



INFERÊNCIA DOS COEFICIENTES DE POISSON DA MADEIRA POR MEIO DA VELOCIDADE DE CISALHAMENTO OBTIDA POR ULTRASSOM

Mateus S. P. Leite da Silva^{1*}, Cinthya Bertoldo², Rafael G. M. Lorensani³

¹mateusslsilva@gmail.com; ²cinthyab@unicamp.br; ³rafaelmansini@hotmail.com

RESUMO: A utilização de métodos de propagação de ondas para acessar a qualidade da madeira ainda na árvore é influenciada por diferentes mecanismos de propagação de ondas. Como consequência a velocidade de propagação de ondas nas árvores é diferente da obtida em ensaios na tora recém abatida ou nas vigas dela provenientes. Estudos mostram que é possível melhorar a predição das propriedades de resistência e de rigidez da madeira, a partir de ensaios de ultrassom realizados na árvore, com a inserção de alguns parâmetros da madeira ao modelo, como é o caso do coeficiente de Poisson. Porém, para que seja possível obter valores para o coeficiente de Poisson, é preciso fazer a caracterização completa da madeira e, para isso, é necessário derrubar a árvore para a confecção de corpos de prova. Sendo assim, o objetivo da pesquisa é verificar a possibilidade de inferir os coeficientes de Poisson da madeira por meio da velocidade de cisalhamento obtida por equipamento de ultrassom em pequenas amostras cilíndricas retiradas da árvore. Os ensaios da pesquisa foram realizados em 6 árvores de *Leucaena leucocephala* das quais foram retiradas amostras cilíndricas por meio de trado de incremento. Foram realizados ensaios de ultrassom nas amostras cilíndricas para obtenção das velocidades de cisalhamento e, a caracterização completa da madeira, foi feita com o mesmo equipamento, com a utilização de poliedros de 26 faces. Os resultados da pesquisa mostraram que é possível prever o coeficiente de Poisson da madeira no plano RL, sendo que a velocidade de cisalhamento ou o coeficiente de rigidez conseguem explicar 82% e 85%, respectivamente, a variabilidade do coeficiente de Poisson.

Palavras-chave: Trado de incremento, predição das propriedades da madeira, caracterização da madeira.

OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de inferir os coeficientes de Poisson da madeira por meio da velocidade de cisalhamento obtida por equipamento de ultrassom em pequenas amostras cilíndricas retiradas da árvore.

INTRODUÇÃO

A utilização de métodos de propagação de ondas para acessar a qualidade da madeira ainda na árvore tem sido um dos focos atuais de pesquisa nessa área. No entanto, um dos problemas para a aplicação dessa tecnologia diretamente em árvores é a influência de diferentes mecanismos de propagação de ondas, que ocorre em função das características do meio e interfere nos resultados. Como consequência a velocidade de propagação de ondas obtida em ensaios nas árvores é diferente da obtida em ensaios na tora recém abatida ou nas vigas proveniente do processamento da tora. Adicionalmente, a velocidade obtida na tora ou na viga é melhor correlacionada com as propriedades mecânicas do que a velocidade obtida na árvore (BERTOLDO, 2014).

Bertoldo (2014) realizou estudo com o objetivo de obter modelos que permitissem prever propriedades de resistência (f_m) e de rigidez (E_M) da madeira a partir da avaliação acústica na árvore. Como resultado da pesquisa, o autor obteve que, os coeficientes de determinação dos modelos de predição das propriedades mecânicas, à partir das velocidades nas árvores, corrigidos pela densidade saturada, pelo diâmetro na altura do peito e pelo coeficiente de Poisson, foram semelhantes ou superiores aos obtidos pelos modelos de previsão dessas propriedades (f_m e E_M) a partir das velocidades obtidas diretamente em toras ou em vigas.

METODOLOGIA

Com apoio do Departamento de Meio Ambiente do campus da UNICAMP, foram selecionadas 6 árvores de *Leucaena leucocephala* para a pesquisa. De cada uma das árvores, foram retiradas 3 amostras cilíndricas na altura do peito (1,30 m do solo), com auxílio do trado de Pressler (Figura 1a), de aproximadamente 3,0 mm de diâmetro e 80,0 mm de comprimento e ao final, todas as 18 amostras (Figura 1b) foram devidamente identificadas e acondicionadas em sacos plásticos selados e, acomodados no freezer para manutenção na umidade.

As amostras na condição saturada foram ensaiadas com equipamento de ultrassom (EP1000, Olympus, Japão) (Figura 1c) e transdutores de ondas transversais de faces planas e frequência de 1000 kHz, para a obtenção dos tempos de propagação das ondas de cisalhamento três eixos de simetria da madeira. Para geração dos modelos, também foram obtidos os coeficientes de rigidez (C_{44} , C_{55} , C_{66}).

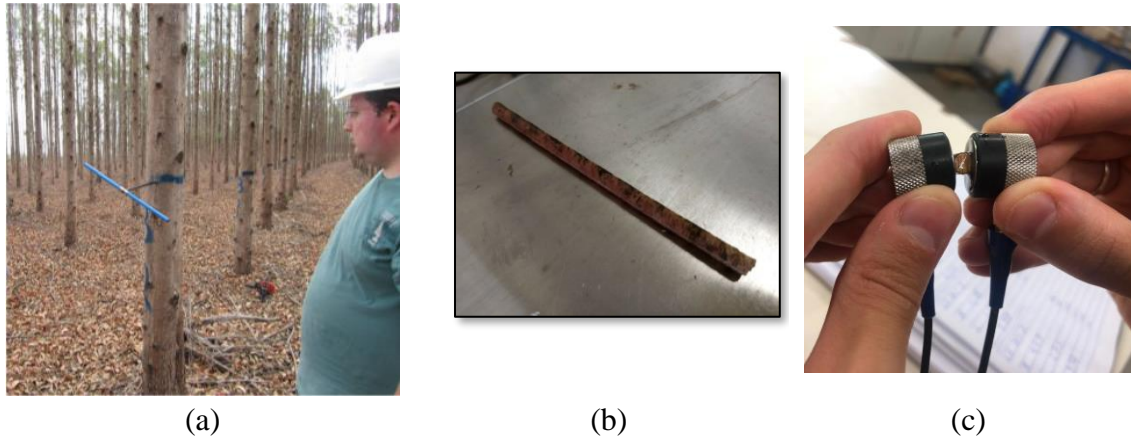


Figura 1. Retirada de amostra com o trado de Pressler (a), amostra retirada (b) e ensaio de ultrassom realizado em amostra de 10 mm de comprimento (c).

De posse das dimensões das amostras cilíndricas e do tempo de propagação das ondas de cisalhamento obtidas através do ensaio de ultrassom, foi possível calcular a velocidade de cisalhamento nos três eixos de simetria da madeira.

Para a caracterização completa da madeira, necessária para a obtenção dos coeficientes de Poisson, que foram correlacionados com as velocidades de cisalhamento das amostras cilíndricas, foram retirados 3 corpos de prova poliédricos de 26 faces de cada árvore, com aproximadamente 55 mm de distância entre faces (Figura 2a). Para a caracterização foi utilizado mesmo equipamento de ultrassom e transdutores de compressão e de cisalhamento de 1000 kHz de frequência. Os ensaios foram realizados com a madeira na condição saturada e o acoplamento dos transdutores de faces planas ao corpo de prova foi feito através do uso de glucose de amido (Figura 2b).

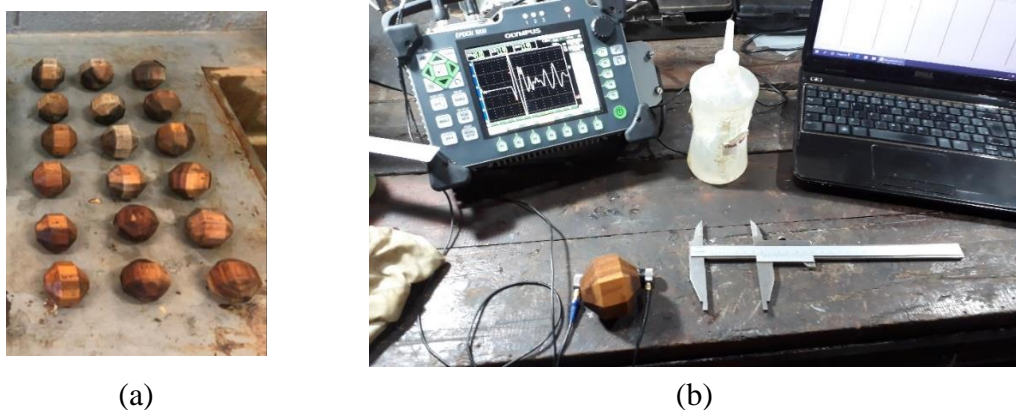


Figura 2: Poliedros de 26 faces prontos para os ensaios (a) ensaio de ultrassom em poliedro de 26 faces para a caracterização completa da madeira (b).

De posse das velocidades foram obtidos os coeficientes da matriz de rigidez [C] utilizando-se as equações de Christoffel. A matriz de rigidez [C] foi invertida utilizando-se

métodos matemáticos e, com essa inversão, foi determinada a matriz de flexibilidade [S] que contém todos os parâmetros elásticos envolvidos na caracterização completa na madeira.

RESULTADOS OBTIDOS

As velocidades de cisalhamento média nas amostras cilíndricas variaram de 566 m.s⁻¹ (V_{TR}) a 1166 m.s⁻¹ (V_{RL}) sendo que os coeficientes de variação das médias variaram de 6% (V_{TL}) a 33% (V_{RL}) (Tabela 1). A densidade básica da madeira de leucena (ρ_B) obtida nessa pesquisa foi de 1076 kg.m⁻³ (Tabela 1). Os coeficientes de rigidez, apresentaram relações coerentes às encontradas na literatura, na qual: C_{66(LR)} > C_{55(LT)} > C_{44(RT)} (Tabela 1).

Tabela 1. Velocidades médias de propagação de ondas de cisalhamento, médias de densidade básica e de coeficientes de rigidez e coeficiente de variação (C.V.) para as amostras cilíndricas retiradas das árvores.

Bagueta	Velocidades de propagação de ondas de cisalhamento (m.s ⁻¹)						ρ_B (kg.m ⁻³)	Coeficientes de rigidez (MPa)		
	V _{RL}	V _{LR}	V _{RT}	V _{TR}	V _{TL}	V _{LT}		C ₄₄	C ₅₅	C ₆₆
Média	1166	807	791	566	681	701	1076	525	540	1020
C.V. (%)	33	9	31	25	6	10	7	50	19	36

Apesar de todos os parâmetros elásticos da madeira terem sido determinados (Tabela 2), somente os valores obtidos para os 6 coeficientes de Poisson foram utilizados na geração de modelos de correlação.

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros elásticos, coeficiente de variação (C.V.) para os poliedros de leucena.

Amostras	Módulos de elasticidade longitudinais (MPa)			Módulos de elasticidade Transversais (MPa)			Coeficientes de Poisson					
	E _L	E _R	E _T	G _{RT}	G _{LT}	G _{LR}	v _{RL}	v _{TL}	v _{LR}	v _{TR}	v _{LT}	v _{RT}
Média	5088	1676	1503	543	754	942	0,23	0,21	0,75	0,18	0,78	0,20
C. V. (%)	12	13	10	37	15	21	13	28	15	55	20	54

Analisando os modelos gerados a partir de regressões simples, verificou-se que somente a inferência do coeficiente de Poisson no plano RL se apresentou estatisticamente significativa (Tabela 3). A velocidade de cisalhamento RL (V_{RL}) e o coeficiente de rigidez C₆₆ explicam 82% e 85%, respectivamente, da variação do coeficiente de Poisson no mesmo plano (U_{RL}).

Tabela 3. Modelos de regressão, P-valor, coeficientes de correlação (R) e de determinação (R²) para os modelos gerados.

	Modelo	P-valor	R	R² (%)
V_{RL} X V_{RL}	$V_{RL} = \sqrt{0,0776122 - 25,4644/V_{RL}}$	0,013	-0,91	82
V_{LR} X V_{LR}	$V_{LR} = 1/(0,218701 + 901,222/V_{LR})$	0,112	0,71	51
V_{LT} X V_{LT}	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-
V_{TL} X V_{TL}	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-
V_{TR} X V_{TR}	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-
V_{RT} X V_{RT}	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-
V_{RL} X C₆₆	$V_{RL} = 1/(3,46002 + 814,115/C_{66})$	0,009	0,84	85
V_{LR} X C₆₆	$V_{LR} = 1/(1,07752 + 254,628/C_{66})$	0,105	0,72	52
V_{LT} X C₅₅	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-
V_{TL} X C₅₅	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-
V_{TR} X C₄₄	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-
V_{RT} X C₄₄	Não tem modelo estatisticamente significativo	-	-	-

CONCLUSÃO

Os resultados dessa pesquisa mostraram que dentre todos os modelos gerados a partir de regressões entre as velocidades de cisalhamento ou os coeficientes de rigidez e os coeficientes de Poisson, somente a inferência do coeficiente de Poisson no plano RL apresentou-se estatisticamente significativa. A velocidade de cisalhamento RL (V_{RL}) e o coeficiente de rigidez C_{66} explicam 82% e 85%, respectivamente, da variação do coeficiente de Poisson no mesmo plano (U_{RL}). Apesar dos outros modelos de predição do coeficiente de Poisson não terem sido estatisticamente significativos, o resultado obtido com essa pesquisa já se apresentou de grande importância, pois esse é justamente um dos coeficientes utilizados para prever a velocidade nas toras e nas vigas de madeira a partir da velocidade de ultrassom obtida nas árvores.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Cinthya Bertoldo Pedroso que foi uma ótima orientadora e sempre me ajudou em momentos de dificuldade. Ao meu co-orientador Rafael Gustavo Mansini Lorensani e todos do LabEND da FEAGRI pela colaboração na realização dos ensaios e em todos os momentos de dúvidas e dificuldades.

Ao PIBIC/SAE pela oportunidade de uma iniciação científica e auxílio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOLDO, C. Propriedades de resistência e de rigidez da madeira obtidas a partir da avaliação acústica na árvore. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas. 146p. Campinas, 2014.