São Carlos/SP; Brasil
caio.sacchi@gmail.com

C.A.A. MOREIRA
Engenheiro Civil
DURÁTIC Engenharia Consultiva
São Carlos/SP; Brasil
m.cidarlen@gmail.com

L.D. BRITO
Engenheiro Civil
Universidade de São Paulo - USP
São Carlos/SP; Brasil
Leandro.3dr@outlook.com.br

C.C. CALIL JR
Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas - USP
São Carlos/SP; Brasil
calil@sc.usp.br

RESUMO

A intervenção numa estrutura para reabilitar começa por uma inspeção e avaliação da estrutura, em que se incluem procedimentos como o levantamento pormenorizado dos danos e a realização de ensaios, visando tomadas de decisão e medidas urgentes caso necessário. Todas estas tarefas servirão de apoio a uma segunda fase, com o objetivo de proceder à análise da situação e estudo das alternativas possíveis à intervenção, tomada de decisão e elaboração do projeto de intervenção, além de propor o acompanhamento futuro da estrutura. Desse modo, este trabalho visa identificar e caracterizar diversas manifestações patológicas que podem surgir em estruturas de madeira. Um dos objetivos foi desenvolver uma metodologia de inspeção em estruturas de madeira, utilizando ensaios não destrutivos e semidestrutivos, como inspeção visual com o auxílio de simples equipamentos manuais de medições. Foi elaborado estudo de caso com o intuito de demonstrar por meio de inspeções e ensaios técnicos a metodologia de inspeção e as principais falhas em estruturas de madeiras. Foram inspecionadas e diagnosticadas quatro passarelas em Eucalipto localizadas no município de São Carlos – SP, constatando-se o comprometimento de elementos estruturais quanto aos Estados Limites de Utilização e de durabilidade devido à ausência de conservação e manutenção periódica preventiva. Os resultados mostram manifestações patológicas presentes em todos os elementos constituintes das passarelas, demonstrando a ação da falta de inspeções periódicas.
Palavras-chave: Estruturas de Madeira. Ensaios. Inspeção. Patologias.

ABSTRACT

The rehabilitation intervention in a structure begins with inspection and evaluation, in which includes procedures as detailed damage survey and technical tests, searching for decisions or urgent measures if necessary. All of those tasks support a second step, which objective proceed to the situation analysis and the study of possible intervention alternatives, decision and intervention project, also propose the structure future monitoring. Thereby, this work tends to identify and characterize some pathological manifestation that can occur in timber structures. One goal was to develop an inspection methodology using non-destructive and semi-destructive tests, such as visual inspection with the aid of simple manual equipments. A case study was elaborated intending to demonstrate, using inspections and technical methods, the inspection methodology and the main failures presents in those timber structures. Four Eucalyptus footbridges were inspected and diagnosed in the city of São Carlos – SP, being verified the depreciation of structural elements as to Limit-state of use and durability due to the lack of preservation and periodic preventive maintenance. The results show pathological manifestations present in all the constituent elements of the walkways, demonstrating the action of the lack of periodic inspections.
Keywords: Timber Structures. Tests. Inspection. Pathologies.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos elementos mais antigos adotados pela indústria da construção para a execução de estruturas e, devido às suas propriedades e abundância, sempre foi um material bastante explorado e bastante utilizado principalmente no que diz respeito à execução de pontes e passarelas para a transposição de obstáculos, sejam eles naturais ou artificiais.

A utilização da madeira frente às estruturas de aço ou concreto tráz vantagens tanto econômicas como estéticas, e o tempo gasto para a sua execução também tende a ser menor em relação às outras metodologias construtivas. O preconceito dos profissionais no que diz respeito ao uso de estruturas com este elemento é o grau de deterioração que tem sido visto nas estruturas em madeira, o que não é justificável, uma vez que, em grande parte, o tratamento e manutenção dados a este material são inadequados.

Cruz (2001) afirma que o tempo por si só não produz depreciação das características da madeira, citando existirem estruturas com centenas ou milhares de anos que, devido às características e condições do meio ao qual estão inseridas, são capazes de manter suas características. Afirma também que a ação de deterioração é resultado de agentes físicos, químicos, mecânicos ou biológicos aos quais o material é submetido ao longo da sua vida, e ações como a extração clandestina, o armazenamento irregular e a falta de controle de qualidade que acabam por aumentar a exposição dos elementos a estes agentes.

Além das questões mencionadas, o que vemos após a execução é a falta de manutenção, falta de técnicos com conhecimento suficiente para indicar os corretos cuidados a serem tomados, a falta de recursos para os devidos cuidados e o mau uso como as principais ações deletérias nestas construções

Esta falta de cuidados leva à necessidade de reabilitação destas estruturas, mas para uma correta indicação quanto a este processo, é necessária a realização de uma inspeção detalhada com verificação das estruturas, incluindo procedimentos como levantamento pormenorizado dos danos e a realização de ensaios tecnológicos, visando uma correta tomada de decisão, tomando-se medidas urgentes quando necessário. Estes primeiros passos servirão de base para a elaboração das medidas de correção a serem adotadas e para o desenvolvimento de um manual de manutenção direcionado para estes elementos, garantindo assim a manutenção da vida útil da estrutura e segurança dos usuários durante o uso.

Brito (2014), cita em seu trabalho que atualmente para projetar estruturas de madeira no Brasil, o engenheiro estrutural conta com diversas pesquisas científicas, Normas Técnicas Nacionais e vasta literatura relacionada a esse assunto, no entanto, para suprir as necessidades de conhecimentos sobre metodologia de inspeçãoe técnicas de reabilitaçãoe reforço em elementos estruturais de madeira danificados, ou para estimar a sua capacidade portante residual, o mesmo não acontece, pois não só praticamente inexistem Normas Técnicas específicas no País, como há mesmo vários aspectos ainda bastante obscuros e que nem sequer encontram-se registrados em livros especializados em reabilitação e reforço de estruturas de madeira.

Tendo isto em vista, objetiva-se com este trabalho identificar e caracterizar a diversidade de manifestações patológicas que pode surgir em estruturas de madeira, desenvolvendo, a partir da inspeção em 4 (quatro) passarelas para pedestres existentes na cidade de São Carlos – SP. Foi utilizada uma metodologia de inspeção utilizando-se de ensaios não destrutivos e semidestrutivos, como a inspeção visual com o auxílio de simples equipamentos manuais.

Um breve histórico, mostra que os elementos inspecionados tinham idade média de 8 (oito) anos da sua implantação, tendo seu uso destinado à travessia de pedestres sobre pequenos córregos. Durante estes 8 (oito) anos de funcionamento foram realizadas pequenas intervenções, principalmente em função da segurança dos usuários, porém sem o objetivo de uma manutenção ou prolongamento da vida útil das estruturas, e sem que um técnico especializado fosse consultado para um correto direcionamento. Outro ponto relevante à avaliação é a variação na lâmina d'água dos córregos sob estas estruturas, que, em momento do ano, chegam a atingir as peças inferiores das construções.

Durante a realização das inspeções foi possível verificar a importância destas estruturas nos locais de sua construção pelo grande movimento de pessoas fazendo a travessia, e, da mesma forma, foi possível notar o desconforto e insegurança destas com as atuais condições dos elementos, mostrando assim a exigência de que manutenções preditivas e inspeções sejam feitas da maneira correta, não se utilizando apenas das manutenções corretivas, que, da forma que são feitas, têm um ganho mínimo no tempo de utilização das construções.

2. METODOLOGIA

Para as inspeções "in loco" foram utilizadas técnicas não destrutivas (NDT), fundamentadas essencialmente na técnica inspeção visual aliada à levantamentos detalhados realizados "in loco", com auxílio de simples equipamentos manuais de medições. A metodologia utilizada visa identificar e avaliar as condições atuais dos principais elementos de madeira e de seus respectivos elementos de ligações que constituem todo sistema estrutural e construtivo destas passarelas de pedestres.

Diante das avaliações e levantamentos técnicos realizados foram identificadas as principais manifestações patológicas presentes nestas estruturas, verificando-se com evidência na presença de proliferação de fungos manchadores, emboloradores, mas principalmente na evidência de ataques de fungos apodrecedores, em regiões pontuais nas longarinas principais, constituídas por vigas roliças de seção transversal simples.

Além disso, as peças secundárias do tabuleiro e dos guarda-corpos apresentam problemas evidentes, que apesar de não impactarem diretamente na resistência e rigidez da estrutura em si, expõem seus usuários ao risco eminente quanto à segurança. O conforto foi outro ponto levado em consideração na análise, uma vez que as vibrações excessivas podem gerar sensação de insegurança aos usuários.

3. RESULTADOS

3.1 Passarela 1 – Avenida Comendador Alfredo Maffei, 700.

Passarela situada na Avenida Comendador Alfredo Maffei próximo ao nº 700, na zona oeste da cidade de São Carlos – SP, tendo sua construção justificada pela travessia de pedestres sobre o Córrego Gregório.

Sua estrutura é constituída por três vigas de madeira roliça com toras com características visuais de *Eucalyptus citriodora*. A Figura 1, a seguir, mostra o aspecto geral da passarela na data da inspeção.

Figura 1 – Aspecto geral da passarela inspecionada.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Durante as inspeções realizadas, foi possível verificar que nas regiões em geral propensas à retenção de umidade, foi detectada intensa degradação do alburno, expondo o cerne a intempéries, onde são evidenciadas perdas excessivas da seção transversal (aproximadamente 5cm), impactando diretamente na perda efetiva de resistência nestas vigas estruturais, ocasionando flechas excessivas perceptíveis visualmente, como mostrado na Figura 2 mostrada abaixo.

Figura 2 – Detalhe dos elevados níveis de biodeterioração detectados nas vigas roliças longitudinais.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Além dos elementos estruturais, foram verificados também os elementos funcionais, como guarda-corpos, tabuleiro e bancos. No tabuleiro foram evidenciados a presença de gramíneas entre as peças serradas de madeira, nos guarda-corpos, foram verificados espaçamentos excessivos entre longarinas de proteção, ruptura em montante, e peças soltas e quebradas, assim como nos bancos destinados ao descanso dos usuários. A Figura 3 abaixo procura mostrar estes problemas relatados.

Figura 3 – Condições do tabuleiro, guarda-corpos e bancos.



Fonte – Imagem autoral, 2017.

Notou-se, também um princípio de ações erosivas nas proximidades das fundações deste elemento, como mostrado na Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Evidências da ocorrência de ações erosivas próximas às fundações.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Na Tabela 1, mostrada a seguir, as ocorrências levantadas são colocadas de forma resumida, mostrando de forma simplificada os elementos e as respectivas manifestações encontradas.

Tabela 1 – Passarela 1: Tabela resumo dos itens levantados em inspeção.

Problemas estruturais detectados
Deformações aparentemente elevadas
Grandes vibrações
Uma das vigas longarinas sofreu elevada deterioração
Algumas peças do tabuleiro estão com elevada deterioração

Problemas de funcionalidade detectados
Grande espaçamento entre as peças do tabuleiro
Parapeitos com elevada deterioração e instabilidade física
Bancos com elevada deterioração e grandes vibrações

Fonte: Tabela autoral, 2017.

3.2 Passarela 2 – Avenida Comendador Alfredo Maffei, 1310.

Passarela situada na Avenida Comendador Alfredo Maffei próximo ao nº 1310, na zona oeste da cidade de São Carlos – SP, tendo sua construção justificada pela travessia de pedestres sobre o Córrego Gregório.

Sua estrutura é constituída por quatro vigas de madeira roliça com toras com características visuais de *Eucalyptus citriodora*. A Figura 1, a seguir, mostra o aspecto geral da passarela na data da inspeção.

Figura 4 – Aspecto geral da passarela inspecionada.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Durante as inspeções realizadas, foi possível detectar biodeterioração da longarina principal, com aparecimento de orifícios, que evidenciam aspecto visual de proliferação de insetos e apodrecimento da madeira, causando elevada deformação flecha excessiva no vão central da estrutura da passarela, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – a) biodeterioração das longarinas principais; b) presença de flecha devido à biodeterioração.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Além dos elementos estruturais, foram verificados também os elementos funcionais como guarda-corpos, tabuleiro e bancos. As condições de uso dos guarda-corpos se mostraram péssimas, ficando evidente a ausência de peças, assim como vãos excessivos entre as mesmas, demonstrando falta de manutenções nestes elementos. A Figura 6 evidencia estas ocorrências.

Figura 6 – Condições do guarda-corpo e tabuleiro.



Fonte – Imagem autoral, 2017.

Notou-se, também um princípio de ações erosivas nas proximidades das fundações deste elemento, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Evidências da ocorrência de ações erosivas próximas às fundações.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Nesta passarela foi possível uma verificação dos apoios, mostrando a intensa erosão presente nestes elementos, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Erosão sob os apoios.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Na Tabela 2, mostrada a seguir, as ocorrências levantadas são colocadas de forma resumida, mostrando de forma simplificada os elementos e as respectivas manifestações encontradas.

Tabela 2 – Passarela 2: Tabela resumo dos itens levantados em inspeção.

Problemas estruturais detectados
Guarda-corpo em péssimo estado
Elevada erosão próxima à fundação
Grandes vibrações
Biodeterioração elevada com aspecto de ação de insetos

Problemas de funcionalidade detectados
Grande espaçamento entre as peças do tabuleiro (piso)
Parapeitos com elevada deterioração, instabilidade física e peças faltando
Bancos com elevada deterioração e grandes vibrações

Fonte: Tabela autoral, 2017.

3.3 Passarela 3 – Parque do Bicão.

Passarela situada no Parque do Bicão, na região oeste da cidade de São Carlos – SP, fazendo a ligação entre a Avenida Maria Consuelo Brandão Tolentino, nº 212 e a Avenida Cícero Soares Ribeiro, nº 273.

Sua estrutura é constituída por duas seções bicirculares de madeira roliça com toras de *Eucalyptus citriodora*. A Figura 9, a seguir, mostra o aspecto geral da passarela na data da inspeção.

Figura 9 – Aspecto geral da passarela inspecionada.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Notou-se, que todas as peças do tabuleiro haviam sido substituídas pouco antes da realização das inspeções por madeira de espécie não identificada com algum tratamento superficial por pintura de protação. Esta pintura foi também foi aplicada, após lixamento, sobre as peças dos guarda-corpos, bancos e pergolado. As peças estruturais não sofreram intervenção, visto a presença de fungos manchadores e emboloradores, indicando ausência ou ineficácia de manutenções preventivas. Este fato é facilmente verificado pela diferença de coloração das peças tratadas em relação àquelas mantidas, como é possível notar na Figura 10.

Figura 10 – Detalhe da diferença de coloração entre as peças que receberam lixamento e tratamento e aquelas mantidas após a intervenção realizada.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Não existem relatos de intervenções anteriores, ou detalhes desta intervenção, mas como recomendação, deve-se fazer o lixamento superficial das peças com tratamento adequado e posterior aplicação de pelo menos 3 (três) demãos de pintura à base de “stain fungicida hidro-repelente”, em conformidade com as especificações técnicas do fabricante.

Diferente das estruturas verificadas anteriormente, esta é composta por mais de um vão, estando estes apoiados sobre pórticos em concreto armado sobre estacas. Em um destes vãos, constituído por uma pérgula de madeira, notou-se a presença de flecha decorrente de fluência, observando-se também a

existência de possível técnica de reabilitação das vigas de seção bicircular com chapas metálicas galvanizadas fixadas através de parafusos roscados passantes, arruelas e porcas, como é mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Presença de flecha decorrente de fluência, observando-se também a existência de possível técnica de reabilitação das vigas de seção bicircular



Fonte: Imagem autoral, 2017.

De acordo com os critérios de dimensionamento da NBR 7190 (ABNT, 1997), é recomendada a adição de mais parafusos nas ligações desta região em específico. A segurança das ligações com auxílio de elementos de aço deve ser verificada de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008).

Nas fundações foi evidenciada a notável ocorrência de erosões de solo nas proximidades dos blocos e estacas, podendo este fato, ser evidência de deficiência dos sistemas de drenagem na região.

Figura 12 – a) e b) Evidências da ocorrência de ações erosivas próximas às fundações.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

A fixação entre as vigas bicirculares e os pórticos em concreto armado é realizada por peças metálicas na forma de “U”, nas quais foi verificada a ausência de parafusos, arruelas e porcas, conforme critérios normativos da NBR 7190/1997. Também foi verificada execução ineficiente de anéis metálicos de solidarização entre vigas de seção bicircular de *Eucalyptus*, como mostra a Figura 13 a seguir.

Figura 13 – a) falta de ligações; b) falta de arruelas e porcas; c) anel metálico ineficiente.



Fonte – Imagem autoral, 2017.

Na Tabela 3, mostrada a seguir, as ocorrências levantadas são colocadas de forma resumida, mostrando de forma simplificada os elementos e as respectivas manifestações encontradas.

Tabela 3 – Passarela 3: Tabela resumo dos itens levantados em inspeção.

Problemas estruturais detectados
Elevada erosão próximo às fundações
Presença de flechas por fluência no vão com a sobrecarga do pergolado
Aplicação incorreta de possível técnica de reabilitação
Ligações ineficientes nas mudanças de material

Problemas de funcionalidade detectados
Peças do tabuleiro desniveladas (piso)
Peças do guarda-corpos com peças biodegradasdas

Fonte: Tabela autoral, 2017.

3.4 Passarela 4 – Alameda das Violetas, 430.

Passarela situada na Alameda das Violetas, próximo ao nº 430, na cidade de São Carlos – SP, sendo sua utilização baseada na travessia de pedestres entre a Alameda das Violetas e a Avenida Liberdade.

Sua estrutura é constituída por duas vigas de madeira roliça de madeira não identificada visualmente. A Figura 14, a seguir, mostra o aspecto geral da passarela no momento da inspeção. Vale destacar, que na localização desta passarela há registros históricos de alagamentos, inclusive com rupturas de sua estrutura.

Figura 14 – Aspecto geral da passarela inspecionada.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

As imagens mostradas na Figura 15 trazem um relato fotográfico das condições dos elementos estruturais inferiores, sendo evidenciados acentuada proliferação de fungos apodrecedores, manchadores e emboloradores nas vigas, transversinas e longarinas.

Figura 15 – Presença de húmus, fungos apodrecedores, manchadores e emboloravdores nos elementos estruturais.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Os elementos funcionais se apresentavam em péssimas condições, tendo evidências de desníveis com acentuada deformação entre as peças do tabuleiro, ausência de parte do guarda-corpo e fixações de guarda-corpos ineficientes, como mostrado na Figura 16 a seguir.

Figura 16 – a) presença de fungos em longarina; b) presença de fungos nas transversinas e tabuleiro.



Fonte: Imagem autoral, 2017.

Na Tabela 4, mostrada a seguir, as ocorrências levantadas são colocadas de forma resumida, mostrando de forma simplificada os elementos e as respectivas manifestações encontradas.

Tabela 4 – Passarela 4: Tabela resumo dos itens levantados em inspeção.

Problemas estruturais detectados
Presença de fungos apodrecedores, manchadores e emboloradores
Guarda-corpos com problemas de fixação e peças faltantes

Problemas de funcionalidade detectados
Peças do tabuleiro desniveladas (piso)
Mau uso recorrente pela população

Fonte: Tabela autoral, 2017.

4. CONCLUSÕES

Vale destacar que em favorecimento à durabilidade e prolongamento da vida útil de elementos estruturais de uma determinada estrutura, diante do conhecimento no meio técnico-científico, as estruturas de pontes e passarelas necessitam de acompanhamento em inspeções periódicas e manutenções preventivas com adequada frequência e rigor, pois os benefícios de tais ações são transmitidos positivamente aos projetistas, executores, fornecedores e principalmente aos usuários. Assim, tem sido cada vez mais evidente a importância de realizar inspeções periódicas e manutenções preventivas em estruturas de madeira, com acompanhamento de profissionais habilitados com conhecimento específico na área de atuação tecnológica em estruturas de madeira.
Importante lembrar que na avaliação de uma determinada estrutura, quando não se tem o acesso a determinados documentos oficiais que certamente evidenciariam os registros históricos das inspeções, surgem naturalmente dificuldades na precisão da real frequência de inspeções periódicas e manutenções preventivas que já tenham sido realizadas ao longo da vida de utilização da mesma.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:** Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BOTELHO, J. A. **Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos.** 2006. 208 p. Dissertação (Mestrado em Reabilitação do Patrimônio Edificado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

BRITO, J. **Apontamentos da cadeira de inspeção, patologia e reabilitação de edifícios: Diagnóstico, Patologia, e reabilitação de construção de madeira.** 2004. 66 p. Apostila.

BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: Metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação.** 2014. 483 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BRITO, L. D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento.** 2010. 313 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CRUZ, H. **Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira.** 2001. II Curso Livre Internacional de Patrimônio, Lisboa.

FIGUEIREDO, C. A. **Utilização da termografia como técnica não destrutiva no diagnóstico de patologias ocultas em estruturas de madeira antigas.** 2017. I Simpósio Científico ICOMOS Brasil, Belo Horizonte.

GESUALDO, F. A. R. **Estruturas de Madeira.** 2003. 93 p. Apostila.

MILANI, J. C. e KRIPKA, M. **A identificação de patologias em pontes de madeira: Diagnóstico realizado no sistema viário do município de Pato Branco – Paraná.** 2012. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil nº 4, Vol. 1, 23-33.

RODRIGUES M. A. S. e SALES, J. C. **A madeira e suas patologias – Estudo de caso: Igreja Nossa Senhora das Mercês – Itapipoca/CE.** 2013. IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, João Pessoa.

STEFANI, A. **Pontes de madeira: Degradação e soluções tecnológicas híbridas.** 2016. Revista de Arquitetura IMED, Vol. 5, 102-108.