

METODOLOGIA E TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA DA “PASSARELA PÊNSEL DE PIRACICABA”

METHODOLOGY AND REHABILITATION TECHNIQUES TIMBER STRUCTURAL MEMBERS OF THE “PIRACICABA SUSPENSION FOOTBRIDGE”

Leandro Dussarrat Brito ⁽¹⁾ (A), Carlito Calil Junior ⁽²⁾

(1) Post-Doctoral Researcher Structural Engineering, University of São Paulo, São Carlos School of Engineering, Brazil

(2) PhD. Full Professor, Department of Structural Engineering, Laboratory of Wood and Wood Structures, University of São Paulo, São Carlos School of Engineering, Brazil

Endereço de contato: leandro.3dr@outlook.com.br; (A) Apresentador

Código de identificação: T9-04

Resumo

Em pontes e passarelas de madeira os pontos mais críticos com potencial de risco de biodeterioração geralmente ocorrem nas interfaces viga-tabuleiro e em certas regiões de ligações, onde ficam suscetíveis à retenção de umidade na madeira. Durante as inspeções detalhadas NDT realizadas “in loco” nas avaliações para reabilitação de elementos estruturais de *Eucalyptus citriodora* da “Passarela Pênisel de Piracicaba” foram detectados elevados níveis de biodeteriorações em vigas transversinas superiores (TS) nas zonas de fixação das peças dos tabuleiros, em nós de ligações das treliças (TR1 e TR2), vigas transversinas inferiores (TI), montantes (M), diagonais (D) e contraventamentos (C). Diante da necessidade de reabilitar os elementos estruturais de *Eucalyptus citriodora* parcialmente biodeteriorados foram estudadas propostas de metodologia e técnicas de reabilitação dessas peças. Para validação do trabalho foram realizados ensaios em laboratório de elementos estruturais retirados da estrutura e em peças de *Eucalyptus citriodora* propostas para a técnica de reabilitação com cobrejuntas justapostas. Os resultados obtidos foram satisfatórios validando a adequação da metodologia proposta. Por fim são demonstradas as principais técnicas empregadas na reabilitação dos elementos estruturais da “Passarela Pênisel de Piracicaba”, realizadas entre agosto de 2013 a junho de 2014.

Palavras chave: engenharia; projeto; reabilitação; estruturas; madeira

Abstract

In bridges and timber footbridges, the most critical areas with the potential biodeterioration risk generally occur in the beam-deck interfaces and in certain connection regions where are susceptible to moisture retention in the wood. During the detailed inspections NDT carried out "in situ" in the assessments for the rehabilitation of Eucalyptus citriodora structural members of the "Piracicaba Suspension Footbridge" high levels biodeterioration were detected in upper transverse beams (TS) in the connections areas of the decks pieces, in trusses connections (TR1 e TR2), lower transverse beams (TI), posts (M), diagonals (D) and bracings (C). In view of the need to rehabilitate the Eucalyptus citriodora structural members of partially biodeteriorated, proposals of methodology and rehabilitation techniques were studied. In order to validate the work, laboratory tests were carried out on structural members removed from the structure and on Eucalyptus citriodora pieces proposed for the rehabilitation technique with juxtaposed scabbing. The results were satisfactory, validating the adequacy of the proposed methodology. Finally, the main techniques used in the rehabilitation structural members of the "Piracicaba Suspension Footbridge", carried out between August 2013 and June 2014, are demonstrated.

Keywords: engineering; design; rehabilitation; structures; timber

1. INTRODUÇÃO

Conforme CÓIAS (2011) a atenção especial voltada aos profissionais (Engenheiros e Arquitetos) na preocupação em conservar e/ou recuperar estruturas existentes para mantê-las em uso adequadamente é uma grande tendência mundial na questão da sustentabilidade. Com esta atitude é possível reduzir a geração de resíduos e o consumo de materiais, que certamente geraria durante o processo construtivo de uma nova estrutura no local da existente.

No entanto, num cenário atual em diversos estados do BRASIL ainda tem sido comum constatar a ausência de políticas públicas em manutenções periódicas preventivas e/ou corretivas de pontes e passarelas, principalmente as de estruturas de madeira.

Para a mudança desse quadro, torna-se fundamental realizar estudos sistematizados para a elaboração de metodologias de inspeções periódicas, a fim de avaliar e propor técnicas de reabilitação para essas estruturas (DUSSARRAT BRITO, 2014). Para propor soluções adequadas em manutenções preventivas e/ou corretivas em reabilitação de estruturas, nas inspeções tem sido utilizado uma série de técnicas não destrutivas (NDT), a fim de identificar as manifestações patológicas presentes em elementos estruturais de madeira. Estas técnicas podem ater-se não somente à identificação de reparos de defeitos, como também em manutenções preventivas periódicas, a fim de incrementar correções para prevenir problemas e reduzir futuras manifestações patológicas. Pois, negligenciando-se ou tornando-se uma manutenção irregular, predispõe-se a estrutura ao desenvolvimento de biodeterioração ou desgaste dos elementos que implicarão a necessidade de reparos ou recuperações imediatas.

Diante desse contexto, este foi um dos trabalhos de fundamental importância nas pesquisas e estudos sistêmicos sobre metodologias de inspeção e técnicas reabilitação em estruturas de madeira de grande porte, realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP).

1.1 Objetivo

Objetivo principal desse trabalho é apresentar a metodologia e as principais técnicas utilizadas na reabilitação dos elementos estruturais de madeira da “Passarela Pênsil de Piracicaba”.

1.2 Justificativa

É fundamental realizar inspeções periódicas preventivas em estruturas de pontes e passarelas, para identificar e avaliar indícios de possíveis manifestações patológicas, e indicar as possíveis soluções de manutenções preventivas de conservação e/ou recuperação, a fim de assegurar os requisitos de durabilidade para prolongamento da vida útil e garantir a segurança destas estruturas diante das condições de uso, pois mantê-las adequadamente é uma questão de sustentabilidade.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento metodológico no estudo de viabilidade do emprego de técnicas de reabilitação de elementos estruturais de madeira da “Passarela Pênsil de Piracicaba”, os trabalhos foram divididos em duas etapas, tendo como ponto de partida na primeira etapa as inspeções realizadas “in loco”, para as avaliações com técnicas não destrutivas (NDT), com ênfase em técnicas de inspeção visual, com auxílio de ferramentas tradicionais de carpintaria e com uso do Resistograph® IML-RESI-F500-S.

Na segunda etapa foram elaboradas e avaliadas as propostas originais de técnicas de reabilitação, onde se empenha maior ênfase nesse artigo. Para validação das técnicas também foram realizados ensaios experimentais no LaMEM (Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira).

3. BREVE HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA ORIGINAL

Esse item além de resgatar um breve histórico tem como objetivo principal expor uma descrição geral da estrutura de madeira original da “Passarela Pênsil de Piracicaba” projetada na época.

Em 1993 CALIL JR., ROCCO LAHR, e DIAS apresentaram os principais aspectos do projeto e da construção da estrutura de madeira dessa que foi projetada com treliças e vigas principais em *Eucalyptus citriodora*, onde posteriormente em 1998 descreveram que essa é a maior passarela pênsil de madeira do Hemisfério Sul [(CALIL JR et al, 1993); (CALIL JR et al, 1998)].

A “Passarela Pênsil de Piracicaba”, inaugurada em 15 de dezembro de 1992, localiza-se sobre o Rio Piracicaba, consagrou-se num importante ponto turístico na cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil, situada nas coordenadas GPS 22°43'05,82”S; 47°39'16,63”W, 475m de Altitude (DUSSARRAT BRITO, 2014).

3.1 Características geométricas da passarela

O projeto original do sistema “Pênsil” é composto por quatro torres de sustentação metálicas do aparelho suspensor, com pilares de seção transversal caixão e contraventamento treliçado. A suspensão é composta por quatro cabos de aço Filler 19x25, pré-esticados, sendo utilizado um par de cabos para cada viga de rigidez treliçada. A relação entre o vão e a flecha central foi de 6.25, e a relação entre o vão e a altura das vigas de rigidez treliçadas foi de 50. Os cabos formam na zona de ancoragem um ângulo de aproximadamente 33° (graus) com a horizontal, igual à sua máxima inclinação no trecho parabólico (Figura 3.1a). Os pendurais de aço 1020, com diâmetros de 1”, com esticadores ajustáveis manualmente, são ligados aos cabos por placas metálicas parafusadas e às vigas de rigidez nos nós inferiores da treliça (CALIL JR et al, 1993).

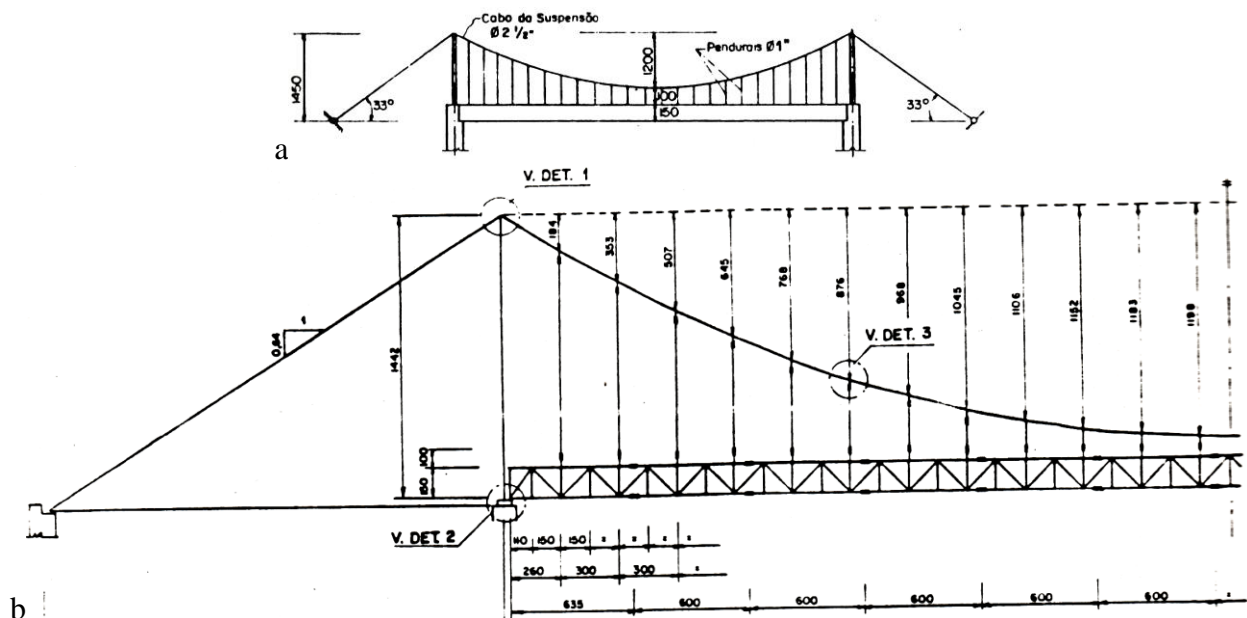


Figura 3.1: Geometria da passarela: a) vista lateral geral; b) dimensões gerais do projeto original.

Fonte: (CALIL JUNIOR; ROCCO LAHR; DIAS, 1993)

As duas vigas de rigidez longitudinais (TR1 e TR2) são compostas por sistema treliçado com peças múltiplas de seção transversal retangular 6 cm x 12 cm de *Eucalyptus citriodora* (Figura 3.2a), ligadas através de barras roscadas, arruelas e porcas galvanizadas. A rigidez transversal é realizada através de peças inclinadas de contraventamento (C).

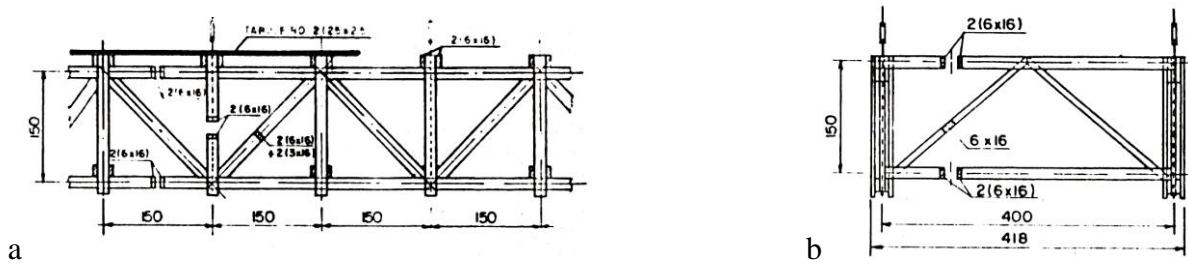


Figura 3.2: Estrutura de madeira: a) Viga de rigidez treliçada (TR1=TR2); b) Contraventamento transversal das vigas de rigidez. Fonte: (CALIL JUNIOR; ROCCO LAHR; DIAS, 1993)

O sistema do tabuleiro é composto por duas camadas de tábuas cruzadas perpendicularmente, formando um ângulo de 45° com o eixo longitudinal da estrutura. Conforme CALIL JR et al (1993) as tábuas originais eram de *Eucalyptus tereticornis* com 2,5 cm x 20 cm, pregadas sobre as vigas transversinas superiores (TS) e as vigas de rigidez treliçadas (TR1 e TR2) (Figura 3.3).

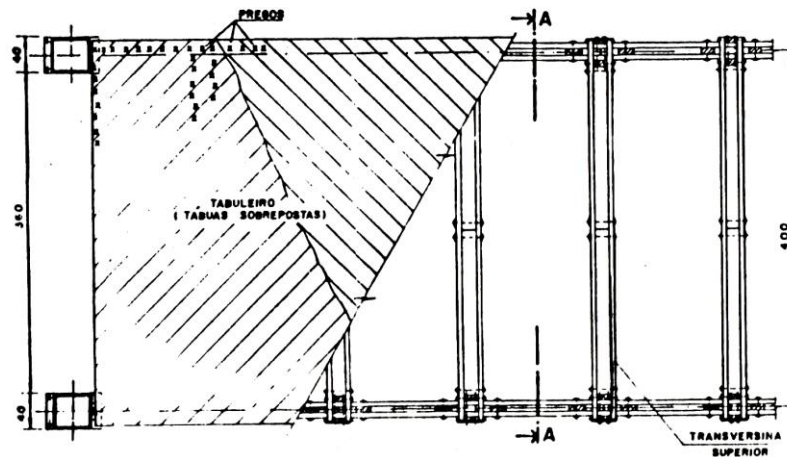


Figura 3.3: Detalhes do tabuleiro: Vista em Planta. Fonte: (CALIL JUNIOR et al. 1993)

3.2 Envoltórias dos esforços nos elementos principais

Conforme CALIL JR et al (1993), no projeto original com a ação permanente determinada para o cálculo de aproximadamente 165 daN/m² e a ação variável adotada para pedestres de 300 daN/m², admitindo todo o carregamento sendo suportado pelo aparelho suspensor, com a atuação conjunta das ações permanente e variável, foram obtidos os seguintes esforços referentes a um dos lados da suspensão (constituído por dois cabos):

- empuxo máximo nos cabos: 55.000 daN
- tração máxima nos cabos: 65.000 daN
- compressão máxima em cada torre: 70.000 daN
- tração máxima nos pendurais: 2.800 daN

Para a determinação dos esforços nas vigas de rigidez treliçadas foi utilizada a teoria elástica (GRAVINA, 1946) apud CALIL JR et al (1993). As envoltórias dos momentos fletores e esforços cortantes máximos são apresentados respectivamente nas Figuras 3.4a e 3.4b. Os momentos máximos ocorrem aproximadamente na seção transversal situada a um quarto do vão e o cortante máximo nos apoios.

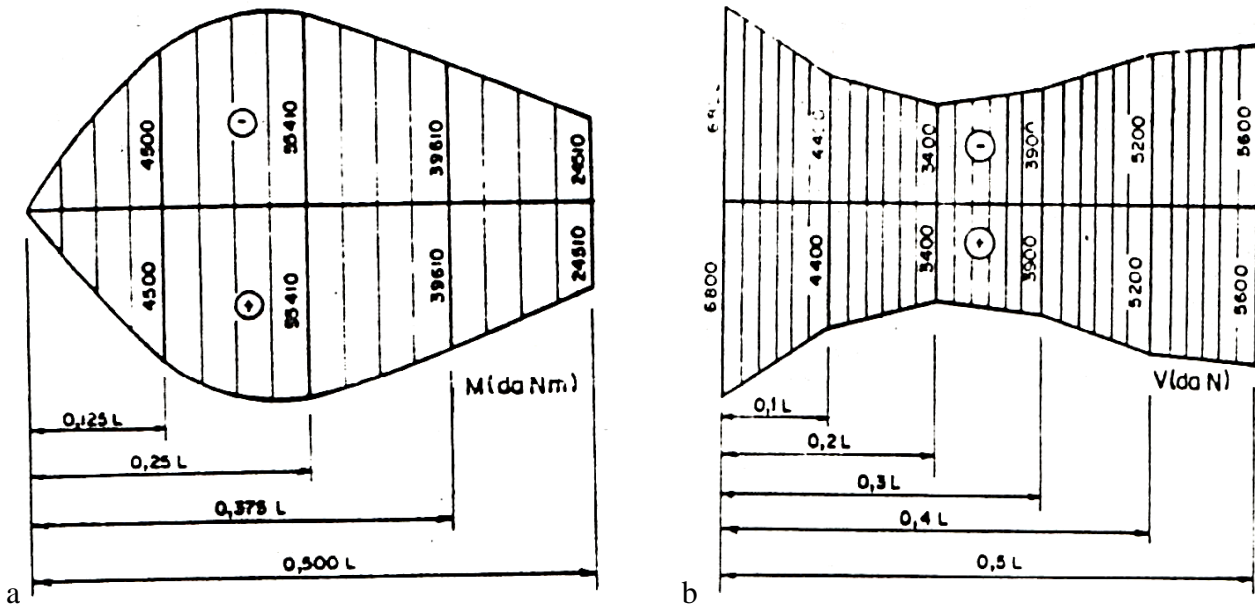


Figura 3.4: Envoltórias dos esforços na viga de rigidez: a) Momento Fletor (M); b) Cortante (V).
Fonte: (CALIL JUNIOR; ROCCO LAHR; DIAS, 1993)

4. METODOLOGIA DE INSPEÇÃO E TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO

4.1 Visitas Técnicas “in loco”

Com intuito de restaurar a “Passarela Pênsil de Piracicaba” a Prefeitura Municipal de Piracicaba-SP, Brasil, solicitou uma avaliação da estrutura, a fim de identificar e avaliar as manifestações patológicas presentes e indicar procedimentos de manutenção e técnicas de reabilitação adequada para a restauração da mesma (CALIL JR. et al, 2011). Na primeira visita técnica realizada em 12 de dezembro de 2011, iniciaram-se os levantamentos das dimensões “in loco”, e as inspeções com auxílio de técnicas não destrutivas (NDT) para avaliação das manifestações patológicas nos elementos estruturais de *Eucalyptus citriodora* e nas tábuas de *Eucalyptus tereticornis* que compunham o sistema do tabuleiro [(DUSSARRAT BRITO; CALIL JR, 2012); (DUSSARRAT BRITO, L.; CALIL JR., C. (2013)a].

A fim de propor uma metodologia facilitadora e precisa para a identificação dos elementos estruturais de madeira durante as inspeções periódicas em visitas técnicas posteriores, DUSSARRAT BRITO (2011) *apud* (CALIL JR. et al, 2011) elaborou esquemas de desenhos com suas respectivas siglas e nomenclaturas (Figuras 4.1 e 4.2), conforme as dimensões tiradas “in loco” nessa primeira fase de levantamento da inspeção.

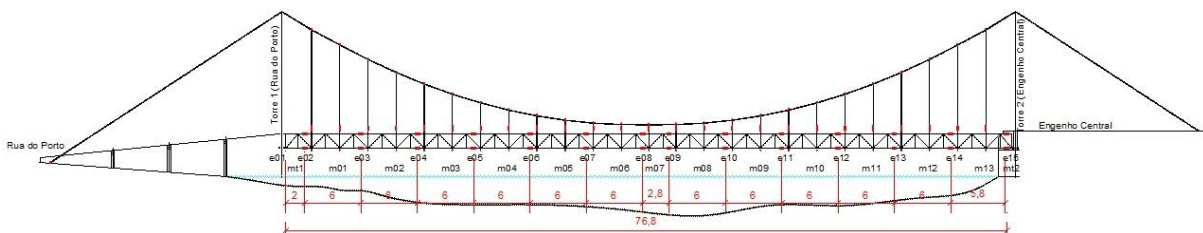


Figura 4.1: Esquema unifilar em elevação da passarela pênsil: numeração dos módulos [mXX] e posição das numerações das ligações das emendas [eXX] dos módulos. Fonte: (DUSSARRAT BRITO, 2014)

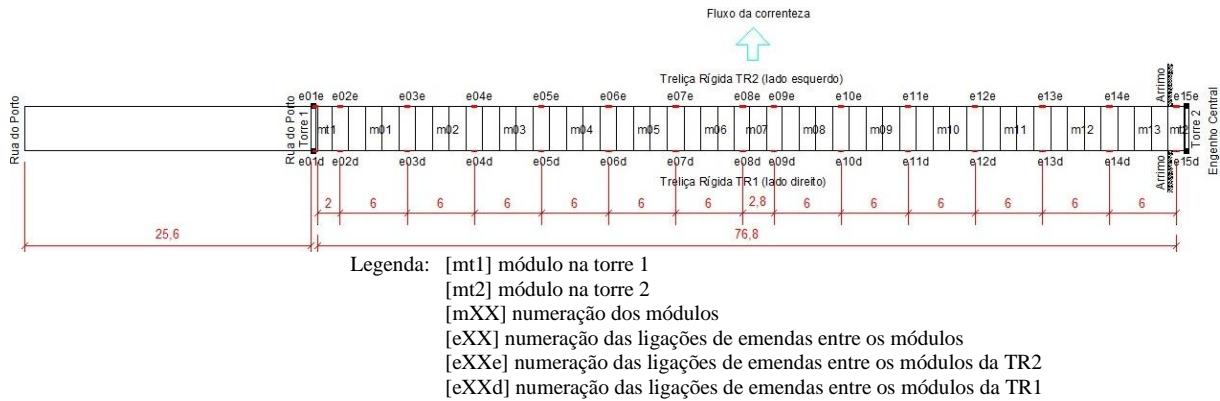


Figura 4.2: Esquema unifilar em planta da passarela pênsil: posição das vigas de rigidez treliçadas, numeração dos módulos [mXX] e numeração das ligações das emendas [eXX] dos módulos.

Em geral, os pontos mais críticos em pontes de madeira, com Potencial de Risco de Biodeterioração, ocorrem nas interfaces viga-tabuleiro e em pontos de ligações, onde são suscetíveis à retenção de umidade na madeira [(CALIL JR., 2006); (CALIL JR.; DUSSARRAT BRITO, 2010); (DUSSARRAT BRITO; CALIL JR., 2015)]. O risco fica ainda mais eminente quando as tábuas do tabuleiro são fixadas com pregos ou parafusos que penetram na região superior da seção de uma viga. Durante as *Inspecões Visuais Detalhadas de Nível 2*, realizadas *in loco* nas avaliações para reabilitação de elementos estruturais de *Eucalyptus citriodora*, foram detectados elevados níveis de biodeteriorações nas vigas transversinas superiores TS com características visuais de ataque por fungos apodrecedores, mais precisamente, nessas tais zonas de fixação das peças dos tabuleiros, sendo ainda mais expressivos nos elementos estruturais do Módulo m13 (DUSSARRAT BRITO, 2014), conforme pode ser observado nas fotos apresentadas na Figura 4.3.

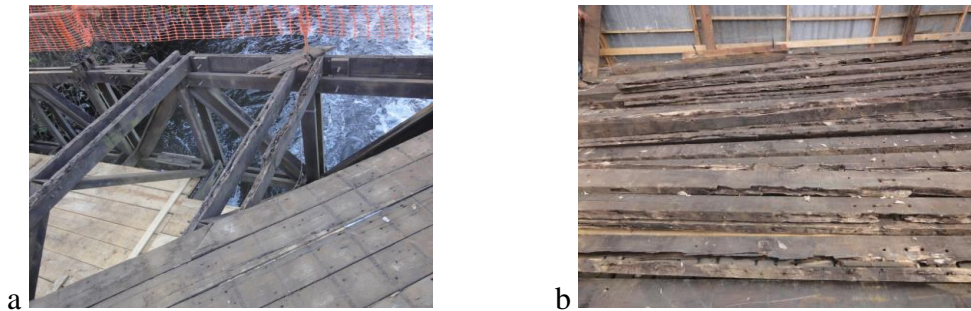
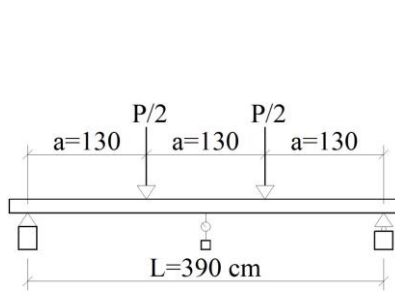


Figura 4.3: Biodeteriorações com características visuais de fungos apodrecedores, nas vigas transversinas superiores (TS) do módulo m13, em regiões de fixação das tábuas do tabuleiro.

Foto: DUSSARRAT BRITO (Inspeção *in loco* em 09/08/2013)

4.2 Ensaios experimentais realizados no LaMEM

Diante da necessidade de reabilitar diversos elementos estruturais de madeira da “*Passarela Pênsil de Piracicaba*”, foram estudadas as propostas de técnicas de reabilitação das peças biodeterioradas. Como se tratavam peças estruturais reais de madeira, os trabalhos experimentais para validação das propostas de técnicas de reabilitação das peças de madeira com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* foram realizados com ensaios no pórtilo do LaMEM, em função do esquema de distribuição de cargas da ASTM D 198-08 “*Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes*” (Figura 4.4). Para a determinação de valores de MOE os cálculos foram realizados pela equação da Teoria Clássica da Resistência dos Materiais (Eq. 1):



$$E = \frac{23 \cdot P \cdot a^3}{48 \cdot f \cdot I} \quad (1)$$

Onde:

E → Módulo de elasticidade

P → Carga concentrada total aplicada

a → representa 1/3 do vão livre (L)

f → flecha

I → Momento de inércia da seção na posição do eixo em análise

Figura 4.4: Esquema estático para ensaios de flexão de peças estruturais reais. Fonte: (DUSSARRAT BRITO, 2014)

Como metodologia, os trabalhos experimentais foram realizados nas seguintes etapas:

- avaliações visuais e experimentais de 8 vigas transversinas superiores (TS1; TS2; TS3; TS4; TS5; TS6; TS7; TS8) de *Eucalyptus citriodora* originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, parcialmente biodeterioradas na região superior (zona de compressão de vigas);
- estimativas dos valores do MOE e do MOR na avaliação de 6 peças diagonais de contraventamento (D1; D2; D3; D4; D5; D6) de *Eucalyptus citriodora*, superficialmente biodeterioradas, originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, e correlações com o valor médio da densidade de madeira de *Eucalyptus citriodora* da Tabela E1 da ABNT NBR 7190:1997;
- caracterização de tábuas estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora* para avaliação da proposta da técnica reabilitação na utilização como *cobrejuntas justapostas*.

Para aplicações nos estudos das propostas de técnicas de reabilitação dos elementos estruturais de madeira, as verificações foram baseadas pelas informações históricas, assim como os detalhes do projeto estrutural original da passarela apresentados em CALIL JR et al (1993).

Diante das características visuais de biodeterioração por fungos apodrecedores nas Transversinas Superiores (TS) observadas *in loco*, foram submetidas para o LaMEM, 8 peças estruturais originais da passarela, onde foram realizados os ensaios experimentais de flexão estática pelo esquema de distribuição de cargas da ASTM D 198-08, para avaliações no comportamento real das vigas transversinas superiores (TS1; TS2; TS3; TS4; TS5; TS6; TS7; TS8), parcialmente biodeterioradas na região superior (zona de compressão de vigas), ainda sem o emprego de técnicas de reabilitação, e apresentação dos *Modos de Ruptura* nas transversinas TS5; TS6; TS7; TS8. As dimensões efetivas das vigas transversinas (TS) originais eram aproximadamente de 5,5 cm de largura por 15 cm de altura, e 430 cm de comprimento. No entanto essas vigas, apresentavam parcialmente com alto nível de biodeterioração, principalmente na região superior, acima da linha neutra, nas regiões onde eram fixadas as peças do tabuleiro, cujas regiões são propensas as infiltrações e à retenção de água e concentração de umidade. Os *Modos de Ruptura* nas transversinas biodeterioradas TS7 e TS8 estão apresentados de maneira pormenorizada na Figura 4.5, onde foram notáveis as separações longitudinais, paralela às fibras da região de madeira sã da região biodeteriorada. Destaca-se ainda que as rupturas nas TS5; TS6; TS7 biodeterioradas ocorreram com *Modo de Ruptura Brusca (Frágil)*, sem aviso inicial na viga, como o exemplo da TS7 apresentado nas fotos das Figuras 4.5a e 4.5b. No entanto, a arte de avaliar peças de madeira biodeterioradas, não é tarefa fácil. Em função das dimensões das peças estruturais originais altamente biodeterioradas, apresentarem grandes variações nas alturas “h” ao longo das seções transversais, inclusive com cavidades em formas irregulares internamente às peças, além de fendas longitudinais expressivas e vazios, é impraticável determinar o valor exato tanto do MOE quanto do MOR. Para isso, foi imprescindível analisar graficamente os resultados experimentais pela relação Força x Flecha.

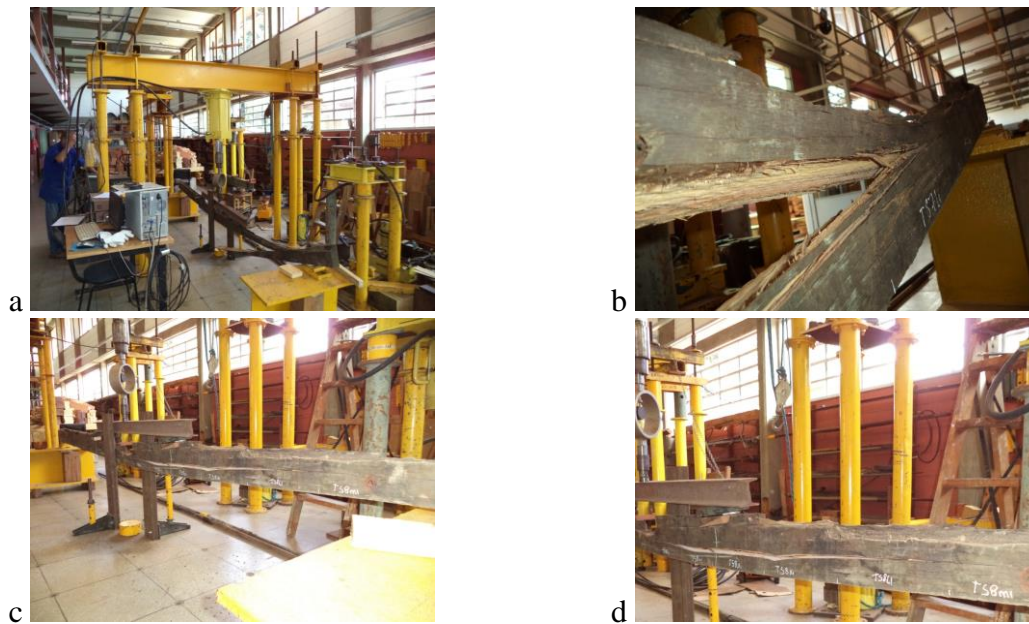


Figura 4.5: Ensaio estático de flexão de vigas transversinas parcialmente biodeterioradas na região superior de compressão (foram notáveis à separação longitudinal, paralela às fibras da região de madeira sã da região da madeira biodeteriorada): a) Modo de Ruptura Brusca (sem aviso) na TS7 (visão detalhada em b); c) Modo de ruptura por cisalhamento na TS8 (visão detalhada em d). Fotos: DUSSARRAT BRITO

No nível de carregamento equivalente a relação $L/300$, correspondente à flecha aproximada de 13 mm no estudo, obteve-se coerência como resultado do nível de biodeterioração nessas peças, conforme foi estimado pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada*, com mapeamento de imagens digitais assistidas via computador e validada também graficamente pela análise com o uso do Resistograph® [(DUSSARRAT BRITO, L.; CALIL JR, C., 2013b); (DUSSARRAT BRITO, 2014)]. Por essa razão, a escolha das nomenclaturas das 8 vigas transversinas de madeira retirados do módulo m13 da *Passarela* foi definida propositalmente em ordem crescente (TS1; TS2; TS3; TS4; TS5; TS6; TS7; TS8), em função do nível de biodeterioração das peças previamente avaliadas. A Figura 4.6 apresenta os diagramas com os resultados do comportamento das vigas TS1, TS2, TS3 e TS4 parcialmente biodeterioradas na região superior, ainda *sem o emprego de técnica de reabilitação*, válido para os ensaios de flexão estática.

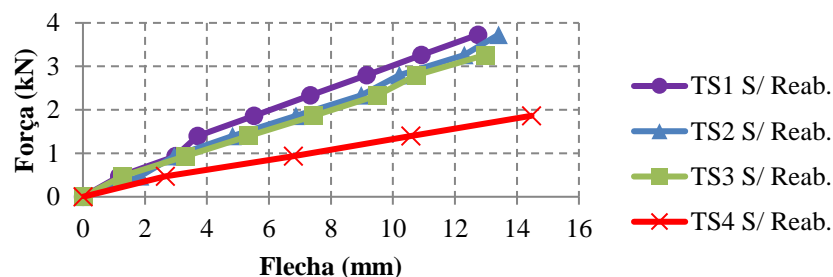


Figura 4.6: Resultados dos ensaios de flexão estática: Comportamento das vigas transversinas de madeira parcialmente biodeterioradas na região superior, ainda sem o emprego de técnica de reabilitação, válido para os ensaios de flexão estática. Fonte: (DUSSARRAT BRITO, 2014)

Para avaliação do comportamento e estimativas do MOE e do MOR foram realizados ensaios estáticos de flexão em 6 peças de diagonais de contraventamento (D1, D2, D3, D4, D5, D6), de *Eucalyptus citriodora* superficialmente biodeterioradas, originais da Passarela. Os modos de ruptura dessas peças ensaiadas à flexão estão apresentados de maneira pormenorizada na Figura 4.7.



Figura 4.7: Modos de ruptura nas peças ensaiadas à flexão: a) D1; b) D2; c) D3; d) D4; e) D5; f) D6.
Fotos: DUSSARRAT BRITO

Nos ensaios de flexão estática, para a determinação dos valores estimados do MOE, e do MOR foi respeitada a relação $L/300$, que para o L de 180 cm corresponde à aproximadamente 0,6 cm, para a determinação do valor limite permissível para a deformação elástica máxima de cada viga. A Figura 4.8 apresenta os diagramas com os resultados do comportamento dessas peças, válido para os ensaios de flexão estática.

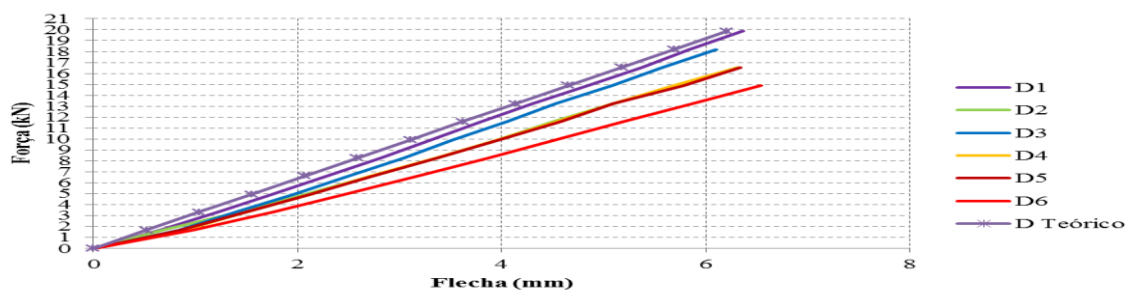


Figura 4.8: Resultados dos ensaios de flexão estática: comportamento das peças de diagonais de contraventamento (D1, D2, D3, D4, D5, D6) de *Eucalyptus citriodora*, superficialmente biodeterioradas, avaliadas para estimativa dos valores do MOE e do MOR, das peças originais da estrutura.

A metodologia proposta consistiu na aplicação de técnicas de reabilitações com cobrejuntas justapostas com peças estruturais comerciais de dimensões 3 cm x 15 cm de *Eucalyptus citriodora*,

fixadas paralelamente aos elementos estruturais que foram previamente identificados com manifestações patológicas durante as inspeções. Para a caracterização do MOE das peças a serem utilizadas como Cobrejuntas Justapostas (CJ), foram realizados ensaios estáticos de flexão não destrutivos (END) em 12 peças estruturais novas de *Eucalyptus citriodora*, tratadas com CCA sob vácuo-pressão em autoclave, com dimensões médias aproximadas de 3 cm de espessura, por 15 cm de altura e 438 cm de comprimento, compatível com o comprimento das transversinas. A foto na Figura 4.9a ilustra a metodologia dos ensaios estáticos não destrutivos (END), de flexão de viga de madeira, em tamanho estrutural real, conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08, para caracterização das peças de cobrejuntas de *Eucalyptus citriodora*. Na realização dos ensaios, para a determinação dos valores de MOE, foi respeitada a relação $L/300$, que para o L de 390 cm corresponde a aproximadamente 1,3 cm, no intuito de determinação do valor limite permissível para a deformação elástica máxima de cada viga. Na Figura 4.9b estão apresentados graficamente os resultados do comportamento dessas peças, na relação Força x Flecha.

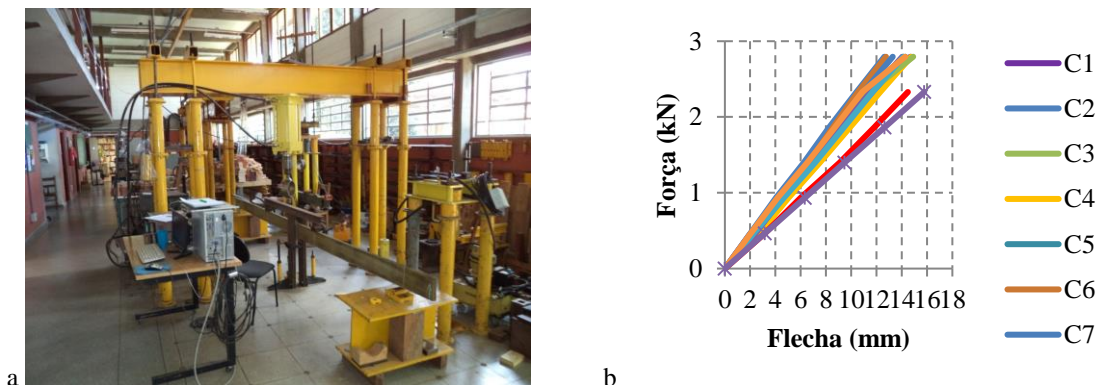


Figura 4.9: a) Visão geral do esquema dos ensaios estáticos não destrutivos na hipótese de flexão, para caracterização das cobrejuntas novas de madeira de *Eucalyptus citriodora*. Foto: DUSSARRAT BRITO; b) Comportamento das peças de madeira de *Eucalyptus citriodora*, caracterizadas para utilização na técnica de reabilitação como cobrejuntas justapostas, válido para os ensaios de flexão estática.

Nas Figuras 4.10 a 4.12 são demonstradas principais técnicas empregadas na reabilitação dos elementos estruturais da “Passarela Pênstil de Piracicaba”, realizadas entre agosto de 2013 a junho de 2014.

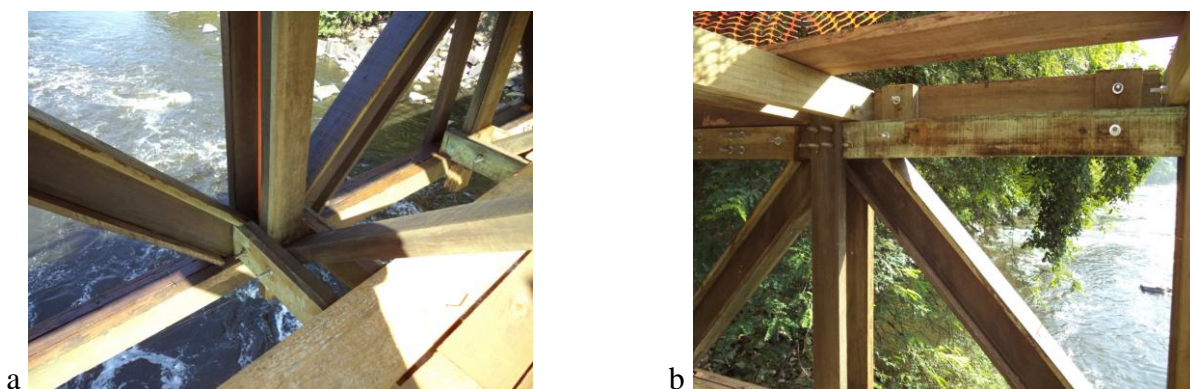


Figura 4.10: Técnicas de reabilitação: para os casos com biodeteriorações menos intensas em peças de montantes (M), vigas transversinas inferiores (TI), Banzo Inferior (BI), Banzo Superior (BS) foi utilizada a técnica de reabilitação com fixação de cobrejuntas justapostas, com peças novas de 3 cm x 16 cm, de *Eucalyptus citriodora* tratado com CCA. Fonte: (DUSSARRAT BRITO, 2014)

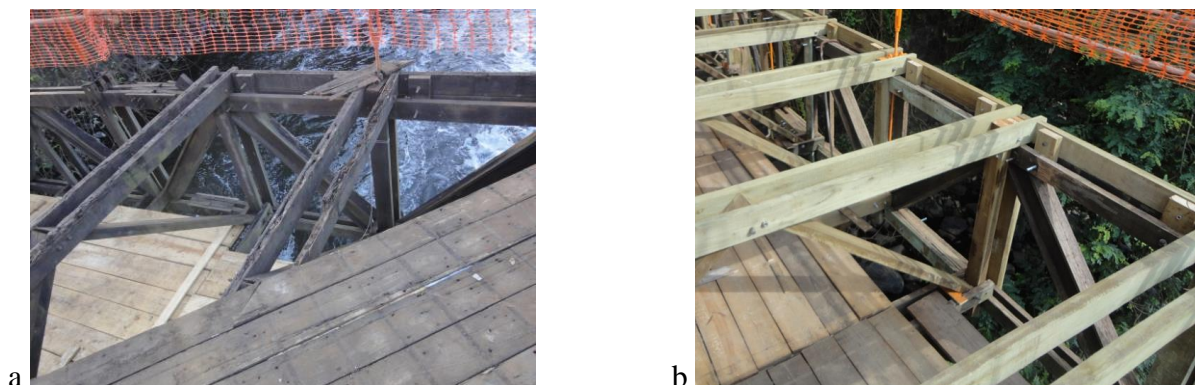


Figura 4.11: Técnicas de reabilitação: para os casos severos, com alto nível de biodeterioração em peças de vigas transversinas superiores (TS), diagonais de contraventamento (C) e montantes (M), optou-se pela técnica de substituição por peças novas de 6 cm x 16 cm, de *Eucalyptus citriodora* tratado com CCA, com propriedades físicas semelhantes das recomendadas no projeto, a fim de preservar às características originais na intervenção. Fonte: (DUSSARRAT BRITO, 2014)

Para a reabilitação do tabuleiro, foi definida a substituição de todas às peças *Eucalyptus tereticornis* biodeterioradas, por peças classificadas de madeira Pinus C30 com espessura de 4 cm em duas camadas totalizando 8 cm de espessura, com sistema cruzado em X, conforme especificações recomendadas no do projeto de reabilitação realizado no LaMEM. Esse sistema de tabuleiro com tábuas cruzadas contraventadas em X, tem a função principal em garantir a eficiência da rigidez global do conjunto no sistema de contraventamento lateral da estrutura de madeira da passarela.



Figura 4.12: Técnicas de reabilitação: substituição de todas às peças *Eucalyptus tereticornis* biodeterioradas, por peças classificadas de madeira Pinus C30 com espessura de 4 cm em duas camadas totalizando 8 cm de espessura, com sistema cruzado em X. Foto: CALIL JR. (Inspeção detalhada em 26/05/2014)

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que em inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira, a metodologia da técnica de inspeção visual detalhada realizada por inspetores especialistas, tem-se demonstrado muito eficiente para a detecção de anomalias visíveis, a fim de diagnosticar manifestações de patológicas, para estimar o dano na madeira causado por agentes abióticos, como fendas, rachas, flechas; e por agentes bióticos, como brocas, cupins e fungos, e quando associadas ao mínimo de equipamentos com testes de puncionamento, picoteamento, percussão com martelo e sondagem interna com o uso do Resistograph®, favorecem a eficiência da metodologia.

Os resultados experimentais das peças de madeira submetidas a ensaios estáticos de flexão pura, conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08 demonstraram eficientes para avaliação de peças de madeira e das técnicas de reabilitações propostas para as intervenções na restauração da “Passarela Pênsil de Piracicaba”.

AGRADECIMENTOS

À Comissão de Pesquisa (CPq) do programa de Pós-Doutorado, ao Departamento de Engenharia de Estruturas e ao Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, pela oportunidade na realização deste trabalho.

Aos Presidentes e Colaboradores da Comissão Organizadora, do Comitê Diretivo, do Comitê Científico e à Universidad Nacional del Noroeste de Buenos Aires por proporcionar o CLEM+CIMAD 2017.

REFERÊNCIAS

- [1] 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).
- [2] DUSSARRAT BRITO, L. Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, (2014).
- [3] CALIL JR., C.; ROCCO LAHR, F.; DIAS, A. A. Passarela pênsil com vigas principais de madeira. In: I EREMEM, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (1993).
- [4] CALIL JR., C.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R.. A Maior Passarela Pênsil de Madeira do Hemisfério Sul. *Téchne. Revista de Tecnologia da Construção*, São Paulo, SP, Brasil, (1998).
- [5] CALIL JR., C.; DUSSARRAT BRITO, L.; CALIL NETO, C.; ICIMOTO, F.; PIGOZZO, J. C. Relatório Técnico: Vistoria na Estrutura da Passarela Pênsil de Piracicaba pela Técnica de Inspeção Visual. USP/EESC/SET/LaMEM, São Carlos, SP, Brasil, 2011.
- [6] DUSSARRAT BRITO, L.; CALIL JR., C. Evaluation by visual inspection technique of the “Pedestrian Suspension Bridge at Piracicaba”, Brazil. In: ICDS12 International Conference Durable Structures: From Construction to rehabilitation. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC. Lisboa, (2012).
- [7] DUSSARRAT BRITO, L.; CALIL JR., C. Manifestações patológicas em função da ausência de manutenções preventivas na estrutura de madeira da “Passarela Pênsil de Piracicaba”, Brasil. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa, (2013)a.
- [8] CALIL JR., C. et al, 2006. Manual de projeto e construção de pontes de madeira. ISBN: 85-98156-19-1. Suprema, São Carlos, Brasil. Free download e-book:
<<http://www.set.eesc.usp.br/portal/pt/livros/361-manual-de-projeto-e-construcao-de-pontes-de-madeira>>
- [9] CALIL JR., C.; DUSSARRAT BRITO, L. (2010). Manual de Projeto e Construção de Estruturas com Peças Roliças de Madeira de Reflorestamento. ISBN: 978-85-8023-000-0. Depto. de Eng. de Estruturas, EESC/USP. São Carlos, Brasil. Free download e-book:
<<http://www.set.eesc.usp.br/portal/pt/livros/371-manual-de-projeto-e-construcao-de-estruturas-com-pecas-rolizas-de-madeira-de-reflorestamento>>
- [10] DUSSARRAT BRITO, L.; CALIL JR., C. Chapter: Inspection and Rehabilitation of Timber Structural Elements. In: CALIL JUNIOR, C. et al.. Manual of Design and Construction of Timber Bridges, p. 117-131. 1ed. Saarbrücker: LAP LAMBERT Academic Publishing (2015).
- [11] ASTM D 198-08. Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. Pennsylvania, United States (2008).
- [12] ABNT NBR 7190:1997. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, (1997).
- [13] ABNT/CB-02 REVISÃO ABNT NBR 7190 NOVEMBRO: 2011. Projetos de estruturas de madeira.
- [14] DUSSARRAT BRITO, L.; CALIL JR, C. Uso do Resistograph® IML-RESI-F500-S em inspeções NDT para avaliações internas de elementos estruturais de madeira. In: IX CINPAR. João Pessoa, (2013).