

**ANÁLISE DE IMAGEM E ULTRASSOM UTILIZADOS NA
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE DUAS ESPÉCIES
AMAZÔNICAS (*Aspidosperma macrocarpon* Mart. e *Ocotea
costulata* (Nees) Mez.)**

Claudene Menenez Atayde Calderon, M.Sc., Eng. Ftal.,
claudeneatayde@hotmail.com, Profa. Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do
Sul/AC/Brasil. Telefone (+55)61-33398318. Cx. Postal 4336, CEP 70904-970,
Brasília-DF.

Joaquim Carlos Gonzalez, Dr., Eng. Ftal., goncalvez@unb.br, Prof. Universidade
de Brasília, Brasília/DF/Brasil.

LISTA DE ABREVIATURAS

cm: centímetro

CV: Coeficiente de Variação

DP: Desvio Padrão

g: grama

kHz: Quilo-hertz

kg: quilograma

LPF: Laboratório de Produtos Florestais

mm: milímetro

m³: metro cúbico

m/s: metro por segundo

MOEd: Módulo de Elasticidade Dinâmico

MPa: Mega Pascal

µm: micrômetro

µs: microsegundo

SFB: Serviço Florestal Brasileiro

UR: Umidade Relativa

°C: Graus Celsius

V: Volts

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados quantitativos dos caracteres anatômicos da madeira de *A. macrocarpon*.

Tabela 2 - Dados quantitativos dos caracteres anatômicos da madeira de *O. costulata*.

Tabela 3 - Valores da densidade (12%), velocidade e Módulo de elasticidade dinâmico obtidos com o Ultrassom para as espécies estudadas.

Tabela 1 -

	CP (mm)	LF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	DP (μm)	FP (mm^2)	FR (mm)	AR (mm)	LR (μm)	AR (n.cél)	LR (n.cél)
A. macrocarpon						>30					
Média	1,40	24,34	7,10	8,62	70,04	/ mm^2	9	0,21	14,93	15	1
Mínimo	0,73	18,89	4,79	6,37	39,47		7	0,11	10,75	6	1
Máximo	1,67	29,50	10,82	10,70	93,88		11	0,32	22,60	26	2
DP	0,204	2,605	1,589	1,164	13,224		1,038	0,049	2,804	5,093	0,374
CV(%)	14,49	10,70	22,73	13,52	18,84		11,43	24,10	18,86	34,51	32,26

CP: Comprimento de Fibras; LF: Largura da Fibra; DL: Diâmetro do Lume; EP: Espessura da Parede da Fibra; DP: Diâmetro do Poro; FP: Frequência de poros; FR; Frequência de raios; AR: Altura dos Raios; LR: Largura dos Raios; DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação.

Tabela 2 -

<i>O. costulata</i>	CP (mm)	LF (μm)	DL (μm)	EP (μm)	DP (μm)	FP (mm^2)	FR (mm)	AR (mm)	LR (μm)	AR (n.cél)	LR (n.cél)
Média	1,08	21,20	10,02	5,59	149,96	16	7	0,41	30,14	24	2
Mínimo	0,59	15,50	4,94	3,62	107,92	11	5	0,24	19,75	7	1
Máximo	1,37	26,92	15,44	7,53	211,31	22	8	0,66	42,19	50	3
DP	0,22	3,17	2,74	0,91	27,40	2,28	0,96	0,10	6,37	10,73	0,35
CV(%)	21,82	15,07	27,93	16,49	18,32	14,30	14,65	23,49	21,19	45,15	17,22

CP: Comprimento de Fibras; LF: Largura da Fibra; DL: Diâmetro do Lume; EP: Espessura da Parede da Fibra; DP: Diâmetro do Poro; FP: Frequência de poros; FR; Frequência de raios; AR: Altura dos Raios; LR: Largura dos Raios. DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação.

Tabela 3 -

	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.			<i>Ocotea costulata</i> (Nees) Mez		
	Dens. (12%) (g/cm ³)	Vel. ⁽¹⁾ (m/s)	MOEd ⁽²⁾ (MPa)	Dens. (12%) (g/cm ³)	Vel. ⁽¹⁾ (m/s)	MOEd ⁽²⁾ (MPa)
Média	0,68	4903	16438	0,78	4458	15506
Mínimo	0,66	4703	15493	0,68	4021	10928
Máximo	0,73	5067	18684	0,85	4779	18396
D.P.	0,019	94	905	0,052	214	2013
C.V. (%)	2,84	1,91	5,51	6,64	4,80	12,98

¹Velocidade obtida com uso de transdutores planos de 45kHz. ²MOEd – módulo de elasticidade obtido na direção longitudinal. DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação.

ANÁLISE DE IMAGEM E ULTRASSOM UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE DUAS ESPÉCIES AMAZÔNICAS (*Aspidosperma macrocarpon* Mart. e *Ocotea costulata* (Nees) Mez.

Claudene Menenez Atayde Calderon & Joaquim Carlos Gonçalez

RESUMO: O uso de técnicas alternativas para o estudo da madeira se destaca dentre as usuais pela rapidez, precisão e confiabilidade. Com o objetivo de caracterizar tecnologicamente as espécies *Aspidosperma macrocarpon* Mart. e *Ocotea costulata* (Nees) Mez., foram utilizadas as técnicas de Análise de Imagem e Ultrassom. Na Análise de Imagem foi utilizado o sistema Leica e uso de *software* Application Suite (macroscopia) e *software* Las Ez V1.7.0 for Windows (microscopia). No ultrassom foi utilizado o equipamento USLab para madeira, com 700V e transdutores de onda longitudinal de seção plana de 45kHz. Os resultados obtidos para a espécie *A. macrocarpon* mostram fibras libriformes, septadas, curtas a médias (1,40mm), diâmetro total (24 μ m), diâmetro do lume (7 μ m), paredes espessas (9 μ m); parênquima apotraqueal difuso, poros de distribuição difusa e muito freqüentes (>30 vasos/2mm²), obstruídos; raios finos (15 μ m) e pouco freqüentes (9 raios/mm). *O. costulata* mostram fibras libriformes, septadas, curtas (1,08mm), diâmetro total (21 μ m), diâmetro do lume (10 μ m), paredes delgadas a espessas (6 μ m); parênquima paratraqueal escasso, poros de distribuição difusa com frequência média (16 vasos/2mm²), obstruídos; raios finos (30 μ m) e pouco freqüentes (7 raios/mm). Os valores médios para os módulos de elasticidade dinâmicos para as espécies foram: *A. macrocarpon* (16438 MPa) e *O. costulata* (15506 MPa). As tecnologias empregadas neste trabalho se mostraram eficientes e as madeiras estudadas apresentam potencial para a indústria de madeira serrada.

Palavras-chave: Madeira Amazônica, Análise de Imagem, Ultrassom, Uso.

INTRODUÇÃO

A caracterização tecnológica de espécies madeireiras é a partida inicial para se dar utilização e aproveitamento adequado a esta matéria prima. Essa caracterização e classificação da qualidade da madeira passam por diferentes métodos de avaliação, incluindo os destrutivos e não destrutivos.

Os ensaios não destrutivos são aqueles realizados em materiais para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior (ROSS et al., 1998).

O uso da análise de imagem na caracterização anatômica da madeira proporciona rapidez nas mensurações dos elementos anatômicos e de maneira precisa, reduzindo possíveis erros que possam ocorrer e atualmente vem sendo utilizado por diversos autores que aplicam esta técnica em diversos objetivos (TOLEDO et al., 2004; GUEDES et al., 2008).

Assim como a análise de imagem, o ultrassom se destaca como uma das técnicas de avaliação não destrutiva. O ultrassom é entendido como um ensaio mecânico dinâmico, pois quando o som se propaga, provoca deslocamento das partículas que compõem o material por meio de oscilações (GONÇALVEZ, 2011). Essa propagação é afetada por diversos fatores tais como as características do transdutor, dimensões da microestrutura do material a ser ensaiado, dimensões da peça a ser ensaiada, frequência do transdutor, pressão do transdutor, umidade, densidade e temperatura (BUCUR, 2006).

Segundo afirma Stangerlin *et al.* (2010), microscopicamente as propriedades de armazenamento de energia são controladas pela orientação das células e por sua composição estrutural, aspectos que influenciam as características elásticas da madeira e, de acordo com Gonzalez *et al.* (2001), o uso de propagação de ondas ultrassônicas é uma alternativa para determinar as propriedades mecânicas da madeira, principalmente constantes elásticas.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo caracterizar tecnologicamente duas espécies amazônicas (*Aspidosperma macrocarpon* Mart. e *Ocotea costulata* (Nees) Mez.) com o uso das ferramentas de análise de imagem e ultrassom

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo das amostras

As amostras das espécies de *Aspidosperma macrocarpon* Mart. e *Ocotea costulata* (Nees) Mez., foram coletadas em movelarias do município de Cruzeiro do Sul, localizado na região do Alto Juruá, Acre, Brasil.

De maneira aleatória, e em diferentes movelarias, dez amostras de cada espécie foram obtidas e preparadas no próprio local de coleta. As amostras foram

devidamente orientadas e possuíam as dimensões de 2 cm x 2 cm x 40 cm. De cada uma dessas amostras, foram obtidas sub-amostras de 2 cm x 2 cm x 10 cm para a caracterização anatômica. As amostras de 2 cm x 2 cm x 30 cm foram utilizadas no ensaio de ultrassom.

As espécies deste estudo foram identificadas anatomicamente no Setor de Anatomia da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro (LPF/SFB) e, posteriormente, acondicionados em sala de climatização (65% UR, 20°C), conforme determina a norma COPANT (1972), no Departamento de Engenharia do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília-DF.

Caracterização anatômica macroscópica e microscópica

A caracterização anatômica foi realizada com o auxílio da técnica de Análise de Imagem, que proporcionou maior rapidez e precisão dos resultados. Foi realizada no Departamento de Engenharia Florestal da UnB.

As mensurações dos elementos anatômicos foram realizadas em material dissociado e nos cortes histológicos das três seções da madeira (transversal, radial e tangencial) e, também, diretamente na seção transversal das amostras, previamente polidas manualmente com lixa d'água.

Foi utilizado o sistema Leica e uso de *software* Application Suite (macroscopia) e *software* Las Ez V1.7.0 for Windows (microscopia).

A descrição das estruturas anatômicas, assim como a mensuração dos elementos anatômicos, foi feita segundo recomendações das normas IAWA (1989) e a de Coradin e Muniz (1991).

Ensaio de Ondas Ultrassônicas

O ensaio não destrutivo utilizando a propagação de ondas, foi realizado utilizando o equipamento USLab para madeira. O aparelho possui potência de 700V, resolução de 0,1 μ s e transdutores de onda longitudinal e de seção plana que operam na frequência de 45 kHz.

Inicialmente as amostras foram pesadas e tomadas as dimensões para a determinação do volume e o equipamento foi calibrado. A seguir, em cada um dos transdutores foi aplicado um gel medicinal, para que ficasse acoplado em cada uma das extremidades do corpo de prova, para que fosse efetuada a leitura no comprimento longitudinal da peça. Em seguida, foram efetuadas três medições de tempo e velocidade, em cada uma das dez amostras, para cada espécie. Totalizando um total de 30 medições por espécie

Para a determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico (MOEd) utilizou-se a seguinte equação (1):

$$MOEd = D_{12\%} \times Vel^2 \quad (1)$$

Onde,

MOEd = Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa);

$D_{12\%}$ = densidade da madeira a 12% de umidade (kg/m^3);

Vel = velocidade (m/s).

A densidade a 12% foi determinada obtendo-se o volume e o peso de cada amostra e calculada utilizando-se a seguinte equação (2):

$$D_{12\%} = \frac{P_{12\%}}{V_{ol}} \quad (2)$$

Onde,

$D_{12\%}$ = densidade da amostra a 12% de umidade (g/cm^3);

P= peso da amostra a 12% de umidade (g);

Vol = volume da amostra (cm^3);

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Anatômica Macroscópica e Microscópica

Aspidosperma macrocarpon Mart. (Apocynaceae)

Características gerais: Cerne de coloração amarelada, sem alteração de cor por foto-oxidação. Limite dos anéis de crescimento distintos por zonas fibrosas tangenciais mais escuras. Madeira sem brilho nas superfícies longitudinais. Cheiro e gosto indistinto. Grã direita, textura fina.

Os dados quantitativos da madeira de *A. macrocarpon*, estão descritos na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 –

Ocotea costulata (Nees) Mez. (Lauracea)

Características gerais: Cerne/alburno pouco distintos pela cor. Cerne arroxeadado. Com alteração de cor por foto-oxidação. Limites dos anéis de crescimento indistintos. Madeira com brilho nas superfícies longitudinais. Com cheiro perceptível. Agradável. Grã direita. Textura média.

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros anatômicos mensurados.

Tabela 2 –

Comparando-se anatomicamente as espécies *A. macrocarpon* e *O. costulata*, ambas apresentaram fibras consideradas curtas (1,40mm e 1,08mm, respectivamente), no entanto para a primeira espécie, a espessura da parede da fibra foi de 9µm, considerada muito espessa e parênquima axial apotraqueal difuso, e a segunda espécie apresentou espessura da parede da fibra de 6 µm, considerada delgada a espessa e parênquima axial paratraqueal escasso e difuso.

Em relação aos vasos/poros *A. macrocarpon* apresentou poros de distribuição difusa, freqüência alta (> 30 poros por mm²), diâmetro pequeno (70 µm), predominantemente solitários e obstruídos por substância de cor esbranquiçada. Por outro lado, a espécie *O. costulata* apresentou poros de distribuição difusa, freqüência média (16 poros por mm²), diâmetro médio (150 µm), predominantemente em múltiplos radiais e obstruídos por substância de cor esbranquiçada.

Sobre os raios, ambas as espécies apresentaram classificação semelhante sendo que *A. macrocarpon* apresentou raios não contrastados na superfície radial, finos (15 µm), baixos (0,2 mm) e pouco freqüentes (9 raios por mm). Para *O. costulata* os raios são pouco contrastados na superfície radial, finos (30 µm), baixos (0,4 mm) e pouco freqüentes (7 raios por mm).

Estruturas estratificadas e secretoras não foram observadas em ambas as espécies.

O uso da análise de imagem para a classificação dos elementos xilêmicos das espécies em estudo permitiu observar diferenças de natureza quantitativa de maneira rápida e precisa, assim como pode se observar estruturas anatômicas características de cada espécie como os raios unisseriados de *A. macrocarpon* e a presença de células oleíferas/mucilaginosas em *O. costulata*.

Ensaio de Ondas Ultrassônicas

Os resultados obtidos neste ensaio estão apresentados na tabela a seguir, para as duas espécies.

Tabela 3 –

Observa-se que os dados apresentaram baixa variabilidade, demonstrando possivelmente que as amostras apresentavam uma distribuição mais homogênea dos elementos celulares.

Os valores médios da velocidade de propagação de ondas encontrados ficaram próximos aos encontrados por outros pesquisadores que citam valores entre 4.000 e 6.000 m/s (GONÇALEZ *et al.*, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2002; BALLARIN & NOGUEIRA, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

A espécie *A. macrocarpon* apresentou densidade a 12% de 0,68 g/cm³ e velocidade de 4.903 m/s, enquanto que a *O. costulata* apresentou densidade a 12% de 0,78 g/cm³ e velocidade de 4.458 m/s. O maior valor encontrado para o módulo de elasticidade foi para a primeira espécie com 16.538 MPa e de 15.506 MPa para a segunda espécie.

Segundo relata Bucur (2006) pode haver aumento da velocidade com o aumento da densidade, assim como redução da velocidade com o aumento da densidade e, ainda, pode haver independência entre esses dois fatores. Neste trabalho, em relação a estes dois fatores, a espécie que apresentou menor densidade foi a que apresentou maior velocidade.

Este comportamento apresentado no ensaio de ultrassom, provavelmente deve ter sofrido maior influência da composição e estrutura anatômica de cada uma das espécies, como o tipo de grã, espessura das fibras e diâmetro do lume, as quais influenciam na velocidade de propagação das ondas.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que as técnicas utilizadas foram fundamentais para a execução do trabalho, pois além de ganho de tempo pode-se obter maior qualidade e precisão dos resultados para a caracterização e classificação de espécies madeireiras.

As tecnologias empregadas neste trabalho se mostraram eficientes e as madeiras estudadas apresentam potencial para a indústria de madeira serrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLARIN, A.W.; NOGUEIRA, M. 2005. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p.19-28, jan./abr.
- BUCUR, V. 2006. **Acoustics of Wood**. 2nd Edition. Springer Series in Wood Science. Printed in Germany. 393p.
- COPANT: COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. 1972. **Maderas: selección y colección de muestras**. Caracas: (COPANT; 458).
- CORADIN, V.T.R.; MUÑIZ, G.I.B. 1991. **Normas e procedimentos de estudos de anatomia de madeira**: I. Angiospermae II. Gimnospermae. Brasília: IBAMA, 19p. (LPF – Série Técnica n° 15).
- GONÇALEZ, J.C.; VALLE, A.T.; COSTA, A.F. 2001. Estimativas das constantes elásticas da madeira por meio de ondas de ultra-sonoras (ultra-som). **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 81-92.
- GONÇALVES, R. 2011. **Ultrassom em aplicações visando a caracterização de materiais: aspectos teóricos**. Brasília, UnB, (Comunicação).
- GUEDES, F.T.P.; ROZENBERG, P. TOMAZELLO F, M. 2008. Desenvolvimento de um método de obtenção e análise de imagens anatômicas da madeira de *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco. **Resumo 16° Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP - SIICUSP**.
- IAWA: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMIST. 1989. Iawa list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, n.s., 10(3): 219-332.
- OLIVEIRA, F.G.R.; CAMPOS, J.A.O.; SALES, A. 2002. Ultrasonic measurements in Brazilian hardwood. **Materials Research**, vol. 5, n. 1, 51-55.
- OLIVEIRA, F.G.R.; MILLER, K.P.; CANDIAN, M.; SALES, A. 2006. Efeito do comprimento do corpo-de-prova na velocidade ultra-sônica em madeiras. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, p. 141-145.
- ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. 1998. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, vol. 48, n. 1.
- TOLEDO, M.G.T.; ALQUINI, Y.; NAKASHIMA, T. 2004. Anatomia caulinar de *Ocotea odorífera* (Vell.) Rohwer (Lauraceae) da região metropolitana de Curitiba. **Rev. Bras. Farm.**, 85(2): 41-44.