

RESISTÊNCIA AO CHOQUE DA MADEIRA DE *Platanus x acerifolia* EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE¹

Rafael Beltrame², Bruno Dufau Mattos², Darci Alberto Gatto², Marília Lazarotto² e Clóvis Roberto Haselein³

RESUMO – Este estudo teve como objetivo avaliar a resistência ao choque da madeira de plátano (*Platanus x acerifolia* (Airton) Willd.) ensaiada em condições de equilíbrio a 12% de umidade e ao PSF. Para tanto, foram utilizadas árvores procedentes de duas regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul. Os corpos-de-prova foram submetidos ao choque utilizando pêndulo de CHARPY e avaliados quanto à resistência oferecida com a aplicação da carga nos planos tangencial e radial e posições de retirada (medula-casca) nas toras, nas duas regiões fisiográficas e em cada condição de umidade, de acordo com a Norma NF B51-009 (AFN, 1942). Para auxiliar na interpretação dos dados, determinou-se a massa específica aparente a 12% e saturada, teor de umidade, trabalho absorvido, coeficiente de resiliência e cota dinâmica. Dessa maneira, pôde-se verificar, por meio dos resultados, que a madeira de plátano é mais resistente ao choque na condição de madeira saturada (PSF) quando comparada com a condição a 12% de umidade. Todavia, os resultados do estudo indicaram que a madeira de plátano não é recomendada para usos que dependem de sua capacidade de absorver energia e dissipá-la.

Palavras-chave: Caracterização mecânica; Flexão dinâmica; Madeira saturada.

IMPACT RESISTANCE OF Platanus x acerifolia WOOD

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate the impact resistance of *Platanus x acerifolia* wood tested under balance conditions at 12% moisture and saturated. Thus, trees from two different physiographic regions in the state of Rio Grande do Sul were used. The samples were submitted to the impact using a CHARPY pendulum and evaluated for its resistance offered by the application of load at radial, tangential and withdrawal positions (pith - bark) for the two physiographic regions in each condition of moisture, according to NF B51-009 (AFN, 1942) Standard. To help to interpret data, the apparent density at 12% and saturated, moisture content, work absorbed, coefficient of resilience and dynamic quota were determined. Thus it could be verified by the results that the wood of *Platanus x acerifolia* is more resistant to impacts when saturated (FSP) than at the condition of 12% moisture content. However, the results suggest that this wood is not recommended for uses which depend on its ability to absorb and dissipate energy.

Keywords: Dynamic bending; Saturated wood in water; Wood quality.

¹ Recebido em 06.04.2011 aceito para publicação em 06.08.2013.

² Universidade Federal de Pelotas, UFPEL, Brasil. E-mail: <browbeltrame@yahoo.com.br>, <brunodufaumattos@gmail.com>, <darciatto@yahoo.com> e <lilalazarotto@yahoo.com.br>.

³ Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil. E-mail: <clovis.haselein@ufsm.br>.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Gonçalves et al. (2009), só é possível intensificar a utilização da madeira como matéria-prima para fins industriais ou construtivos se houver o conhecimento adequado de suas propriedades, sejam elas físicas ou mecânicas. A madeira, por ser elemento orgânico, heterogêneo e composto basicamente de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, apresenta enorme versatilidade de usos para obtenção de uma série de produtos.

Os estudos referentes à resistência ao impacto de madeiras tiveram seu início durante o Século XIX no Reino Unido, quando enorme quantidade de recursos foi designada para o setor de desenvolvimento de navios de guerra de madeira. Segundo Johnson (1986), o casco desses navios deveria ser resistente o suficiente para suportar o impacto dos projéteis de canhão. Dessa forma, foi coletada grande quantidade de dados e informações sobre a reação da madeira quando atingida por objetos disparados em alta velocidade.

Já no Século XX ocorreu intensificação nas investigações sobre as características e propriedades referentes à ruptura da madeira, todavia as propriedades de impacto foram, de certa forma, negligenciadas. Desde então, a literatura disponível sobre resistência ao impacto limita-se a verificar os valores máximos de força de ruptura em choque de diferentes madeiras e negligencia as inúmeras variáveis envolvidas na resistência mecânica desse material que determinam esses valores de resistência (HEPWORTH, 2002).

Lisboa et al. (1993) afirmaram que só é possível utilizar um material com eficiência máxima se houver o conhecimento de suas propriedades físico-mecânicas, entre outras características, sobretudo quando se trata de uso estrutural, em que estão envolvidos aspectos de segurança e economicidade. Por esse motivo, a madeira merece destaque especial, em razão da grande variabilidade que suas propriedades apresentam em comparação com as de outros materiais, da sua adequabilidade a inúmeras utilizações e da enorme variedade de espécies.

Autores consagrados como Kollmann (1959), Panshin e De Zeeuw (1980), Bodig e Jayne (1993) e USDA (1999) destacaram que as propriedades mecânicas são afetadas diretamente pela massa específica, composição química e anatômica, ângulo das microfibrilas,

percentual de lenho juvenil, largura dos anéis de crescimento, inclinação da grã e teor de umidade, entre outros.

Entre esses fatores, Green et al. (1991) e Madsen (1992) verificaram que a relação entre resistência e umidade pode ser diferente em cada propriedade ou em madeiras de diferentes espécies. A resistência à compressão paralela às fibras é, segundo Madsen (1992), altamente sensível à variação do teor de umidade. Já a resistência à tração paralela às fibras e o módulo de elasticidade longitudinal em tração são menos sensíveis, mostrando diminuição com o aumento da umidade. Por sua vez, Beltrame et al. (2010) demonstraram que a resistência ao choque da madeira tende a crescer conforme o aumento de seu teor de umidade.

O comportamento contra força de impacto que age por apenas pequena fração de tempo é denominado resistência ao impacto, obtida do ensaio de flexão dinâmica (MORESCHI, 2005). A resistência ao impacto de um corpo sólido depende diretamente de sua habilidade em absorver energia e dissipá-la por meio de deformações. De acordo com esse mesmo autor, a resistência ao impacto é um ensaio importante para avaliar madeiras destinadas à confecção de cabos de ferramentas, carrocerias de caminhão e outras peças que utilizam a madeira para sustentação e dependem diretamente de sua capacidade em absorver energia e dissipá-la.

O plátano (*Platanus x acerifolia* (Airtón) Willd), da família Platanaceae, é bastante plantado no Rio Grande do Sul, principalmente em colônias italianas, atuando como sustentação de parreirais ou como quebra-ventos. Todavia, a madeira possui boa estabilidade dimensional e resistência à decomposição e pode ser indicada para revestimento de móveis finos, marcos de portas, janelas e usos afins (GATTO, 2006).

Na tentativa de ampliar a utilização do *Platanus x acerifolia* (Airtón) Willd (plátano), este trabalho objetivou determinar a resistência ao impacto dessa madeira em diferentes características tecnológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A resistência ao impacto da madeira de plátano foi avaliada quanto às posições (próxima à medula e próxima à casca), aos sentidos (tangencial e radial) e a duas condições de umidade (umidade de equilíbrio em 12% e acima do ponto de saturação das fibras, PSF), nas regiões da Encosta Superior do Nordeste (Região 1)

2.3. Procedimentos para os ensaios de flexão dinâmica

Para realização dos testes de resistência ao impacto, foi utilizado um pêndulo de CHARPY (Figura 2A) com capacidade para 100 joules.

Os corpos-de-prova foram colocados no vão da máquina de 24,0 cm e atingidos em sua região central pelo pêndulo. Após a queda do pêndulo, de uma altura “H” de 1 m, ocorre o impacto com o corpo-de prova, e o pêndulo segue seu percurso até uma altura “h” (Figura 2B). Por meio do princípio de conservação e transformação de energia, obteve-se o trabalho absorvido (W) na ruptura do corpo-de-prova (Figura 2CD), constatado na leitura da escala graduada em joules. Obtidos os resultados do trabalho absorvido (W), calculou-se a resistência ao impacto (equação 1) para fins práticos, segundo a NBR 7190 da ABNT (1997).

$$f_{bw} = \frac{1000.W}{b.h} \quad (1)$$

em que f_{bw} = resistência ao impacto, em kJ/m²; W = energia necessária para fraturar o corpo-de-prova, em Joules (J); e b e h = dimensões transversais do corpo de prova (mm).

Para comparação de resultados, obtidos por meio de outros instrumentos normativos, foi calculado o coeficiente de resiliência (equação 2), definido pela Norma NF B51-009, da Associação Francaise de Normalization AFN (1942).

$$K = \frac{W}{100.b.(h)^{\frac{10}{6}}} \quad (2)$$

em que K = coeficiente de resiliência (MPa.m); W = trabalho absorvido para romper o corpo-de-prova (J); e b e h = dimensões transversais do corpo de prova (cm).

A cota dinâmica (equação 3) atua como índice de mérito do material e é outro valor que foi calculado e tem a finalidade de comparar diferentes madeiras e, assim, avaliar a resistência ao impacto dos materiais sem levar em consideração a influência da massa específica (MORESCHI, 2005).

$$CD = \frac{10.K}{\rho_{ap}^2} \quad (3)$$

em que CD = cota dinâmica; K = coeficiente de resiliência (MPa.m); e ρ_{ap} = massa específica aparente (g/cm³).

2.4. Análise estatística dos dados

Para o estudo do comportamento à flexão dinâmica, os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA, e, em caso de rejeição da hipótese nula, as variáveis foram comparadas por teste de médias (Tukey, $p > 0,01$). Para auxiliar na interpretação dos resultados, foi feita a correlação linear de Pearson entre as variáveis, utilizando-se o pacote estatístico Statgraphics Centurion Plus Versão 15.2.05.

3. RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios da massa específica aparente (ρ_{ap}), o trabalho absorvido Haselein (W), o coeficiente de resiliência (K), a resistência ao impacto (f_{bw}) e cota dinâmica (CD) da madeira de plátano, nas condições de equilíbrio a 12% de umidade e ao PSF.

Os resultados indicaram que a madeira de plátano ao PSF apresentou as maiores médias de todas as características analisadas, com exceção da CD, o que mostra que o alto conteúdo de umidade não afeta negativamente a capacidade de absorção e dissipação de impactos.

Na Tabela 2 são apresentadas as médias da massa específica (ρ_{ap}), do trabalho absorvido (W), da resistência ao impacto (f_{bw}), do coeficiente de resiliência (K) e da cota dinâmica (CD) da madeira de plátano,

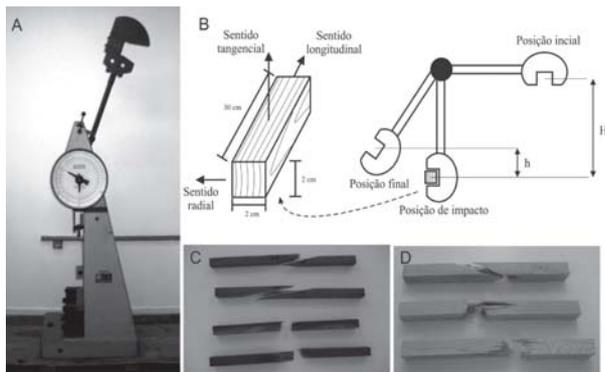


Figura 2 – Pêndulo de Charpy (A), esquema de impacto (B) e corpos-de-prova saturados (C) e a 12% (D) após os ensaios.

Figure 2 – Charpy pendulum (A), impact test scheme (B), saturated samples (C) and 12% moisture content wood (D) after test.

em relação às regiões Depressão Central (1) e Encosta Superior do Nordeste (2), posições e sentidos tangencial (Tg) e radial (Rd).

Por meio da análise de variância ANOVA, pôde-se verificar que a região, a posição e o sentido não foram fatores significativamente relevantes nas variações de todas as propriedades, nas duas condições de umidade.

Na Tabela 3 é apresentada a correlação linear de Pearson das variáveis das propriedades de flexão dinâmica. Verifica-se, nessa tabela, a baixa influência da ρ_{ap} no comportamento dessas variáveis.

4. DISCUSSÃO

Observou-se que os valores de W, K e f_{bw} chegaram a ser duas vezes maiores na madeira ao PSF quando comparada com a madeira a 12% de umidade. Vivian et al. (2010) verificaram na madeira de canafístula (*Peltophorum dubium*) o mesmo comportamento, em que os valores médios das mesmas propriedades foram 1,94 e 1,82 vez maior na madeira ao PSF, para respectivamente W e K. Dessa forma, os dois estudos corroboram entre si e seguem a tendência descrita por Beltrame et al. (2010) de aumentar a resistência ao choque com o acréscimo da umidade da madeira.

Tabela 1 – Comparação de resultados médios gerais para as duas condições de umidade.

Table 1 – Comparison of means for the two moisture content.

Condição	ρ_{ap} (g/cm ³)	W (J)	f_{bw} (kJ.m ⁻²)	K (MPa.m ⁻¹)	CD
12% umidade	0,68 a (0,04)	19,32 a(4,24)	48,32 a (10,62)	0,03 a (0,01)	0,65 b (0,14)
PSF	1,09 b (0,04)	28,27 b (9,29)	70,68 b (23,23)	0,04 b (0,01)	0,37 a (0,13)
Teste f	1582,96**	27,39**	27,39**	27,39 **	82,37**

Em que valores entre parênteses são desvios-padrão. Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey. ** significativo em nível de 1% de erro.

Tabela 2 – Valores médios das propriedades de flexão dinâmica para todas variáveis.

Table 2 – Mean values of dynamic bending properties for all variables.

Variáveis		Região 1	Região 2	Medula	Casca	Tg	Rd
ρ_{ap} (g/cm ³)	12%	0,68	0,68	0,67	0,69	0,68	0,69
	Sat.	1,09	1,10	1,10	1,09	1,09	1,10
W (J)	12%	20,22	18,79	18,48	20,53	18,58	20,42
	Sat.	26,30	30,25	27,56	28,98	28,69	27,86
f_{bw} (kJ.m ⁻²)	12%	50,55	46,97	46,20	51,32	46,45	51,06
	Sat.	65,75	75,62	68,91	72,46	71,72	69,65
K (MPa.m ⁻¹)	12%	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	Sat.	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
CD	12%	0,69	0,63	0,64	0,68	0,64	0,68
	Sat.	0,35	0,39	0,36	0,38	0,38	0,36

Tabela 3 – Correlação linear de Pearson das variáveis de flexão dinâmica nas condições de 12% de umidade e acima do PSF.

Table 3 – Pearson's linear correlation for the variables in dynamic bending conditions of 12% moisture and above the PSF.

Madeira		Propriedades de flexão dinâmica			
		W (J)	f_{bw} (kJ.m ⁻²)	K (MPa.m ⁻¹)	CD
12% de umidade	ρ_{ap} (g/cm ³)	0,24	0,24	0,24	-0,33*
Saturada	ρ_{ap} (g/cm ³)	-0,12	-0,12	-0,12	-0,36*

Em que * significativo a 5% de probabilidade erro e ** significativo a 1% de probabilidade erro.

Segundo Pedroso e Matos (1987) e comprovado por Beltrame et al. (2010), para uma madeira ser considerada resiliente, ou seja, de alta resistência ao impacto, o valor de Cota Dinâmica (CD) tem que ser superior a 1,2, visto essa cota ser a capacidade do material de suportar impacto relacionado à sua p_{ap} , tornando-se um índice de mérito do material. Considerando os valores deste estudo, a madeira de plátano não pode ser considerada como resiliente em nenhuma das condições de umidade.

Pazos et al. (2003), ao estudarem a resistência ao choque de espécies florestais do México, observaram que a madeira de *Lysiloma bahamensis*, com massa específica básica de 0,62 g/cm³ considerada como média, apresentou valores de 4,175 kgf.m na condição seca e 4,675 kgf.m na condição verde para o trabalho absorvido (W), 0,658 kgf.m/cm² e 0,716 kgf.m/cm² para o coeficiente de resiliência e 1,214 e 0,623 para a cota dinâmica. Essa superioridade de valores de flexão dinâmica entre esse estudo e o de Pazos et al. (2003) pode ser explicada pela diferença na constituição anatômica das espécies, visto que, segundo Hepworth et al. (2002), as propriedades anatômicas são grandes influenciadoras da capacidade da madeira de absorver cargas de choque e dissipá-las sem danos à sua estrutura.

Ainda nesse contexto, Christiansen (1997) comprovou que as variações de teores de umidade na madeira são importantes e podem provocar alterações nas propriedades de resistência mecânica. Todavia, concluiu que essas variações não podem ser atribuídas completamente a essas modificações nos teores de umidade.

Beltrame et al. (2010), ao estudarem a madeira de açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) em duas regiões, encontraram diferença estatisticamente significativa entre os valores médios de W, K, f_{bw} e CD. No entanto, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1999) definiu que essa madeira apresenta geralmente maior resistência a cargas de choque no sentido tangencial da estrutura anatômica do que no sentido radial, entretanto ambas as afirmações não foram confirmadas neste trabalho.

Com base na Tabela 3, pode-se afirmar que o W, K, f_{bw} e CD não se correlacionam com a massa específica aparente na madeira de plátano. Essa mesma situação já foi relatada anteriormente em estudos de Stangerlin et al. (2008) sobre espécies de *Eucalyptus botrioides*

e *Eucalyptus saligna* e de Beltrame et al. (2010) com espécie de *Luehea divaricata*, em que não conseguiram ajustes para essas propriedades. Tanto nesses quanto nos estudos anteriores não houve correlação entre as variáveis, sendo observados baixos coeficientes de correlação e determinação, assim como valores de probabilidades não significativos.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados deste estudo, pode-se considerar que a madeira de plátano é significativamente mais resistente ao impacto quando se encontra com umidade acima do ponto de saturação das fibras, em comparação a madeira na condição de 12% de umidade. Ao levar em conta os valores deste estudo, tem-se que a madeira de plátano não pode ser considerada como resiliente em nenhuma das condições de umidade, devendo ser evitado seu uso para cabos de ferramentas, carrocerias de caminhão e outras peças que utilizam a madeira para sustentação de ações dinâmicas.

6. REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**: ASTM D5536-94. Philadelphia: 1995. 9p.
- ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALIZATION - AFN. **Norme Francaise, bois essai de choc ou flexion dynamique**. NF B51-009. Paris:1942. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto de estruturas de madeiras**. NBR 7190. Rio de Janeiro:1997. 107p.
- BELTRAME, R. et al. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. *Cerne*, v.16, n.4, p.499-504, 2010.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. 2.ed. New York:Krieger Publishing Company, 1993. 712p.
- CHRISTIANSEN, A.W. **Effect of overdrying on toughness of yellowpoplar veneer**. Springer-Verlag:HolzalRoh-undWerkstoff, 1997. p.71-75.

- GATTO, D.A. **Características tecnológicas do vergamento das madeiras de *Lueheadivaricata*, *Caryaillinoensis* e *Platanus x acerifolia* como subsídio para o manejo florestal.** 2006. 115f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- GREEN, D. W.; EVANS, J. W.; PELLERIN, R. Moisture content and the flexural properties of lumber: species differences. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, London., 1991. **Proceedings...** London: 1991.
- GONÇALVES, F.G. et al. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptusurophylla* X *Eucalyptusgrandis*. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.501-509, 2009.
- HEPWORTH, D. G. et al. Variations in the morphology of wood structure can explain why hardwood species of similar density have very different resistances to impact and compressive loading. **Philosophical Transactions Royal Society London**, v.360, 1791 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16210180>), p.255-272, 2002.
- JOHNSON, W. Historical and present-day references concerning impact on wood. **International Journal Impact Engineering**, v.4, p.161-173, 1986.
- KOLLMANN, F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones.** Madrid: Gráficas Reunidas, 1959. 674p.
- LISBOA, C.D.J.; MATOS, J.L.M.; MELO, J.E. **Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras amazônicas.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, 1993.
- MADSEN, B. **Structural behaviour of timber.** North Vancouver: British Columbia. Canada, Timber Engineering, 1992.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira** - manual didático. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 124p.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4.ed. New York: 1980. 722p.
- PAZOS, G. B. et al. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba. **Madera y Bosques**, v.9, n.1, p.55-70, 2003.
- PEDROSO, O.; MATTOS, J. R. **Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Ataliba Paz, 1987. 181p. (Publicação IPRNR, n.20).
- STANGERLIN, D.M. et al. Avaliação da resistência ao impacto para as madeiras de *Eucalyptusbotrioides* e *Eucalyptussaligna*. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 10., 2008, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: 2009. CD ROM.
- UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE –USDA. **Wood as engineering material.** Washington: U.S.D.A., Forest Service, 1999. (Agriculture Handbook, 72)
- VIVIAN, M.A. et al. Resistência da madeira de canafístula (*Peltophorumdubium*(Spreng.) Taub.) ao psf e a umidade de equilíbrio. **Ciência da Madeira**, v.1, n.1, p.11-24, 2010. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/revistas/index.php/cienciadamadeira/article/view/7/cienciadamadeiran1v1a2>. Acessado em: 08 jan. 2011.

