

Influência de tratamentos preservativos na propagação da onda ultrassônica na madeira de eucalipto

B. D. Mattos¹, D. A. Gatto², A. L. Missio¹, T. V. Lourençon¹

¹Graduando do Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, Brasil

²Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Pelotas-RS, Brasil

brunodufamattos@yahoo.com.br

(Recebido em 20 de novembro de 2011; aceito 20 de fevereiro de 2012)

Esse estudo teve como objetivo identificar as alterações na velocidade de propagação de ondas provocadas por dois tratamentos preservativos pelo método de imersão simples nas madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus teretirconis* e *Corymbia citriodora*. Para tanto foram selecionadas três árvores adultas para cada espécie, com fuste retilíneo, com no mínimo 30 cm de diâmetro a 1,30 m, provenientes de plantios homogêneos. Esse material foi selecionado e extraído ao acaso, as toras foram desdobradas na serraria da FEPAGRO e os corpos de prova confeccionados e tratados com preservativos de CCB (borato de cobre cromatado) e de óleo queimado. Os ensaios foram realizados com aparelho de transmissão de ondas ultrassônicas e os transdutores utilizados foram do tipo ponto seco. Por meio desse estudo pode-se verificar que os dois tratamentos preservativos foram capazes de alterar significativamente a velocidade de onda na madeira de *Eucalyptus saligna*.

Palavras-chaves: avaliação não destrutiva, eficiência de preservação, transdutor ponto seco.

This study aimed to identify changes in the speed of wave propagation caused by two preservative treatments simple by immersion in the woods of *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus teretirconis*. The study selected three mature trees for each species, good stem, at least 30 cm in diameter at breast height, from homogeneous stands. This material was selected and drawn at random, the logs were deployed at the sawmill and the FEPAGRO specimens prepared and treated with preservatives CCB (copper chromate borate) and waste oil. The assays were performed with an apparatus for transmitting ultrasonic waves and transducers used were type dry spot. Through this study it is found that the two preservative treatments were able to significantly alter the wave speed in the wood of *Eucalyptus saligna*.
Key-words: nondestructive evaluation, efficiency treatments, point-contact transducers.

1. INTRODUÇÃO

A madeira serve à humanidade desde o seu surgimento, devido a sua facilidade de transformação e por ser um material renovável, cujo aproveitamento racional não prejudica o meio ambiente. Além disso, a madeira possui um potencial altamente favorável ao meio ambiente para utilização como material de construção, por representar um recurso renovável, não fóssil, de baixa demanda energética em seu processo de produção, além de ter um importante papel como medida estratégica na diminuição da concentração de CO₂ na atmosfera [1]. Todavia, pelo próprio processo de crescimento e pelas características microestruturais e anatômicas, a madeira em geral apresenta significativa sensibilidade à deterioração biológica, dessa forma são necessários cuidados e controle da sua durabilidade.

Algumas espécies do gênero *Eucalyptus* são naturalmente duráveis [2]. Segundo o estudo realizado pelo CSIRO [3] com madeiras provenientes de florestas naturais da Austrália a madeira de *Eucalyptus saligna* é durável quando exposta ao ataque de fungos e moderadamente durável quando exposta a cupins, já a madeira de *Eucalyptus tereticornis* é altamente durável aos dois tipos de ataque xilófago. Em estudos sobre a durabilidade da madeira de 15 espécies de

Eucalyptus foram definidas como duráveis ao ataque de fungos as madeiras de *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora* [4].

Para madeiras que não possuem durabilidade natural satisfatória são utilizados preservativos visando à proteção contra os ataques de fungos, bactérias e insetos. Esses preservativos são substâncias ou formulações químicas de composição e características definidas, que podem ser aplicadas na madeira por diversos métodos. A eficiência dos tratamentos preservativos em madeira geralmente é avaliada através de testes de campo ou provas de serviço e com ensaios laboratoriais. Estudos nesse sentido foram conduzidos por diversos autores, e os resultados obtidos mostram que a madeira preservada com preservativos hidrossolúveis tipos CCA ou CCB tem apresentado uma durabilidade maior que a madeira sem tratamento, mesmo quando aplicados por meio de processos sem pressão [5 e 6].

As avaliações não destrutivas, conhecidas como “NDE”, tomam cada vez mais espaço frente aos métodos destrutivos de análise de materiais. A avaliação não destrutiva de materiais é, por definição, a ciência da identificação das propriedades de uma peça de material sem alterar a sua capacidade de uso final [7].

Dentre as técnicas não destrutivas, a propagação de ondas ultrassônicas é hoje utilizada a nível mundial como parâmetro para a avaliação da qualidade de todo o tipo de material, inclusive a madeira. Diversos fatores influem na propagação de ondas na madeira, esses fatores inerentes às variações da onda na madeira são: propriedades anatômicas (dimensões de fibras e porosidade), físicas (massa específica básica e aparente), morfológicas (tipos de lenhos e ângulo de grã) e a presença de defeitos (nós e rachaduras) [8].

As avaliações não destrutivas apresentam vantagens em relação aos métodos convencionais para caracterização da madeira por possibilitar a avaliação da integridade estrutural de uma peça sem a extração de corpos de prova, assim como apresentar maior rapidez nas análises de uma grande população e versatilidade para se adequar a uma rotina padronizada numa linha de produção [9]. Assim, a avaliação não destrutiva é uma importante ferramenta para a caracterização da madeira, podendo ser utilizada pelas indústrias para melhorar o controle de qualidade dos processos através de uma maior uniformidade na matéria prima e em seus derivados [10].

Nesse contexto, este estudo tem por objetivo verificar a alteração na propagação de ondas de ultrassom provocada por dois tipos de tratamentos preservativos nas madeiras de, *Eucalyptus saligna* Smith., *Eucalyptus tereticornis* Smith. e *Corymbia citriodora* Hill & Johnson, como subsídio para o desenvolvimento tecnológico do setor de preservação de madeiras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Confeção dos corpos de prova

Foram selecionadas três árvores adultas para cada espécie, de bom fuste, com no mínimo 30 cm de diâmetro a altura do peito (DAP). As árvores foram extraídas dos plantios da FEPAGRO – FLORESTAS, localizados no município de Santa Maria – RS.

O material foi selecionado pela extração ao acaso, conforme norma COPANT [11] e ASTM [12]. As toras foram desdobradas, na serraria da FEPAGRO, por meio de cortes tangenciais com dimensões de 2,5 x 20 cm para espessura e largura e 2,8m de comprimento. Posteriormente, as tábuas foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Pelotas (LTM - UFPel) onde foram confeccionados os corpos de prova com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente. Tomou-se cuidado para não haver presença da madeira de alburno nos corpos de prova, visto que possui propriedades distintas.

2.2 Tratamentos avaliados

Os tratamentos foram realizados por método sem pressão, num procedimento de imersão simples, aos quais os corpos de prova ficaram imersos na substância preservativa por um período de duas horas. Esse tempo foi o dobro do estipulado como mínimo pela literatura [13].

O preservativo químico (hidrossolúvel) utilizado em um dos processos de tratamento foi o borato de cobre cromatado (CCB), cuja composição especificada pela NBR 9480 [14] foi: Cobre (CuO 26,0 %), Cromo hexavalente, (CrO3 63,5 %) e Boro (B 10,5 %).

O segundo tratamento foi escolhido por representar boa parte dos tratamentos em madeira na zona rural de pequenos municípios, este por sua vez é a base de óleo queimado, proveniente de motores a óleo.

Dessa forma os tratamentos avaliados basearam-se na combinação das três espécies florestais (*Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora*) e dos dois tipos de tratamentos (óleo queimado, CCB), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Delineamento dos tratamentos do estudo

Tratamento	Espécie	Preservante	Nº de amostras
1	<i>Eucalyptus saligna</i>	CCB	64
2	<i>Eucalyptus saligna</i>	Óleo	64
3	<i>Corymbia citriodora</i>	CCB	64
4	<i>Corymbia citriodora</i>	Óleo	64
5	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	CCB	64
6	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Óleo	64

2.3 Ensaio de ultrassom

Por meio do equipamento de ultrassom, foi medido diretamente o tempo de propagação da onda, em microssegundos (μ s). Os transdutores (sensores responsáveis pela emissão e percepção das ondas) utilizados foram do tipo ponto seco com frequência de 54 kHz. Foram realizadas três leituras da velocidade de propagação da onda, no sentido longitudinal dos corpos de prova, antes e após os tratamentos preservativos.

2.4 Climatização dos corpos de prova

Os corpos de prova foram estabilizados em câmara climatizada com 65% de umidade relativa do ar e temperatura de 20°C para obter a umidade de equilíbrio da madeira em 12%. Nessas condições, os corpos de prova foram admitidos em equilíbrio quando sua massa atingiu a constância. A determinação da massa e a obtenção da velocidade do som na madeira antes e após os tratamentos preservativos foram realizadas nessa condição de equilíbrio para que não ocorresse interferência do teor de umidade nos ensaios.

2.5 Determinação da massa dos corpos de prova

Para a determinação do incremento em massa, em favor do tratamento preservativo na madeira, foi utilizada uma balança analítica digital com precisão de 0,001g.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios, para as três espécies, da velocidade de propagação de onda ultrassônica na madeira não tratada e após os tratamentos preservativos.

Tabela 2 – Velocidade de propagação de onda ($m.s^{-1}$) para as madeiras de eucalipto.

		<i>Eucalyptus saligna</i>		<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus tereticornis</i>	
		CCB	Óleo	CCB	Óleo	CCB	Óleo
Não tratada	μ	3.732 a	3.717 a	3.316 a	3.351 a	3.864 a	3.858 a
	ς	49,51	71,25	218,10	200,98	55,17	64,66
	cv	1,33	1,92	6,57	5,99	1,43	1,67
Tratada	μ	3.764 b	3.782 b	3.365 a	3.385 a	3.883 a	3.883 b
	ς	49,17	66,23	217,98	207,49	56,45	59,16
	cv	1,31	1,75	6,47	6,13	1,45	1,52
ANOVA	F	11,70	23,87	1,66	0,97	3,28	4,46
	P	< 0,001	< 0,001	0,199	0,326	0,073	0,036

Em que: μ = média; ς = desvio padrão; cv = coeficiente de variação; F = razão F e P = Valor p. Médias, na coluna, seguidas por letras iguais não possuem diferença estatisticamente significativas entre si, de acordo com o teste HSD de Tukey.

A velocidade de propagação de ondas nas madeiras desse estudo em geral foram inferiores as encontradas na literatura. Para *Patagonula americana* e *Araucaria angustifolia*, a literatura apresenta valores entre 4.600 – 6.000 $m.s^{-1}$ para a velocidade de onda na madeira de lenho juvenil e adulto dessas espécies, e verifica que os maiores valores se encontravam no lenho adulto de ambas [15]. Ao estudar a velocidade de propagação no sentido longitudinal na madeira *Pinus taeda* foi verificado valores entre 5.000 – 6.000 $m.s^{-1}$ [16], para a mesma espécie [17] encontrou velocidade média de 5.368 $m.s^{-1}$ em madeira isenta de defeitos. Por outro lado em estudos sobre as madeiras *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* observou-se velocidade da onda no sentido longitudinal, obtida pelos transdutores de pontos secos, entre 2.210 e 2.750 $m.s^{-1}$ [8].

Essa variação acentuada nos valores pode ser atribuída a fatores como a diferença nas propriedades anatômicas entre as espécies, a diferença na massa específica, nas condições operantes relacionadas ao tipo de aparelho de ultrassom, assim como o tipo de transdutores.

Os tratamentos preservativos, por imersão simples foram capazes de alterar significativamente a velocidade de onda na madeira de *Eucalyptus saligna* e para *Eucalyptus tereticornis* apenas o tratamento com óleo foi significativo, todavia nenhum dos dois foi capaz dessa alteração para a madeira de *Corymbia citriodora*, (Tabela 2).

Os tratamentos para madeira realizados sem a aplicação de pressão são tidos como superficiais, ou seja, boa parte ou quase todo preservante fica retido na superfície da madeira, não atingindo assim seu interior [18]. A Tabela 3 apresenta a influência dos tratamentos e das espécies na retenção superficial de preservantes na madeira. Pelos resultados é possível afirmar que o incremento em massa, oriundo dos tratamentos preservativos, é influenciado pelo produto, espécie e pela combinação desses fatores.

Tabela 3 – Análise de variância para o incremento em massa (g) dos corpos de prova referente às substâncias preservativas.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Razão F
Produto	1	89,98	89,98	187,51**
Espécie	2	22,99	11,49	23,96**
Produto x espécie	2	8,06	4,03	8,40**
Resíduos	347	166,51	0,47	
Total	352	288,21		

Em que: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; ** = significativo em nível de 1% probabilidade de erro.

Na Tabela 4 são mostrados os valores médios das variáveis que foram significativas para o incremento em massa oriundo dos tratamentos preservativos.

Tabela 4 – Comparação múltipla do incremento em de massa (g) para a interação entre espécie versus tratamento preservativo.

Espécie	Tratamento	
	CCB	Óleo
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,79 ± 0,09 bA	1,89 ± 0,08 bB
<i>Corymbia citriodora</i>	0,43 ± 0,09 aA	1,04 ± 0,09 aB
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	0,53 ± 0,08 aA	1,86 ± 0,09 bB

Em que: média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não possuem diferença estatisticamente significativa entre si, de acordo com o teste HSD de Tukey em nível de 5% de significância.

Para as três madeiras o tratamento realizado com óleo reteu mais preservante do que o tratamento realizado com CCB. De modo geral, pode-se explicar a baixa retenção de preservativos nos corpos de prova devido à utilização da madeira de cerne, visto que essa madeira tem alta impermeabilidade, devido à morte celular, acúmulo de substâncias, e ocasionalmente, a obstrução dos vasos por tilos [19 e 20].

Na Tabela 5 são mostradas as equações de regressão e seus respectivos parâmetros estatísticos para a estimativa do incremento de massa em função do acréscimo da velocidade de onda ultrassônica.

Tabela 5 – Equações ajustadas para o incremento em massa (IM em g) estimado pelo acréscimo de velocidade (AV em m.s⁻¹).

Código	Modelo	R ²	MAE	Valor p
ES-C	IM=0,470515 + 0,000169918*AV ²	25,8	0,4371	<0,001
ES-O	IM=0,979496 + 0,000166169*AV ²	48,8	0,6429	<0,001
CC-C	IM=0,318027 + 0,0000674177*AV ²	46,1	0,2274	<0,001
CC-O	IM=0,873859 + 0,0000633113*AV ²	15,1	0,3521	0,004
ET-C	IM= √(0,351292+0,000004484*AV ²)	0,21	0,3515	0,725
ET-O	IM=exp[0,109105 + 0,0649314*√(AV)]	9,81	0,4758	0,024
Geral	IM= 0,755816 + 0,0000982293*AV ²	17,7	0,6716	<0,001

Em que: EC = *Eucalyptus saligna*; CC = *Corymbia citriodora*; ET = *Eucalyptus tereticornis*; CCB = C; óleo queimado = O, R² = coeficiente de determinação (%); Valor p = valor de probabilidade e MAE = erro médio absoluto.

Observa-se que para *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora* houve uma relação direta e quadrática quanto ao acréscimo na velocidade de propagação de ondas para a estimativa do incremento em massa proporcionado pelos tratamentos preservativos, por outro lado não foi observado esse comportamento para *Eucalyptus tereticornis*.

Os melhores parâmetros observados foram os da equação referente ao tratamento com óleo queimado na madeira de *Eucalyptus saligna*, seguido do modelo referente ao tratamento com CCB para a madeira de *Corymbia citriodora*. As equações dessas duas espécies foram estatisticamente significativas, porém são poucos determinantes.

4. CONCLUSÃO

O *Eucalyptus saligna* apresentou diferença significativa entre a velocidade de onda antes e após o tratamento, o que permitiu gerar modelos ajustados significativos.

A utilização dos transdutores de ponto seco se mostrou promissora para esse tipo de estudo, sendo ainda necessário a realização de mais pesquisas com madeiras mais permeáveis para confirmar esse estudo.

- [1] BARBOSA, J.C.; INO, A. Madeira, Material de Baixo Impacto Ambiental na Construção Civil. Análise do Ciclo de Vida. In: II ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2001. Canela. **Anais...** Canela – RS: II ENECS, 2001.
- [2] COOKSON, L. J.; TRAJSTMAN, A. **Decay evaluation of the effectiveness of a losp envelope treatment in eucalypt and meranti heatwoods for window joinery**. Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation, Sectoin 3, Wood protecting chemical, 1996. 12p.
- [3] CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). **Revised CSIRO natural durability classification in ground durability ratings for mature outer heartwood**. Clayton: 1997.
- [4] CARLOS, V. J. Resistência a insetos xilófagos. **Preservação**. v.21, n.11, p.25, 1996.
- [5] COSTA, A. F. et al. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**. v.12, n. 1, p.07-14, 2005
- [6] PAES, J.B. et al. Eficiência do CCB na resistência da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) a cupins xilófagos em ensaio de alimentação forçada. **Floresta e Ambiente**. v.15, n.1, p. 01-12, 2008.
- [7] ROSS, R.J. **Nondestructive testing of wood – nondestructive evaluation of civil structures and materials**. Boulder: University of Colorado, 1992. 6p.
- [8] CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira**. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.
- [9] OLIVEIRA, F. G. R.; SALES, A. Ultrasonic measurements in brazilian hardwood. **Materials Research**. v. 5, n. 1, p. 51-55, 2002.
- [10] ERIKSON, R. G. et al. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodge pole pine, ponderosa pine and grand fir trees from northern Idaho. **Forest Products Journal**. v.50, n. 7/8, p. 59-65, 2000
- [11] COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Selección y colección de maderas**. 30:1- 001. COPANT, 1971.
- [12] ASTM (American Society for Testing and Materials). 1995. **Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties**. ASTM D5536-94. Philadelphia.
- [13] MAGALHÃES, W.L.E.; GUIOTOKU, M. Imersão de peças de eucalipto utilizadas em embalagens de estruturas metálicas em solução de borato de cobre cromatado. **Comunicado Técnico EMBRAPA**. n. 145, 4p, 2005
- [14] ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Mourões de madeira preservada para cercas**, NDB 9480. Rio de Janeiro, 1986. 18p
- [15] STANGERLIN, D.M. et al. Obtenção do módulo de elasticidade em madeiras de *Patagonula americana* e *Araucaria angustifolia* por meio do método ultrassonor. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. v.11, 15p, 2008.
- [16] BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.19-28, 2005.
- [17] PUCCINI, C.T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som**. 2002. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.
- [18] ROCHA, M.P. **Biodegradação e Preservação da Madeira**. Curitiba: FUPEF, 2001. 92p.
- [19] SANTINI, E.J. **Biodetruição e preservação da madeira**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 125p.
- [20] PANSHIN, A.J.; DE ZEEUM, C. **Text book of wood technology**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.