



VCBCTEM

EFICIÊNCIA DE UM DURÔMETRO PORTÁTIL PARA DETERMINAR AS
DENSIDADES DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA AMAZÔNIA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA MADEIRA
E TECNOLOGIA DA MADEIRA

Lohana Vieira Souza¹; Heidy Vivian de Jesus Arantes¹; Laise de Jesus dos Santos²; Fernando Wallase Carvalho Andrade³; André Luis Macedo Vieira⁴; Luiz Eduardo de Lima Melo⁵

¹ Graduandas de Engenharia Florestal da Universidade do Estado do Pará - UEPA

² Doutoranda em Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras - UFLA

³ Professor no Instituto de Biodiversidade e Florestas da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA

⁴ Analista Ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio

⁵ Professor do Departamento de Tecnologia e Recursos Naturais e Coordenador do Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade do Estado do Pará - UEPA

* e-mail do autor correspondente: lohanavieira19@gmail.com

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um durômetro portátil para determinar a densidade de madeiras de espécies da Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri. Para a realização deste estudo foram feitas coletas de amostras de madeira retiradas de área de supressão florestal, inventariada pelo projeto Salobo Metais, que pertence a companhia Vale S.A. Foram analisadas amostras de quatorze espécies, retiradas no sentido medula-casca, após isso, as amostras foram submetidas as análises, de densidade básica, aparente e dureza dinâmica, esta medida através de um durômetro portátil. As espécies foram agrupadas de acordo com o valor médio da densidade e dureza dinâmica. Observa-se que as espécies de densidade alta foram também classificadas como de dureza dinâmica alta. O mesmo padrão foi observado para as espécies agrupadas como densidade básica média e baixa, com valores de durezas dinâmicas média e baixa, respectivamente. Conclui-se que a dureza dinâmica dessas espécies tem uma alta correlação com a densidade da madeira. Os resultados evidenciam que o teste com o durômetro portátil foi útil para prever a eficiência do equipamento, como preditor da propriedade mecânica de dureza dinâmica.

Palavras-chave: Amazônia. Densidade. Dureza dinâmica. Ensaio não-destrutivo.

EFFICIENCY OF A PORTABLE DUROMETER TO DETERMINE THE WOOD DENSITIES OF AMAZONIAN SPECIES

Abstract: The present work aimed to evaluate the efficiency of a portable durometer to determine the density of wood species of the Tapirapé-Aquiri National Forest. For this study, wood samples were collected from an area of forest suppression, inventoried by the Salobro Metais project, which belongs to the company Vale S.A. Samples of fourteen species were analyzed, taken in the direction from the pith to the bark. The species were grouped according to the average value of density and dynamic hardness. It was observed that species with high density were also classified as having high dynamic hardness. The same pattern was observed for the species grouped as medium and low basic density, with medium and low dynamic hardness values, respectively. It is concluded that the dynamic hardness of these species has a high correlation with wood density. The results show that the test with the portable durometer was useful to predict the efficiency of the equipment, as a predictor of the mechanical property of dynamic hardness.

Key-words: Amazon. Density. Dynamic hardness. Non-destructive testing.

1. INTRODUÇÃO



VCBCTEM

O estado do Pará registrou entre 2009 e 2015 a comercialização de 640 grupos de espécies comerciais, onde apenas 10 representaram cerca de 50% do volume total de madeira legal em tora comercializado [2]. Percebe-se que uma grande quantidade de espécies provenientes da floresta Amazônica são consideradas de baixo valor comercial ou não tem estudos de caracterização de uso, embora possam ter propriedades similares às aquelas tradicionalmente comercializadas [4]. A caracterização das propriedades físicas das madeiras, como sua densidade básica, pode auxiliar na seleção correta de espécies com qualidade para uso desejado [6].

Estudos evidenciam que métodos de ensaio não destrutivos realizados em madeira tem sido muito utilizada em pesquisas, uma vez que, os ensaios têm demonstrado alta precisão dos valores obtidos em teste, rapidez na aplicação do método, além de que, há possibilidade de reutilização da peça testada e não é necessário ter um ambiente laboratorial específico para a realização do estudo [7;9]. Nesse sentido, o durômetro portátil para madeiras - Terceira Geração (DPM3), tem se mostrado muito útil em prever a dureza dinâmica de madeiras, visto que, o equipamento é destinado a medir dureza dinâmica das madeiras, e essa propriedade apresenta boa correlação com as densidades da madeira [5].

Nesse sentido, este trabalho teve o objetivo de avaliar a eficiência de uso de um durômetro portátil para determinar a densidade de madeiras de espécies tropicais nativas da Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, visando aplicação em campo com uso de um equipamento portátil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com madeiras extraídas da área de supressão florestal inventariada pelo Projeto Salobo Metais, destinado a exploração de minério de cobre, que pertence à Companhia Vale S.A e encontra-se localizado na Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri (FLONATA), estado do Pará, Brasil ($5^{\circ}35'52''$ e $5^{\circ}57'13''$ de latitude sul e $50^{\circ}01'57''$ e $51^{\circ}04'20''$ de longitude oeste). As espécies para estudo foram selecionadas a partir da análise prévia do inventário florestal da área (STCP dados não publicados), restringindo-se a indivíduos com diâmetro a 1,30m do solo (DAP) ≥ 10 cm. Foram coletados discos com 8 cm de espessura da porção basal das árvores. Destes foram obtidos sarrafos diametrais divididos na porção central (medula) e produzidos corpos de prova no sentido radial (medula-casca) para a caracterização física e mecânica das madeiras. Foram utilizadas amostras de forma prismáticas com 2cm^2 de área transversal e 5 cm de comprimento na direção longitudinal (ao longo das fibras).

As propriedades físicas analisadas foram, densidade básica (ρ_{bas}) e densidade aparente

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises de densidade básica das espécies (Tabela 1) foi possível a formação de três grupos distintos. O primeiro grupo formado por *Cenostigma tocaninum*, *Endopleura uchi*, *Bagassa guianensis* apresentaram densidade básica pesada ($> 0,72 \text{ g.cm}^{-3}$). O segundo grupo formado por *Senegalia polyphylla*, *Guarea guidonea*, *Zanthoxylum ekmanii*, *Inga marginata*, *Inga alba*, *Ampelocera edentula* apresentaram densidade básica média ($0,50 \text{ g.cm}^{-3} - 0,72 \text{ g.cm}^{-3}$). Já o terceiro grupo formado por *Castilla ulei*, *Ficus paraensis*, *Guazuma ulmifolia*, *Jacaranda copaia*, *Parkia multijuga* apresentaram densidade básica leve ($< 0,50 \text{ g.cm}^{-3}$). Observa-se na Tabela 1 que as espécies de densidade alta foram também classificadas como de dureza dinâmica alta. O mesmo padrão foi observado para as espécies agrupadas como densidade básica média e baixa, com valores de durezas dinâmicas média e baixa, respectivamente.

Tabela 1. Valores médios de densidade básica, densidade aparente e dureza dinâmica de cada espécie estudada

Classe de densidade	Espécies	ρ_{bas} (g.cm^{-3})	pap (g.cm^{-3})	Dureza (Mpa)
Densidade alta Grupo 1 $> 0,72 \text{ g.cm}^{-3}$	<i>Cenostigma tocaninum</i>	0,93	1,13	89,26
	<i>Bagassa guianensis</i>	0,76	0,89	54,82
	<i>Endopleura uchi</i>	0,74	0,92	49,89
	<i>Ampelocera edentula</i>	0,71	0,88	45,26
Densidade média Grupo 2 $> 0,50 \text{ g.cm}^{-3} -$ $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$	<i>Inga alba</i>	0,70	0,86	39,74
	<i>Senegalia polyphylla</i>	0,68	0,85	42,39
	<i>Inga marginata</i>	0,54	0,67	24,94
	<i>Guarea guidonia</i>	0,53	0,66	23,08
	<i>Zanthoxylum ekmanii</i>	0,52	0,64	30,06
Densidade baixa Grupo 3 $< 0,50 \text{ g.cm}^{-3}$	<i>Parkia multijuga</i>	0,46	0,56	19,50
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,46	0,57	20,18
	<i>Castilla ulei</i>	0,40	0,51	15,51
	<i>Jacaranda Copaia</i>	0,37	0,47	12,83
	<i>Ficus paraensis</i>	0,33	0,42	10,93

Classe de densidade: LPF (2021); ρ_{bas} : Densidade básica; ρ_{ap} : Densidade aparente; Dureza: Dureza dinâmica

A relação direta e positiva entre densidade e dureza dinâmica pode ser confirmada por meio de um forte ajuste ao modelo linear quadrático para densidade básica ($R^2 = 0,97$) e densidade aparente ($R^2 = 0,96$).

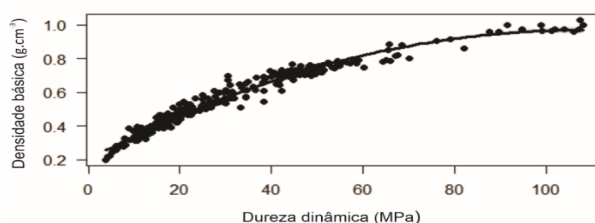


Figura 1: Relação funcional de dureza dinâmica com a densidade básica de madeiras nativas da Amazônia
Equação: Densidade básica = $-0.000007(\text{Dureza dinâmica})^2 + 0.0143(\text{Dureza dinâmica}) + 0.2015$, DF= 329, erro padrão residual=0.02946, $R^2 = 0,9744$, estatística F = 6265, P-valor: $< 2.2e-16$

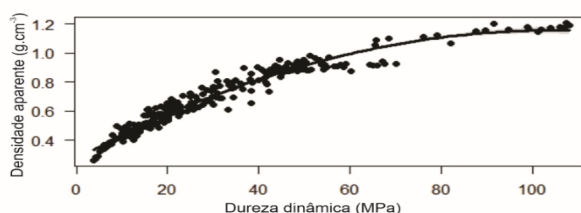


Figura 2: Relação funcional de dureza dinâmica com a densidade aparente de madeiras nativas da Amazônia
Equação: Densidade aparente = $-0.000008(\text{Dureza dinâmica})^2 + 0.0169(\text{Dureza dinâmica}) + 0,2705$, DF= 329, erro padrão residual=0.0421, $R^2 = 0.962$, estatística F = 4164, P-valor: $< 2.2e-16$.

A partir das análises de regressões foi possível gerar uma equação que estima com elevado grau de precisão o valor das densidades de cada espécie a partir do valor médio de dureza dinâmica registrado no equipamento portátil. Na tabela 2 é possível observar um exemplo da estimativa de densidade aparente e densidade básica a partir do valor médio de dureza dinâmica da espécie *Guarea guidonea* utilizando-se o modelo de regressão obtido no presente estudo, sendo:
Densidade aparente = $-0.000008(\text{Dureza dinâmica})^2 + 0.0169(\text{Dureza dinâmica}) + 0,2705$
Densidade básica = $-0.000007(\text{Dureza dinâmica})^2 + 0.0143(\text{Dureza dinâmica}) + 0.2015$

Tabela 2. Valores médio de densidade básica e aparente da espécie *Guarea guidonea* estimada com valores de dureza dinâmica como variável preditora.

Espécie	ρ_{ap} (g.cm ⁻³)	Erro da estimativa	ρ_{bas} (g.cm ⁻³)	Erro da estimativa	Dureza (MPa)
<i>Guarea guidonea</i>	0,640	0.0421	0,518	0.02946	21,5

ρ_{ap} : Densidade aparente ρ_{bas} : Densidade básica; Dureza: Dureza dinâmica



A relação de dureza e densidade são fortemente associadas, uma vez que, a dureza da madeira tem uma influência sobre a densidade, levando em consideração qualquer outra característica [3]. A relação funcional de dureza dinâmica com as densidades apresentadas na Figuras 1 e 2, evidencia o alto grau de correlação entre essas propriedades.

4. CONCLUSÕES

O Durômetro Portátil para Madeiras – DPM3 foi eficiente na predição das densidades estudadas. A equação de regressão obtida permitiu determinar com alto grau de proximidade a densidade das madeiras a partir do valor obtido de dureza dinâmica com uso do DPM3.

5. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT– Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- [2] ANDRADE, F. W. C. et al. The Legal Roundwood Market in the Amazon and Its Impact on Deforestation in the Region between 2009–2015. *Forests*. 2022; 13 (4):558
- [3] ASSIS, A. A. de. Desenvolvimento de um durômetro portátil para madeiras com o uso de transdutor de deslocamento. 2015. 76 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.
- [4] BALBONI, B. M. et al. Physical-mechanical characterization of two amazon woods coming from the second cutting cycle. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2018; 90 (4): 3565-3572.
- [5] DE ASSIS, A. A. et al. Dynamic hardness of wood–measurements with an automated portable hardness tester. *Holzforschung*. 2017; 71 (5): 383-389.
- [6] DE MIRANDA, M. C. et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*. 2012; 3 (2): 10-12953/2177-6830
- [7] DE PAULA, M. H. et al. Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd). *Biodiversidade*. 2016; 15 (2): 136-149.
- [8] Laboratório De Produtos Florestais. Banco de Dados de Madeiras Brasileiras. 2021 Disponível em: // sistemas. Florestal.gov.br/ madeirasdobrasil/características.php?ID=80&característica=271. Brasília. Acesso em 14 jun. 2021.
- [9] SOARES, L. S. Z. R. et al. Estimativa de propriedades da madeira Mandioqueira pela frequência natural de vibração e pela densidade aparente. *Matéria (Rio de Janeiro)*. 2021; 26 (3).