

COMPORTAMENTO DAS VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE ULTRASSOM EM DISCOS DE MADEIRA COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DETERIORAÇÃO

Palavras-Chave: inspeção de árvores, deterioração por fungos; cavidades no fuste

Autores:

José Victor Gonçalves Cardoso – Universidade Estadual de Campinas
Prof.^a Dr.^a Raquel Gonçalves(orientadora) – Universidade Estadual de Campinas
Stella Stopa Assis Palma (coorientadora) – Universidade Estadual de Campinas

INTRODUÇÃO

Árvores são essenciais em áreas urbanas, tanto do ponto de vista decorativo como ecológico, favorecendo trocas benéficas ao meio ambiente. Entretanto sua integridade física pode ser comprometida pela presença de fungos e insetos, que as atacam reduzindo sua resistência e comprometendo sua estabilidade. É possível avaliar o nível da deterioração causada ou a presença de cavidades a partir de técnicas não destrutivas. Uma dessas técnicas é a tomografia ultrassônica, que tem mostrado resultados bastante positivos pois, a partir de metodologia adequada, aliada a softwares para o pós-processamento de dados, é possível gerar imagens representativas do interior da árvore na seção ensaiada. Essas imagens são formadas por cores associadas a faixas de velocidade. As velocidades em cada uma das rotas vão depender das propriedades do material ao longo do percurso e da existência de cavidades ou de deteriorações. Por meio de estudos anteriores já se sabe que, de forma geral, em regiões com cavidades e ou com deterioração severa a velocidade diminui, mas é necessário conhecer, de forma mais precisa, o grau de redução da velocidade frente aos diferentes tipos de deterioração e, assim, verificar se essa redução é proporcional ao comprimento da rota ou à dimensão do defeito. Assim, esse projeto de iniciação científica teve por objetivo estudar o comportamento das velocidades de propagação de ondas em diferentes condições de sanidade e de tipos e dimensões de defeitos, utilizando para isso as rotas de medição da malha de difração (Divos e Szalai, 2002) adotada em inspeções por tomografia ultrassônica.

METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados utilizando equipamento de ultrassom (USLab, Agricef -Brasil) com transdutores exponenciais de 45 kHz, em 12 discos de madeira. Esses dados foram tabelados em planilhas formatadas para calcular a velocidade e o comprimento de cada rota de medição da malha de difração. A projeção das rotas da malha de medição da propagação das ondas de ultrassom foi realizada utilizando o *Paint*. Para cada uma das fotos da superfície dos discos foram colocados os números dos pontos das malhas de difração e, em seguida, esses pontos foram ligados com retas replicando o esquema das rotas de medição (Figura 1).



Figura 1 - Malha de difração de 8 pontos.

Utilizando o software *ImageJ* as imagens foram trabalhadas individualmente e, utilizando a distância conhecida entre dois pontos, a escala foi alterada de pixel para centímetro. O comprimento das rotas de medição foi calculado, e a partir deles e dos tempos de propagação das ondas mensurados na malha de difração, foi possível calcular as velocidades associadas a cada rota. O ponto principal dessa pesquisa foi estudar o efeito das condições de sanidade nas velocidades mensuradas, por isso o próximo passo foi determinar quais partes de cada rota passavam por regiões deterioradas ou com cavidades, e anotar o comprimento que essas regiões abrangem dentro de cada rota. Para isso, novamente foi utilizado o software *ImageJ*, com a ferramenta *Straight line* e *Measure*.

Após os cálculos, os dados foram organizados em tabelas, por disco, apresentando-se, para cada uma das 28 rotas, o comprimento da rota que passou pela madeira íntegra, pela madeira com deterioração e pela cavidade e a respectiva velocidade de propagação das ondas obtida na rota. Com esses dados calculou-se a porcentagem da rota que estava com madeira íntegra, que estava com madeira deteriorada ou que continha cavidade, assim como o valor percentual da velocidade de propagação da onda em relação à velocidade máxima obtida considerando todas as rotas no disco.

Os resultados foram então avaliados estatisticamente. Para isso, as porcentagens de comprimentos (íntegros, deteriorados e com cavidade) de cada rota foram divididos em faixas de porcentagem em relação ao percurso total da rota (Tabela 1). Quando a condição era de madeira íntegra em todo o percurso (100%) o correspondente de madeira deteriorada e com cavidade era 0%.

Tabela 1. Faixas indicativas da porcentagem da rota na qual a madeira estava íntegra, com deterioração ou com cavidade

Comprimento da rota (L)	Percurso com madeira íntegra	Percurso com madeira deteriorada	Percurso com cavidade
= 100% de L (condição íntegra) e 0% de L (deteriorada ou com cavidade)	1	11	11
90% ≤ L < 100%	2	1	1
80% ≤ L < 90%	3	2	2
70% ≤ L < 80%	4	3	3
60% ≤ L < 70%	5	4	4
50% ≤ L < 60%	6	5	5
40% ≤ L < 50%	7	6	6
30% ≤ L < 40%	8	7	7
20% ≤ L < 30%	9	8	8
10% ≤ L < 20%	10	9	9
L < 10%	11	10	10

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das 336 rotas mensuradas (28 por disco para 12 discos), 210 (63%) se apresentavam com 100% de madeira íntegra, tendo o restante parte íntegra e parte com deterioração e/ou cavidades. Das rotas, 17% apresentavam alguma parte biodeteriorada e 31% alguma parte com cavidade. Na madeira íntegra a porcentagem média da velocidade máxima foi de 77%, indicando que mesmo na madeira sem deterioração ou cavidade há variação de velocidade. Esse comportamento é esperado já que a madeira é um material heterogêneo e ortotrópico e as rotas passam por diferentes regiões do fuste (cerne e alborno) e com inclinações diferentes em relação aos anéis de crescimento (tangenciais, radiais e mistas).

Na madeira íntegra a velocidade foi sendo reduzida conforme a porcentagem de madeira íntegra também sofria redução (Tabela 1 – de 1 a 11), confirmando o comportamento esperado para a velocidade de propagação das ondas de ultrassom. O modelo que melhor representou a variação da velocidade com a redução de madeira íntegra no percurso foi o “Y ao quadrado recíproco-X”, com P-valor = 0,0000, R = 0,997 e R² = 99% (Figura 2).

Na madeira com deterioração só foram encontradas condições de rotas classificadas nas faixas à partir de 7 (até 40% da rota com deterioração). O melhor modelo de correlação entre a variação de velocidade e o nível de presença de cavidades não foi estatisticamente significativo (P-valor = 0,083) com 95% de nível de confiança. O comportamento da variação da velocidade indicou que, até a faixa 9 (até 20% da rota com deterioração) as velocidades foram praticamente constantes e em torno de 30% da velocidade máxima. Para a faixa 10 (<10% da rota com deterioração) a velocidade sobe para 43% da máxima e, na condição 11 (sem biodeterioração) atinge média de 69%, abaixo da obtida na madeira 100% íntegra (77%), porque ainda pode passar por algum nível de cavidade (Figura 3). Os comprimentos com deterioração nas rotas variaram de 3,0 a 22,3 cm. Modelo de correlação estatisticamente significativo (P-valor 0,0098), com 95% de nível de segurança, foi obtido entre a variação da velocidade e a dimensão da deterioração, com coeficiente de correlação negativo (R = -0,34), ou seja, conforme a dimensão da deterioração aumenta a % de velocidade máxima diminui. Porém, o coeficiente de determinação (R² = 11%) foi muito baixo, provavelmente porque o efeito da deterioração não

esteja isolado, mas sim misturado com zonas sem deteriorações e, até mesmo, zonas com cavidades.

Na madeira com cavidade só foram encontradas condições de rotas classificadas nas faixas à partir de 5 (até 60% da rota com cavidade). Nesse caso foi obtido modelo de correlação estatisticamente significativo (P-valor = 0,0059) entre a variação de velocidade e o nível de cavidade. O melhor modelo foi o “logaritmo Y – quadrado – X” (%velocidade máxima = $\exp [3,1 + 0,009 8 (\text{nível de cavidade})^2]$) com $R = 0,90$ e $R^2 = 81\%$. Observa-se que, até a faixa 8 (até 30% da rota com cavidade) as velocidades foram praticamente constantes e em torno de 30% da velocidade máxima. Para as faixas 9 (<20% da rota com cavidade) e 10 (<10% da rota com cavidade) a velocidade ficou em torno de 50% da máxima e, na condição 11 (sem cavidade) atinge média de 75%, apenas um pouco abaixo da obtida na madeira 100% íntegra (77%) (Figura 4). Os comprimentos com cavidades nas rotas variaram de 5,9 a 31,0 cm. Da mesma forma como ocorreu com a parte deteriorada, há modelo de correlação estatisticamente significativo (P-valor = 0,0000), com 95% de nível de confiança, entre a variação da velocidade e a dimensão da cavidade. A correlação também é inversa ($R = -0,41$) ou seja, a velocidade reduz com o aumento da cavidade, mas o coeficiente de determinação também é baixo ($R^2 = 17\%$) provavelmente também pela mesma razão, ou seja, a velocidade não está afetada apenas pela cavidade.

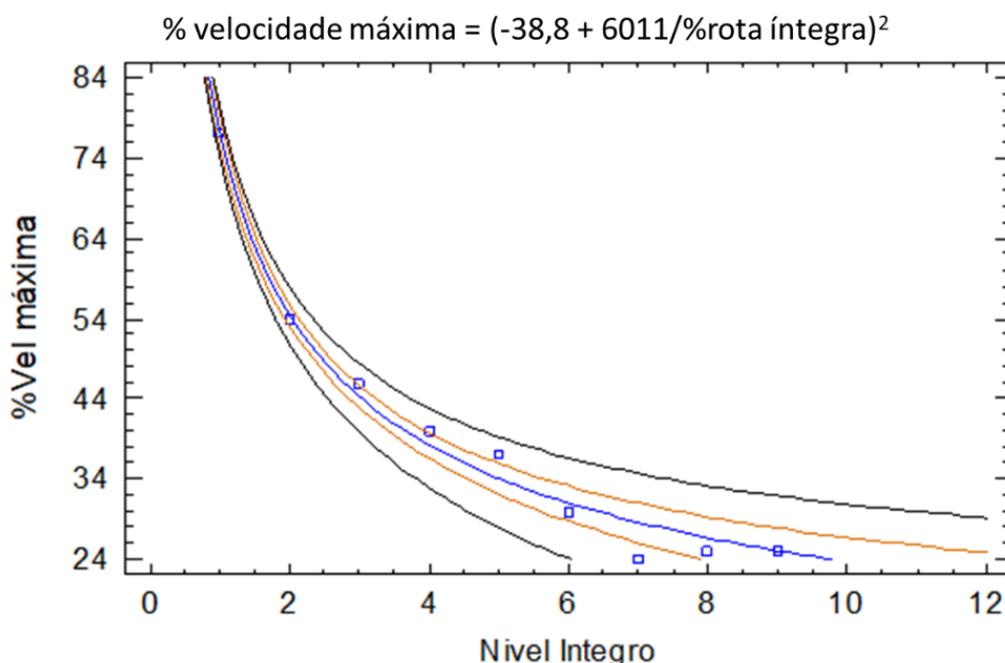


Figura 2. Modelo de regressão que melhor se adaptou aos dados de variação da % de velocidade máxima em função dos níveis de comprimento íntegro (Tabela 1) nas rotas de medição

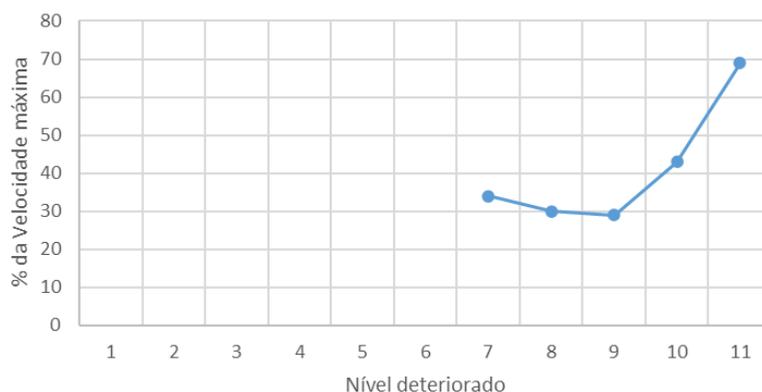


Figura 3. Comportamento da variação da % de velocidade máxima em função dos níveis de comprimento com deterioração (Tabela 1) nas rotas de medição

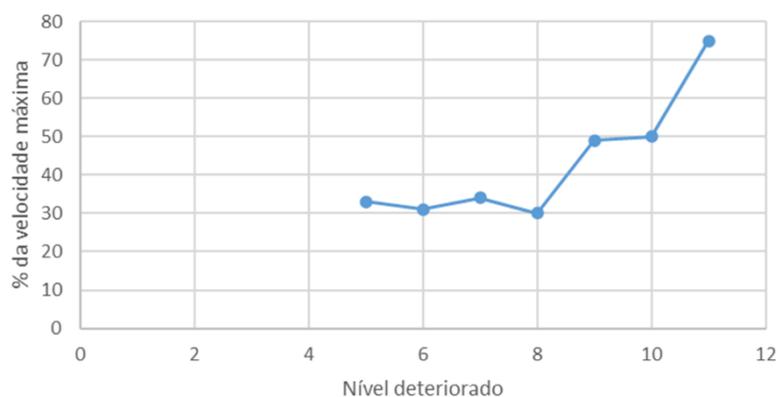


Figura 4. Comportamento da variação da % de velocidade máxima em função dos níveis de comprimento com cavidade (Tabela 1) nas rotas de medição

CONCLUSÕES

A velocidade de propagação das ondas de ultrassom nas rotas de medição é sensível à condição da madeira, decrescendo à medida que a condição de integridade da madeira na rota diminui. Nos níveis estudados a porcentagem da velocidade máxima se manteve em torno de 30% tanto para rotas nas quais a deterioração correspondia a 20% do trecho percorrido quanto para aquelas nas quais a cavidade correspondia a 30% do trecho percorrido.

BIBLIOGRAFIA

Divos, F.; Szalai, L. 2002. Tree evaluation by acoustic tomography. In: *Proceedings of the 13th International symposium on nondestructive testing of wood*, WI: Forest Products Society, August 19– 21; Berkeley, CA, p. 251–256, 2002