

M

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE UNA PASARELA PENSIL EN MADERA

¹Campos, J. A. O. / ¹Oliveira, F. G. R. / ²Sales, A.

¹EESC/USP/Interunidades/Brasil - janaoc@sc.usp.br e fabiana@sc.usp.br

²DECiv/UFSCar/Brasil, Via Washington Luiz, km 235. São Carlos - DECiv - CCET - UFSCar. almir@lactec.org.br

METHODOLOGY FOR THE EVALUATION OF THE DURABILITY OF A WOODEN PENSILE CATWALK

ABSTRACT

The present methodology was carried out to evaluate a pensile catwalk located on the Piracicaba river in the state of São Paulo (Brazil). As ancillary tools for the proposed methodology non destructive techniques were used, among which stand out: visual classification, technique of ultrasonic sound waves and electric meter for the determination of humidity tenors of the wood. Complementary mock-ups were done aiming at the comparison of the values of physical and mechanical properties obtained from field work with those obtained in the laboratory. In this context it was possible to propose a methodology for evaluation of the durability of wood pieces present in the catwalk studied.

KEY WORDS: wood, wood structure, durability, non destructive methods, pensile catwalk

RESUMEN

La presente metodología fue realizada con la idea de permitir la evaluación de una pasarela pensil localizada sobre el río Piracicaba en el Estado de São Paulo (Brasil). Como herramientas auxiliares para la proposición de esta metodología se utilizaron técnicas no destructivas, entre las cuales se destacan: clasificación visual, uso de técnica de ultrasonido y uso de medidor eléctrico para la medición de los tenores de humedad de las piezas de madera estudiadas. Se realizaron ensayos complementarios objetivando comparaciones de los valores de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas en el campo, con los determinados en el laboratorio. En este contexto fue posible proponer una metodología para la evaluación de la durabilidad de piezas de madera presentes en la pasarela investigada.

PALABRAS CLAVES: madera, estructura de madera, durabilidad, métodos no destructivos, pasarela pensil.

INTRODUCCIÓN

Según Oliveira (2000) [1], se pueden utilizar métodos no destructivos para la evaluación mecánica de piezas construidas en madera. Estas presentan ventajas en relación con los métodos convencionales, entre los cuales merecen ser destacados: la posibilidad de evaluar la integridad estructural de una pieza sin la extracción de cuerpos de prueba; mayor rapidez para analizar una gran población y versatilidad para adecuarse a una rutina patronizada en una línea de producción. Por lo tanto, la evaluación no destructiva propicia resultados económicos y eficientes cuando es utilizada en estructuras de madera en trabajos.

En este contexto, la durabilidad de piezas estructurales de madera en uso puede ser evaluada por medio de métodos no destructivos, en los cuales es innecesaria la extracción de cuerpos de prueba, una vez que la evaluación es hecha con los propios elementos estructurales.

Con la idea de evaluar la durabilidad de la madera de la estructura en uso, fue necesario el estudio detallado de algunos métodos no destructivos en función de las propiedades requeridas en el campo para una comparación posterior con los datos obtenidos en el laboratorio. Los métodos enfatizados en este trabajo tratan de la evaluación visual, del uso de técnicas de ultra sonido y de la utilización de un equipo apropiado para la obtención de valores de tenores de humedad de las piezas evaluadas.

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura de la presente investigación, también fue propuesto un sistema de clases de riesgos para maderas brasileñas, con el objetivo de auxiliar la proposición de la metodología para evaluación de la durabilidad de la madera. Con la utilización de estas clases de riesgos, puede ser posible utilizar de manera más racional la diversidad de las especies de maderas existentes en las florestas nativas brasileñas, además de permitir la diseminación del uso de esencias de reforestamiento como el pino y el eucalipto, disminuyendo el impacto ambiental relativo a la utilización de los recursos de las florestas tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se definió la estructura de madera en trabajo para ser evaluada y se identificaron los elementos en estructuras para ser estudiados. Para la evaluación de la durabilidad y condiciones de uso de las piezas definidas, se realizaron ensayos de campo que permitieron una clasificación visual juntamente con la identificación de las especies botánicas de los elementos.

Como análisis inicial de las propiedades físicas y mecánicas, fueron medidos los tenores de humedad re-

queridos y se realizaron ensayos de campo con utilización de técnicas de ultra sonido.

Con el objetivo de obtener datos comparativos de referencia para las características investigadas en campo, se efectuaron ensayos de laboratorio en piezas de la misma especie y libres de defectos, los cuales permitieron evaluar la viabilidad del uso del ultra sonido en campo para elementos de madera en trabajo.

Elección de la estructura de la madera que va a ser evaluada

Los criterios definidos para la elección de la estructura evaluada fueron: estructura en trabajo con edad superior a cinco años y que posea elementos con diferentes grados de exposición; existencia de documentación referente al proyecto, a las dimensiones y al memorial descriptivo; posibilidad de acceso a los elementos estructurales, de modo que permita la experiencia.

La pasarela pensil en madera localizada en la ciudad de Piracicaba, en el Estado de São Paulo (Brasil), se encuadra en todos los requisitos definidos. Su proyecto fue presentado en 1991, siendo ejecutado en 1992 y con una edad actual de ocho años de servicio. Presenta toda la documentación referente al proyecto, a las dimensiones y al memorial descriptivo, siendo el "Laboratorio de Maderas y de Estructuras de Madera" (LaMEM) de la Escuela de Ingeniería de São Carlos (EESC) de la Universidad de São Paulo (USP) el responsable del proyecto y ejecución de la obra.

Definición de los elementos de madera en estructuras

Para la definición de los elementos de madera que son investigados se consideran como parámetros principales: la facilidad de acceso para la realización de los ensayos de campo, la adecuada representatividad en cuanto a las solicitaciones predominantes, y las condiciones de riesgo de biodeteriorización.

En este contexto se definió el tablero de la pasarela como elemento adecuado para el estudio de la presente investigación. Sus tablas presentan un acceso fácil para la investigación y pueden ser subdivididas en truchos de acuerdo con las interligaciones entre estas y los demás componentes de la pasarela.

Identificación de las especies botánicas

Analizándose el proyecto y memorial descriptivo referente a la pasarela pensil sobre el río Piracicaba, se utilizó como especie botánica para la construcción del tablero el Eucalipto tereticornis tratado como el preservador hidrosoluble CCB, en autoclave por proceso vacío-presión, en la industria PREMA de Rio Claro, Estado de São

Paulo. El nombre científico de esta especie es *Eucalyptus tereticornis* y de acuerdo con la NBR 7190/97 [2], presenta un valor medio característico para sus propiedades de $f_{c0}=57,7$ MPa, $E_{c0}=17198$ MPa y $r_{ap(12\%)}=899$ kg/m³.

Clasificación visual en los ensayos de campo

Para facilitar la identificación y clasificación de los diversos defectos y ocurrencias de deterioraciones de cada elemento del tablero en estudio, se hizo una subdivisión en tres grandes trechos, y se analizaron los puntos de interface del tablero con los demás componentes de la pasarela.

Dos de estos trechos tratan de las extremidades del tablero de la pasarela que dan acceso al Engenho Central (Treacho 1) y a la Rua do Porto (Treacho 3) en tanto que el otro trecho se trata de la parte central y suspensa de la pasarela que presenta contacto más activo con las aguas de condensación del río.

Durante esta etapa, todas las piezas superiores del tablero fueron enumeradas, de tal forma que los números que identifican a las tablas de cada uno de los trechos (detalles de la Figura 1) representan la posición real de cada pieza del conjunto, permitiendo facilitar la investigación.

Verificación de los tenores de humedad en los ensayos de campo

Para la verificación de los tenores de humedad de la madera de los elementos definidos para el presente estudio, se utilizó un medidor de humedad para maderas modelo DL 2000 fabricado por la DIGISYSTEM.

Este equipo permite la adecuación de treinta y tres grupos de especies de madera con la variación de temperatura de 0°C a 95°C, posibilitando medidas del tenor de humedad de 6% a 60%.

Las tablas del tablero investigadas fueron elegidas en función de la representatividad de las condiciones de exposición. De este modo, se eligieron tablas en elevado grado de riesgo de biodeteriorización y piezas en condiciones favorables relativas a la permanencia de la durabilidad.

Utilización de técnicas de ultra sonido en los ensayos de campo

Los ensayos de ultra sonido utilizaron el equipo SYLVATEST ilustrado en la Figura 2. Este equipo es indicado para piezas de tamaño estructural y utiliza transductores con frecuencia de 22 kHz.

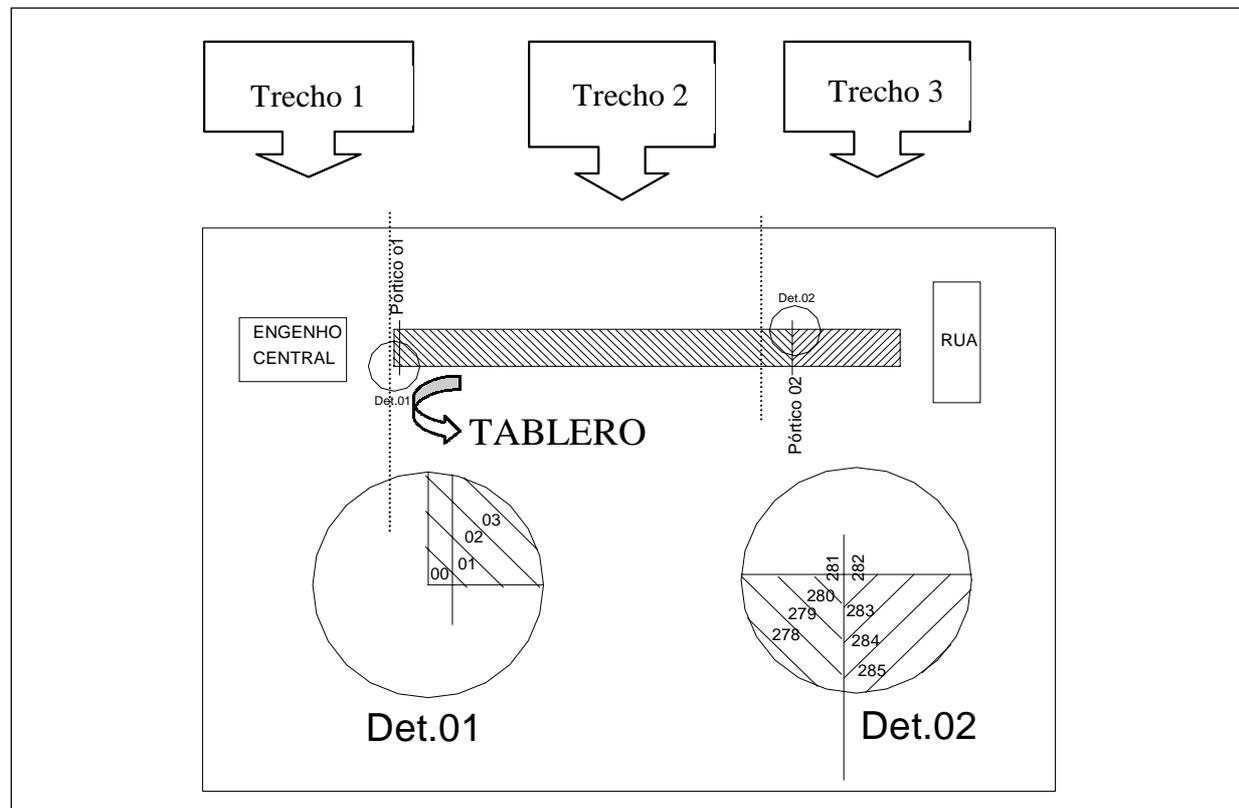


FIGURA 1: Definición de los tres trechos para análisis del tablero



FIGURA 2: Equipo SYLVATEST utilizado para la obtención del coeficiente de la matriz de rigidez de la madera.

Para la definición de las tablas del tablero que fueron investigadas se consideró como principal parámetro la ausencia de defectos tales como nudos, rajaduras y grietas. Con esto fue posible obtener resultados confiables para la técnica aplicada de ultra sonido.

Ensayos complementarios en el laboratorio

Con el objetivo de comparar y obtener parámetros de referencia para las características investigadas en el campo, se seleccionaron dos vigas de madera con dimensiones de 6 cm x 12 cm x 300 cm sin defectos y de la misma especie botánica de las tablas componentes del tablero, Eucalipto tereticonis. Estas vigas seleccionadas fueron adquiridas por LaMEM en el Horto Forestal de Rio Claro en 1993 y se encontraban en condición de humedad seca al aire para la región de São Carlos.

Se realizaron ensayos en laboratorio, de acuerdo con la NBR 7190/97 [2], para la determinación de las siguientes propiedades: tenor de humedad, densidad aparente, resistencia a la compresión paralela a las fibras y módulo de elasticidad en la compresión paralela a las fibras. Para la obtención del módulo de elasticidad en la flexión estática se siguieron las recomendaciones de ASTM – American Society for Testing and Materials [3].

Se determinó el coeficiente de la matriz de rigidez aplicándose gel en las extremidades de las piezas de madera, y a continuación se hicieron tres lecturas del tiempo de propagación de la onda: en el centro de la pieza y en la parte superior e inferior, de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 3.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Clasificación visual en los ensayos de campo

Como el tablero está compuesto por tablas superpuestas, una camada de tablas se localiza en la parte superior y la otra en la parte inferior del tablero.

En los tres trechos analizados, las tablas superiores presentan grietas ocasionadas por la acción de las aguas



FIGURA 3: Posición de los transductores y visualización de los tres puntos analizados.

de precipitación y radiación solar que predisponen a la madera a ciclos de secado y rehumedecimiento. Por otro lado, las tablas inferiores presentan contacto activo con las aguas de condensación del río y se encuentran sujetas a la acumulación de residuos provenientes de la parte superior del tablero. Como consecuencia se tiene: alto tenor de humedad que implica el ataque de hongos y perjuicios en cuanto a la permanencia del producto preservante CCB.

Valores de los ensayos obtenidos en el campo

Fueron determinados los tenores de humedad y los coeficientes de la matriz de rigidez en diversas regiones de las tablas superiores de la pasarela, de acuerdo con la subdivisión por trechos propuesta anteriormente. Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1: Tenores		
	U (%)	C _{UL} (MPa)
n	30	14
Media	13,6	20622
Mínimo	8,2	15331
Máximo	20,1	23671
CV	18,1	10,9

Valores de los ensayos complementarios obtenidos en el laboratorio

En la experiencia en el laboratorio se obtuvieron valores de algunas propiedades físicas y mecánicas descritas anteriormente, la de la especie botánica Eucalipto

tereticornis. En la Tabla 2 están presentados los resultados de esta etapa de la experiencia.

Propuesta de un sistema de clases de riesgos para maderas brasileñas

Adoptándose el estudio de DÉON (1989) [4] como referencia principal, se elaboró un sistema de clases de riesgos relatándose ejemplos de tipologías de estructuras que pueden pertenecer a la clasificación descripta. Este sistema está dividido en cinco clases distintas que serán descriptas a continuación.

La Clase 1 trata de la estructura de la madera aislada del suelo y protegida contra todos los riesgos de rehumedecimiento. Esas condiciones de exposición son las más favorables para la aplicación de la madera en la construcción civil. A pesar de todo se debe verificar la posibilidad de ataque de las piezas por agentes que deterioren la madera seca y adoptar medidas preventivas equivalentes a las situaciones detectadas. Esa categoría de exposición puede ser verificada en escaleras, puertas, rodapiés, mobiliarios, entre otros. Se nota la incidencia de esta categoría en interiores, siendo piezas utilizadas generalmente en carpintería.

La Clase 2 trata de la estructura de la madera bajo abrigo pero en contacto permanente con fuentes de humedad. En esta categoría de empleo es que ocurren los incidentes de conservación más frecuentes, debido a un optimismo exagerado implicando una ausencia de precaución. A pesar de que la madera se encuentra protegida y aislada de la humedad con el suelo, se debe verificar si esta presenta contacto permanente con la fuente de humedad. Se tiene que estudiar la posibilidad de rehumedecer la madera por medio de agua de condensación o simplemente por minúsculos filtros de agua. Esta categoría engloba casos en que la madera presenta contacto con albañilerías húmedas o cuando está presente en las piezas

de instalación de aire acondicionado, en armarios debajo de piletas, en baños, entre otros.

La Clase 3 trata de la estructura de la madera aislada del suelo pero expuesta a la intemperie. En esta clase de exposición la única fuente de humedecimiento está constituida por la lluvia y las aguas de condensación. Para las maderas aisladas del suelo y expuestas a la intemperie la acción del agua es intermitente, y en el caso que se estanque en las grietas o conexiones abiertas de los elementos de la madera se puede desarrollar un ataque por agentes degradantes tanto en las partes húmedas como en las partes sanas (DÉON, 1989) [4]. En estas condiciones de exposición, las piezas de madera se encuentran generalmente empleadas en estructuras externas.

La Clase 4 trata de la estructura de la madera en contacto directo con el suelo y bajo intemperie. Verificándose las condiciones de exposición de las maderas en uso que pertenecen a esta clase, se percibe que el contacto directo con el suelo expone a este material a las variaciones de humedad y a los residuos orgánicos que están en la superficie del apoyo. A su vez, la variación del clima permite que la estructura sufra cambios constantes de temperatura, esté en contacto directo con los rayos ultravioleta y se exponga a las variaciones de humedad. En algunos casos se necesita emplear la madera en estas condiciones de exposición, siendo las principales: durmientes de vías ferroviarias, postes de telecomunicación y de transmisión de energía eléctrica, cercas, estacas, entre otros.

La Clase 5 trata de la estructura de la madera inmersa en agua dulce. En la condición de humedad saturada, las paredes celulares llegan a un máximo de hinchazón creando aberturas dentro de la matriz polimérica (IPT, 1986) [5]. De acuerdo con DÉON (1989) [4], cuando la madera se encuentra en parte sumergida, la porción que emerge se presenta expuesta a la degradación. La condi-

Tabla 2: Resultados de los ensayos complementarios obtenidos en el laboratorio

	U (%)	$\rho_{ap, 12\%}$ (MPa)	f_{co} (MPa)	E_{co} (MPa)	E_M (MPa)	C_{LL} (MPa)
n	8	8	4	4	4	4
Media	14,3	0,986	58582	17310	16339	19124
Mínimo	13,8	0,949	55446	14693	14730	16575
Máximo	14,8	1,025	61048	20717	17796	21447
CV	2,7	2,0	3,5	13,4	8,7	9,8

ción se parece a la clase de exposición en que la pieza se encuentra en contacto permanente con la fuente de humedad. Los casos críticos de esta categoría están en las estructuras presentes en las obras fluviales, tales como: elementos componentes de pasarelas o puentes, estacas que en parte están debajo del nivel de la napa freática, entre otros.

La Clase 6 trata de la estructura de la madera sumergida en agua salada o salubre. En esta categoría de exposición las maderas son susceptibles a los ataques de agentes deterioradores marinos. La evolución y gravedad de los ataques están relacionados con la salinidad, con la temperatura del agua y con la contaminación eventual. Se puede decir que la aplicación de la madera en aguas salubres se encuentra subordinada a la utilización y al estudio de técnicas detalladas de preservación. Se nota la incidencia de esta categoría en regiones del litoral, pudiendo ser verificada principalmente en los puertos, puentes o pasarelas.

CONCLUSIONES

Realizándose ensayos no destructivos en el campo a saber: clasificación visual de los elementos de la estructura investigada, tales como la medición de los tenores de humedad por medio del equipo DIGISYSTEM y uso de técnicas de ultra sonido con el equipo SYLVATEST, es posible verificar las condiciones en cuanto a la durabilidad de las piezas de madera en uso. Como parámetro de referencia para análisis de los datos experimentales obtenidos en el campo, se hacen ensayos de laboratorio para la caracterización de algunas propiedades físicas y mecánicas requeridas para la misma especie. Se comparan los resultados experimentales obtenidos en campo con los determinados en el laboratorio para verificar las condiciones actuales de durabilidad de las piezas de madera en uso.

De esta forma, la clasificación visual de los elementos de la estructura investigada, adicionada a las comparaciones entre las propiedades físicas y mecánicas de la madera en trabajo con las piezas estudiadas en el labora-

torio, permitirán dirigir la evaluación de la durabilidad de la madera.

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura de la presente investigación, fue propuesto un sistema de clases de riesgos para maderas brasileñas con el objetivo de auxiliar esta evaluación. Para los casos en que la evaluación de la durabilidad conduzca a la necesidad de reparos, se pueden indicar procedimientos que consideren la rehabilitación de los elementos.

Por lo tanto, la metodología desarrollada y utilizada en la presente investigación permitió una evaluación eficaz de la durabilidad de piezas estructurales utilizadas en pasarelas de madera.

AGRADECIMIENTOS

A FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – por el financiamiento e incentivo otorgados. ●

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Oliveira, F. G. R.; Sales, A. (2000).** *Propagação de ondas acústicas na madeira*. En: “Encontro brasileiro de madeira e de estruturas de madeira”, 7. São Carlos, São Paulo, Brasil. Anais, Cd-rom, arquivo digital.
2. **Associação brasileira de normas técnicas.** NBR-7190/97 – *Projeto de Estruturas de Madeira*. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
3. **American society for testing and materials (1984).** *Methods of Static Tests of Timbers in Structural Sizes*. ASTM D198-84. Philadelphia, PA.
4. **Déon, G. (1989).** *Manual de preservação das madeiras em clima tropical*. França - Centre Technique Forestier Tropical: Department du CIRAD, 1989. 116p.
5. **Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo s.a. – IPT. (1986).** *Manual de preservação de madeiras*. São Paulo, v.1., 702p.