



Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 6(16), 2009

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Metodología para análisis de la integridad de estructuras históricas de madera atacadas por insectos xilófagos por medio del ultrasonido

Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco¹
Amanda Rocha Teixeira¹
Antônio Pires Azevedo Jr.¹
Luis Eustáquio Moreira¹

Resumen

En la actualidad la sociedad está más consiente con la importancia de las construcciones antiguas (históricas), pues ese patrimonio arquitectónico es el símbolo de su identidad nacional. Esa preocupación tiene influencia en la manutención de los patrimonios y obliga a los profesionales a buscar mejores técnicas para evaluación e inspección de esas edificaciones. De esa manera, la inspección continua es de vital importancia para preservar estas construcciones. Los métodos no destructivos (NDT) son los más indicados para esta inspección porque ellos no interfieren en la arquitectura de la edificación, manteniendo la estructura íntegra. En la actualidad existen variados equipos y técnicas no destructivas, una de las opciones más difundidas y promisorias es la técnica del ultrasonido. El objetivo de este trabajo es presentar una metodología para inspección de elementos estructurales de madera sometida a diferentes ataques de insectos xilófagos utilizando pulsos ultrasónicos. Esta metodología fue aplicada en una viga de madera laminada colada con la finalidad de evaluar posibles deterioros. Con la información obtenida fue posible definir las áreas degradadas de la viga que fueron mostradas por medio de isocromáticas. Este trabajo posibilitará una evaluación más correcta y confiable de piezas de madera en servicio de estructuras históricas, evitando la sustitución innecesaria de elementos estructurales sanos que supuestamente estaban deterioradas e, inclusive, realizando refuerzos en elementos extremadamente deteriorados que pueden comprometer sensiblemente la estabilidad global de la estructura.

Palabras claves: Estructuras históricas de madera, Ultrasonido, Madera, Ensayos no destructivos.

Abstract

Methodology for analysis through ultrasound of historical timber structures integrity attacked by xylophagous insects. Nowadays, society has more awareness on the importance of historical constructions as the architectural heritage is a symbol of national identity. This awareness influences heritage maintenance and professionals have to search for better techniques to evaluate and inspect these buildings. Thus, continuous inspection is extremely important to preserve these constructions. The nondestructive tests

1 Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. mantilla@dees.ufmg.br; rtmamy@yahoo.com.br; azevedojr@yahoo.com.br; luis@dees.ufmg.br

(DTs) are the most indicated for this purpose since they do not interfere in the building architecture, maintaining, therefore, construction integrity. Among the various existing NDTs, one of the most widely used and promising option is the ultrasound technique. The objective of this study is to present an inspection methodology, for timber structural elements which have been attacked by different xylophagous insects, using ultrasonic pulses. This methodology was applied in a glued laminated beam with the purpose to find possible deteriorations. Ultrasound results enabled beam decayed areas mapping through isochromatics. This study will allow an accurate and reliable evaluation of heritage wooden structures preventing unnecessary replacement of supposedly degraded sound structural elements, and reinforcement of elements extremely deteriorated which could be compromising the global structure stability.

Keywords: Heritage timber structures, Ultrasound, Wood, No destructive testing.

INTRODUCCIÓN

La importancia de las construcciones históricas simbolizando la identidad nacional de un país, obliga a los profesionales a buscar técnicas científicas que permitan inspeccionar las construcciones sin intervenciones que perjudiquen la edificación. En Brasil, donde existe presencia abundante de la arquitectura y de la ingeniería europeas, hay gran cantidad de construcciones históricas en madera, como iglesias, haciendas, puentes y casas que retractan el período brasileño colonial e imperial, como lo muestran las figuras 1 y 2. De esta forma, la inspección constante es de importancia vital para el mantenimiento de estas construcciones.



(a)



(b)

Figura 1. Puente histórico: (a) Vista completa del puente; (b) Viga potencialmente dañada.



Figura 2. Casa del período imperial brasileño.

Los ensayos no destructivos (END) son los más indicados para estos casos. Según Targa *et al* (2005), con estos ensayos no ocurren alteraciones en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos producen un daño imperceptible o nulo. Entre los diversos ENDs existentes, una de las opciones más difundidas y prometedoras es la técnica del ultrasonido.

De acuerdo con Emerson *et al* (2002), los pulsos ultrasónicos pueden auxiliar en la evaluación de la descomposición de la madera por organismos xilófagos en los elementos estructurales de puentes. Los pulsos ultrasónicos fueron transmitidos y capturados en diversos puntos de los elementos de madera, se analizaron sus velocidades y luego se localizaron los defectos o deterioraciones, incluyendo sus dimensiones. Seguidamente, las piezas de madera fueron abiertas para visualizar los defectos internos reales y luego compararlos con los defectos encontrados a través del ultrasonido. Esta comparación mostró bastante similitud.

Teles (2002) presenta una metodología con el objetivo de utilizar el ultrasonido como herramienta para supervisar la degradación de las características mecánicas de la madera ocasionada por termitas. Las probetas fueron expuestas a las termitas de manera controlada, con el fin de provocar algunos estados de degradación o luego medir las velocidades ultrasónicas. Luego las probetas fueron ensayadas a compresión paralela a las fibras, obteniéndose la resistencia a ruptura y el módulo de elasticidad. Fue presentada una correlación incorporando las medidas del ultrasonido y las características del material. La poca pérdida de masa causada después de 40 días de acción de las termitas, no modificó perceptiblemente las características mecánicas de la probeta, lo cual no permitió obtener correlaciones entre estos parámetros y la velocidad del ultrasonido.

Bucur (2005) y Sandoz (1996) utilizaron las técnicas ultrasónicas para la inspección y la detección de defectos dentro de árboles, con el objetivo de evaluar la integridad estructural de los árboles de parques y de jardines públicos.

Emerson *et al* (2001) utilizaron láminas de madera perforadas para simular defectos en la madera. Con estas láminas se confeccionó una viga de madera laminada colada. Aplicando pulsos ultrasónicos fue posible detectar los orificios en el interior de la viga.

Otros métodos para el análisis de las características e integridad sanitaria de madera que usan ultrasonido son presentados en los trabajos de Feio (2005), Fuller *et al* (1994), Shaji *et al* (2000), Bucur y Declercq (2006) y De Groot *et al* (1998).

Este trabajo presenta una metodología para la inspección de la madera de elementos estructurales atacados por insectos xilófagos, mediante pulsos ultrasónicos. Esta metodología ayuda en la detección y evaluación de los defectos internos de la madera. Con las informaciones obtenidas es posible determinar las áreas degradadas y mostradas por medio de isocromáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayos no Destructivos (LEND) del Centro de Investigación Avanzada de Muebles, de Madera y de nuevos Materiales (CPAM³) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Federal de Minas Gerais. Para la evaluación de la metodología propuesta fueron utilizados: una viga de madera laminada colada (Figura 3), un equipo de ultrasonido marca James II con dos transductores de ondas longitudinales de 500 kHz (Figura 4), y accesorios diversos para acoplar los transductores en la superficie de la madera.

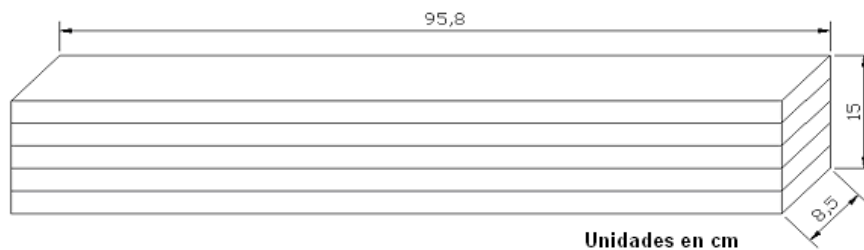


Figura 3. Viga de madera laminada colada y sus dimensiones.



Figura 4. Equipo de ultrasonido (a) y transductores (b).

El valor de la frecuencia de 500 kHz para los transductores se mostró eficiente en el ensayo, pues esta frecuencia es sensible a los vacíos pequeños (agujeros causados para las termitas, trincas, etc.) dentro de la madera.

La metodología consiste, en primer lugar, en la determinación de las dimensiones de la madera y su inspección visual que ayuda en la orientación de las regiones de la viga que potencialmente fueron atacadas. Después de eso, se hace necesaria una medida de referencia del tiempo de propagación del pulso ultrasónico, que represente regiones donde la madera está sana. Es necesario usar más de un punto, porque si el valor de uno de los puntos es discrepante, es decir, potencialmente dañado, podemos excluir este valor y luego tomar un promedio del resto.

El siguiente paso es dibujar una malla cuadrangular en la viga (Figura 5). Esto es muy importante porque la medida de los pulsos de ultrasonido se realiza en los puntos asignados. De esta manera,

cuanto más detallada la discretización de la malla (cuadrícula menor), mejor es la caracterización del lugar atacado en la madera.

La medida del tiempo de propagación del pulso ultrasónico se realiza en los puntos asignados en la viga. Si la asignación no es satisfactoria, una nueva malla cuadrícula será hecha. El refinamiento será efectuado cuando uno o varios puntos presenten valores de los tiempos de propagación discrepantes con los valores de tiempo de propagación de referencia. Esto indica que esta región está potencialmente atacada.

Finalmente, se hace la transferencia de los datos para un programa que dibuja las isocromáticas de los valores de tiempo de propagación de los pulsos ultrasónicos obtenidos, mostrando las regiones atacadas en la madera.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para la medida de referencia del tiempo de propagación del pulso ultrasónico fueron medidos los tiempos en cinco puntos diferentes, escogidos al azar en cada lámina. Los resultados que se muestran en el Cuadro 1 se refieren a los promedios de los tiempos de propagación encontrados en cada lámina. La representación de las láminas en la viga laminada colada se encuentra en la Figura 5.

Cuadro 1. Medida de referencia del tiempo de propagación del pulso ultrasónico.

Lámina	Tiempo promedio de propagación (μ s)
A	80.3
B	55.8
C	76.4
D	63.4
E	80.7
Tiempo promedio	71.3

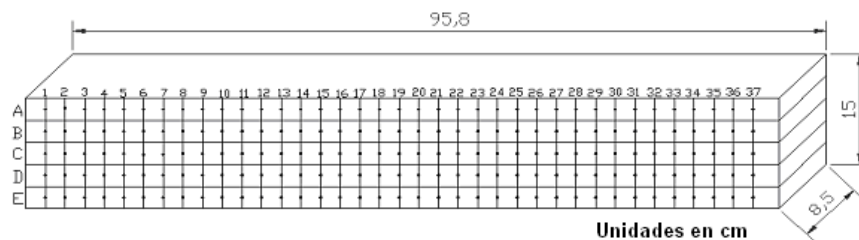


Figure 5. Representación esquemática de la primera discretización de la malla.

Se realizaron dos discretizaciones de la malla, la primera fue uniforme en toda la viga y la segunda, con mayor refinamiento, apenas en las regiones potencialmente degradadas.

La primera fue preliminar, apenas para poder encontrar regiones degradadas. Las medidas de la cuadrícula fueron de 2.5 cm, iniciando en una de las extremidades de la viga y en las 5 láminas, como se muestra en la Figura 5. Después de eso, fueron medidos los tiempos de propagación de los pulsos ultrasónicos en todos los puntos de esta asignación.

Los tiempos de propagación obtenidos en la primera discretización se compararon con el tiempo de referencia de cada lámina. En caso de que las mediciones de los tiempos de propagación de la primera discretización sean diferentes de los valores de referencia, la región puede indicarse como potencialmente degradada. La segunda discretización apenas fue hecha en las regiones que fueron atacadas potencialmente, como se muestra en las Figuras 6 y 7. El detalle de estas regiones discretizadas de la malla se muestra en las Figuras 8, 9 y 10.



Figura 6. Representación real de la segunda discretización de la malla.

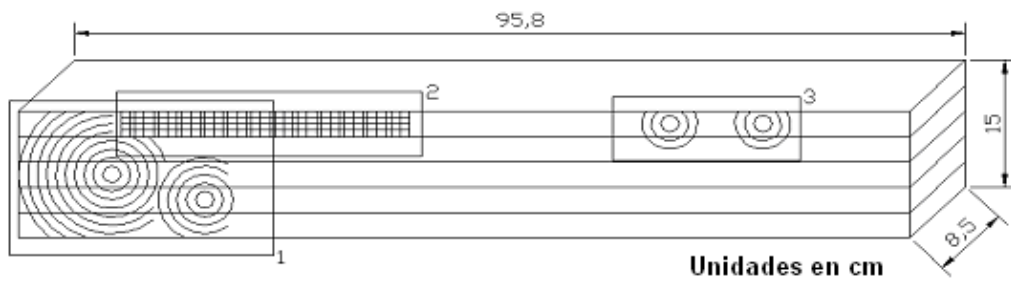


Figura 7. Representación esquemática de la segunda discretización de la malla.

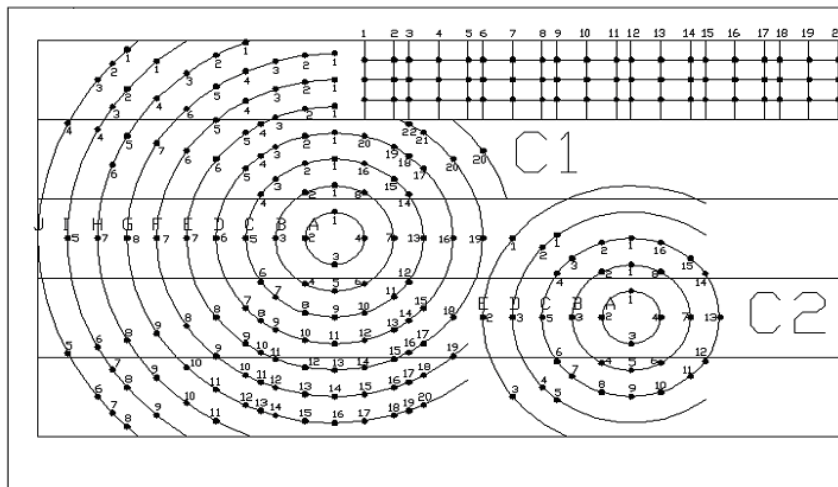


Figura 8. Detalle de la región 1.

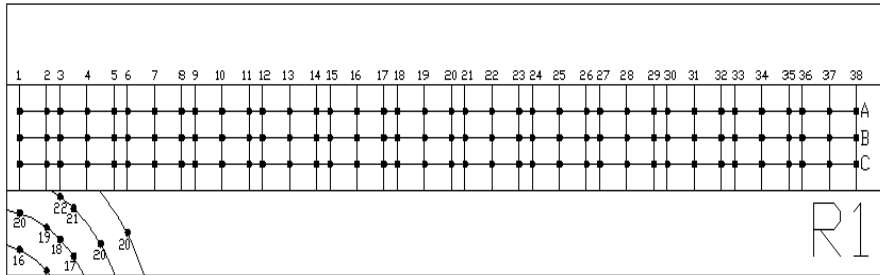


Figura 9. Detalle de la región 2.

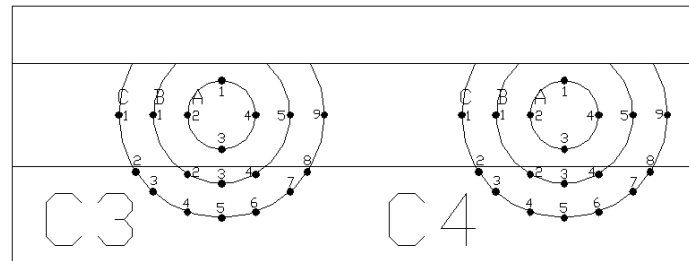


Figura 10. Detalle de la región 3.

A través de las mediciones de los tiempos de propagación del pulso ultrasónico en la segunda discretización de la malla, las curvas de los mismos tiempos de propagación de los pulsos fueron representados utilizando el software SigmaPlot[®], versión 10, como puede verse en la Figura 11. Este recurso computacional hace posible la transformación de estas curvas en isocromáticas para una mejor visualización de las áreas degradadas, como se muestra en la Figura 12.

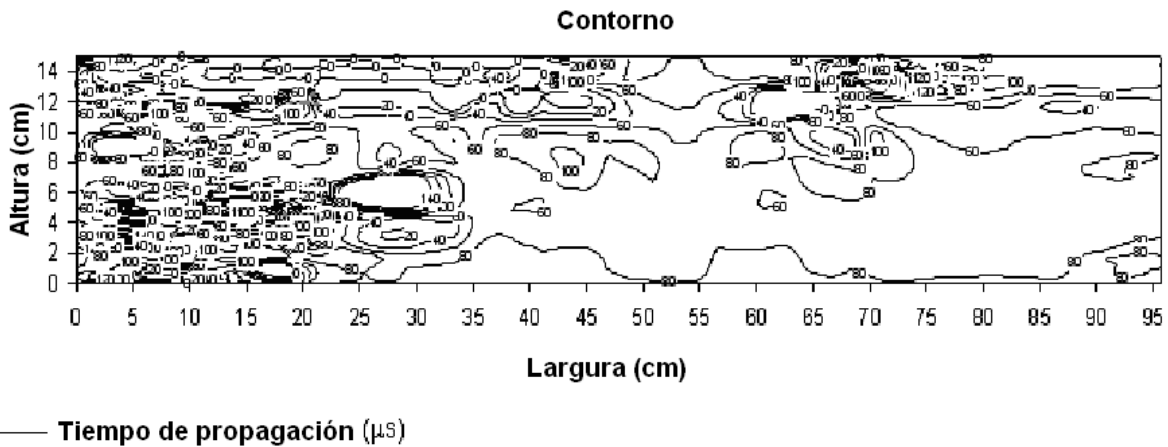


Figura 11. Contornos que indican las regiones con el mismo tiempo de propagación.

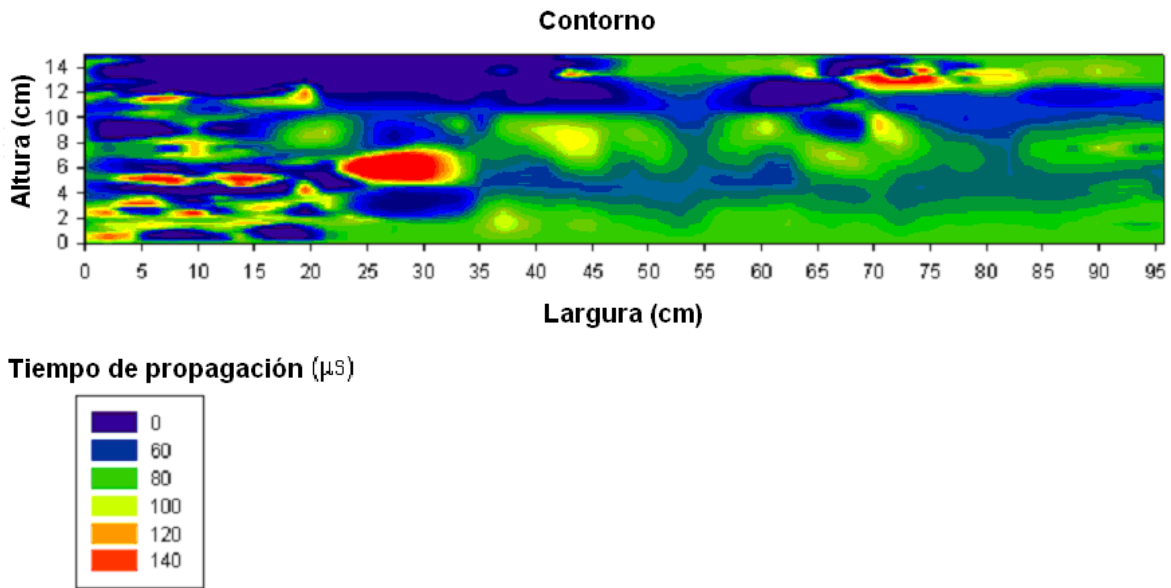


Figura 12. Localización de deterioraciones en la viga.

La simbología de la Figura 12 indica el tiempo de propagación (en μs) para que el pulso se disloque de un lado a otro de la viga. El valor del tiempo de propagación de 0 μs está relacionado con la reflexión del pulso e indica un posible obstáculo en su trayectoria. De esta forma, tomándose en consideración que un pulso no se propaga en espacios vacíos, estos obstáculos pueden indicar el ataque de insectos xilófagos. Los valores superiores a 100 μs , de acuerdo con los tiempos de propagación del pulso ultrasónico de referencia, sugieren la ocurrencia de difracción de los pulsos debidos a las fisuras, trincas y grietas, que muchas veces son decurrentes de la naturaleza propia de la madera. Si se desvía el pulso, el tiempo de propagación aumenta. La Figura 13 representa los fenómenos de la difracción y de la reflexión de pulsos.

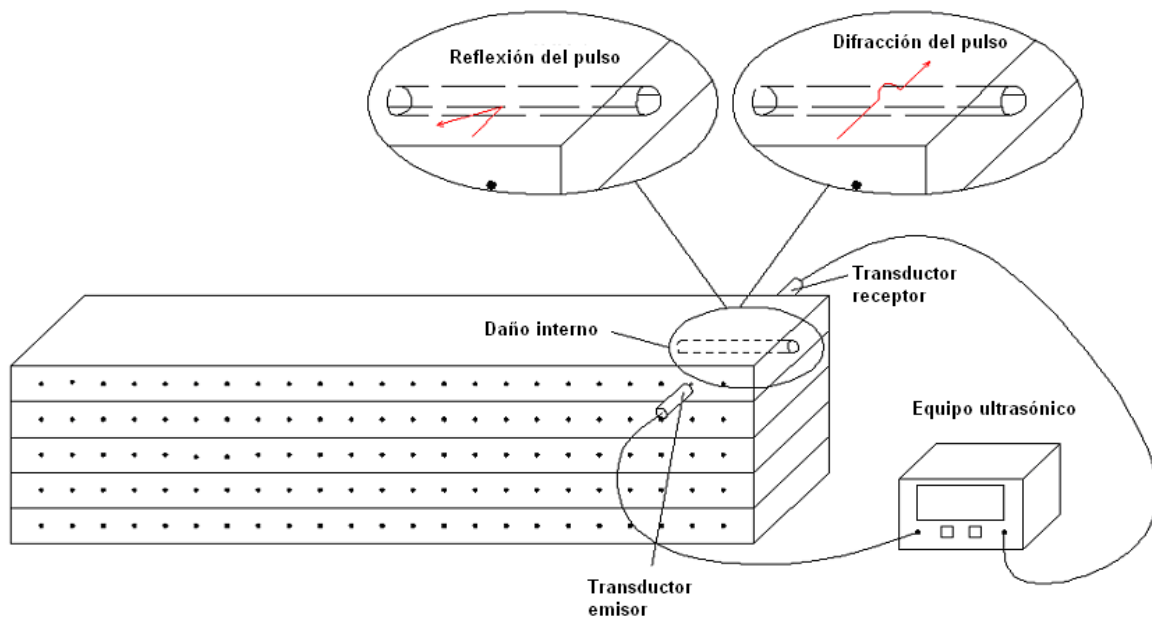


Figura 13. Influencia de defectos en la emisión de un pulso ultrasónico.

Al final de los ensayos fue hecha una inspección visual en el interior de la viga, en la cual se pudo comprobar que algunas regiones estaban realmente dañadas, con pequeñas fisuras, grietas y huecos. El deterioro de la parte interna de la madera, obtenido por el análisis de resultados, puede estar asociado a defectos de crecimiento de la madera o a deterioración biológica causada por insectos xilófagos.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de los ensayos, se puede concluir que esta metodología dará resultados satisfactorios para la localización de las regiones potencialmente atacadas en las estructuras de madera de construcciones históricas. Este estudio permite una evaluación más exacta y confiable de los elementos de madera en construcciones históricas. Evitará el reemplazo innecesario de elementos de la estructura íntegros, supuestamente deteriorados o hasta la sustitución de elementos muy deteriorados que podrían poner en peligro la estabilidad global de la estructura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por el patrocinio de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bucur, V. 2005. Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees. *Ultrasonics*. 43(4):237-239.
- Bucur, V; Declercq, NF. 2006. The anisotropy of biological composites studied with ultrasonic technique. *Ultrasonics*. 44(12): E829-E831.
- De Groot, RC; Ross, RJ; Nelson, WJ. 1998. Non-destructive assessment of wood decay and termite attack in southern pine sapwood. *Wood Protection*. 3(2):25-34.
- Emerson, R; Pollock, D; Mclean, D; Friedly, K; Pellerin, R; Ross, R. 2002. Ultrasonic inspection of large bridge timbers. *Forest Products Journal*. 52(9):88-95.
- Emerson, R; Pollock, D; Mclean, D; Friedly, K; Ross, R; Pellerin, R. 2001. Ultrasonic inspection of a glued laminated timber fabricated with defects. *Transportation Research Board Annual Meeting (90th, Washington, US). Proceedings 2001, Washington, US, TRB*. 11:1-19.
- Feio, JO. 2005. Inspection and diagnosis of historical timber structures: NDT correlations and structural behavior. Ph. D. Thesis, Braga, PT, University of Minho. 183 p.
- Fuller, JJ; Ross, RJ; Dramm, JR. 1944. Honeycomb and surface check detection using ultrasonic nondestructive evaluation. Washington, us, Department of Agriculture. Research Note FPL-RN-0261.
- Sandoz, JL. 1996. Structural timber quality assurance using ultrasound. *In International Wood Engineering Conference (4th, Louisiana, US). Proceedings 1996. Louisiana, US. Vol.3. p.233-238.*
- Shaji, T; Somayaji, S; Mathews, MS. 2000. Ultrasonic pulse velocity technique for inspection and evaluation of timber. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 12(2):180-185.
- Targa, LA; Ballarin, AW; Biaggioni, MAM. 2005. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. *Engenharia Agrícola*. 25(2):291–299.
- Teles, CD. 2002. Estruturas de madeira: proposta de metodologia de inspeção e correlação da velocidade ultra-sônica com o dano por cupins. Ms. S. Thesis, Florianópolis, BR, Federal University of Santa Catarina. 197 p.