

Influência da carbonização na anatomia da madeira *Dinizia excelsa* Ducke

Marcelo Mendes Braga Júnior^{1*}; João Vítor Gomes Rocha¹; Gabriele Melo de Andrade¹; Javan Pereira

Motta¹; Fernanda Ilkiu Borges de Souza²; Luiz Eduardo de Lima Melo¹

¹Liga de Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade do Estado do Pará; ²Laboratório de Botânica / Embrapa Amazônia Oriental; *bragajuniorm@gmail.com

Resumo: Esse trabalho caracteriza as estruturas anatômicas da madeira e carvão vegetal de *Dinizia excelsa* Ducke e avalia as alterações anatômicas consequentes do processo de carbonização. Foi realizada a descrição anatômica para madeira e carvão, os parâmetros anatômicos foram submetidos à estatística descritiva para caracterização anatômica do lenho e do carvão. O efeito da carbonização sobre as características anatômicas da madeira foi verificado utilizando “modelos lineares generalizados - GLM para medidas repetidas”. Maior parte das características anatômicas qualitativas foi mantida. Porém, algumas sofreram alterações de forma ou foram rompidas após a carbonização. A forma dos vasos foi afetada pela carbonização. O diâmetro tangencial do lume dos vasos (-32,93%) e a altura dos raios (+ 10,41%) variaram significativamente.

Palavras-chave: Madeiras tropicais, Fiscalização Florestal, Anatomia da Madeira, Antracologia.

Influence of carbonization in the anatomy of *Dinizia excelsa* Ducke wood

Abstract: This work characterizes the anatomical structures of the wood and charcoal of *Dinizia excelsa* Ducke and evaluates the anatomical changes resulting from the carbonization process. Anatomical description was performed for wood and charcoal, and the anatomical parameters were submitted to descriptive statistics for anatomical characterization of the wood and charcoal. The effect of carbonization on the anatomical characteristics of wood was verified using "generalized linear models - GLM for repeated measurements". Most of the qualitative anatomical characteristics were maintained. However, some of them suffered shape changes or were ruptured after carbonization. The shape of the vessels was affected by carbonization. The tangential diameter of the vessel lumina (-32.93%) and the ray height (+10.41%) varied significantly.

Keywords: Tropical woods, Forest Inspection, Anatomy of Wood, Anthracology.

1. INTRODUÇÃO

A madeira de *Dinizia excelsa* Ducke (angelim-vermelho) é muito utilizada na produção de móveis, construção civil e naval (Mainieri & Chimelo 1989). A espécie possui amplo interesse

comercial, sendo frequentemente incluída na lista das espécies nativas mais comercializadas no Brasil (SEMAS/PA, 2016).

O Brasil é um dos maiores produtores de carvão vegetal do mundo (Balanço Energético Nacional, 2018) tendo como principal destino o setor siderúrgico e uso doméstico. A utilização de carvão vegetal sustentável quando comparada a outras fontes energéticas, como combustíveis fósseis, gera menos impactos negativos ao meio ambiente. Entretanto, muitas vezes a produção de carvão vegetal a partir de espécies nativas é vinculada comércio ilegal e desmatamento (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2018) gerando pressões ecológicas e contribuindo para a degradação florestal.

A antracologia é uma ciência voltada para o estudo do carvão vegetal, de diferentes origens, e tem como princípio a caracterização de carvões a partir do estudo anatômico da madeira. A análise anatômica do carvão tem sido aplicada com sucesso para fins de identificação da espécie florestal que originou o carvão, pois as características anatômicas da madeira são mantidas mesmo após a carbonização (Scheel-Ybert & Gonçalves, 2017).

Durante a produção de carvão vegetal, a madeira passa por diferentes processos físicos e transformações químicas que alteram as suas características. Nisgoski et al. (2014) avaliando o efeito da carbonização sobre a estrutura anatômica de *Ocotea porosa*, reiteraram que anatomia da madeira, qualitativamente, se conserva após a carbonização. Entretanto, foram observadas variações morfológicas importantes, que indicam que o efeito da carbonização sobre as células, depende não somente das características do processo, mas das características anatômicas da espécie de madeira a carbonizada (Gonçalves et al., 2012).

Estudos descritivos sobre as características anatômicas de carvões de diferentes espécies madeireiras da Amazônia, associados à análise do efeito do processo de carbonização sobre a estrutura anatômica da madeira podem auxiliar a fiscalização, colaborando assim com controle do mercado e contribuindo com a conservação da biodiversidade da região.

Para fornecer mais informações sobre o carvão vegetal da Amazônia, esse estudo apresenta a caracterização do carvão vegetal de *Dinizia excelsa* Ducke, além da avaliação das alterações anatômicas da madeira decorrentes do processo de carbonização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para isso foram utilizados três indivíduos de *Dinizia excelsa* Ducke, registrado na xiloteca do Instituto Agrônomo do Norte (IAN) da Embrapa Amazônia Oriental e com respectivo material botânico fértil tombado no herbário da mesma instituição. Na Tabela 1 estão listados os indivíduos

examinados de acordo com o número da coleção de madeira (xiloteca) e herbário.

Tabela 1. Relação das espécies analisadas de acordo com o número da coleção de madeira (xiloteca) e herbário.

Espécie	Indivíduo	n° xiloteca	n° herbário	Local de coleta
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	1	7786	182751	^{1,2} Brasil, Pará, Breu Branco. ³ Brasil, Pará, Moju.
	2	6923	646589	
	3	6713	173162	

A partir das amostras foram confeccionados corpos de provas com dimensão de 1,5 cm x 1,5 cm x 3 cm (direção tangencial, radial e longitudinal respectivamente) para o estudo anatômico da madeira e do carvão. Para a produção do carvão as amostras de madeira foram envolvidas em papel alumínio e carbonizadas em forno de mufla com controle automático de temperatura por ~ 5 h, usando uma taxa de aquecimento de 1.66° C min⁻¹; mantidas à temperatura final (450°C) durante 2h (Muñiz et al., 2012).

As descrições (madeira e carvão) seguiram os procedimentos, e terminologia recomendados pela Associação Internacional de Anatomistas da Madeira (IAWA Committee 1989). A caracterização anatômica da madeira se deu a partir de cortes histológicos e análise em microscópio óptico de campo claro. O carvão foi caracterizado a partir de amostras fraturadas e submetidas microscópio eletrônico de varredura (MEV). Todas as contagens e mensurações foram com o software de análise de imagem Image-Pro Express 6.0.

As características anatômicas quantitativas analisadas foram: frequência de vasos por mm², diâmetro tangencial e radial do lume dos vasos (µm), número de raios por mm linear, altura dos raios (µm) e largura dos raios (µm), com número de 30 contagens e mensurações para cada parâmetro anatômico avaliado.

Para avaliar o efeito da carbonização sob o diâmetro do lume dos vasos utilizamos a Equação 1, adaptada de Kwon et al. (2009):

Onde: D1 é o diâmetro do vaso de madeira da madeira original; D2 é o diâmetro do vaso do carvão vegetal.

Os dados quantitativos foram submetidos à estatística descritiva para caracterização anatômica do lenho e do carvão. Para verificar o efeito da carbonização os dados foram analisados utilizando “modelos lineares generalizados - GLM para medidas repetidas”. Todos os GLMs foram submetidos à análise residual, de forma a avaliar a adequação da distribuição de erros (Crawley, 2002).

3. RESULTADOS

Em geral, as características anatômicas qualitativas da madeira foram observadas após a carbonização, assim a descrição da madeira também se emprega ao carvão. **Anéis de crescimento:** limites distintos, demarcados pela presença de parênquima axial em faixas marginais ou simulando faixas marginais (Figura 1 a, d). **Vasos:** porosidade difusa; vasos solitários predominantes (mais que 2/3), e vezes múltiplos de até 5; parcialmente obstruídos por gomas e outros depósitos; placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternadas (Figura 1 a, d) **Parênquima axial:** paratraqueal aliforme losangular, confluyente em trechos curtos e/ou longos, em faixas marginais ou simulando faixas marginais, apotraqueal difuso e difuso-agregado; 5-8 células por strand (Figura 1 a, d). **Raios:** Largura do raio 1 a 3 células, < 1 mm de altura, 4-12 por mm; heterocelulares, células do raio procumbentes, com uma fila de células marginais eretas e/ou quadradas (Figura 1 b, c, e, f). **Fibras:** não septadas; fibras de paredes grossas. **Estrutura estratificada:** ausente. **Elementos secretores:** ausentes. **Inclusões minerais:** cristais prismáticos em câmaras do parênquima axial.

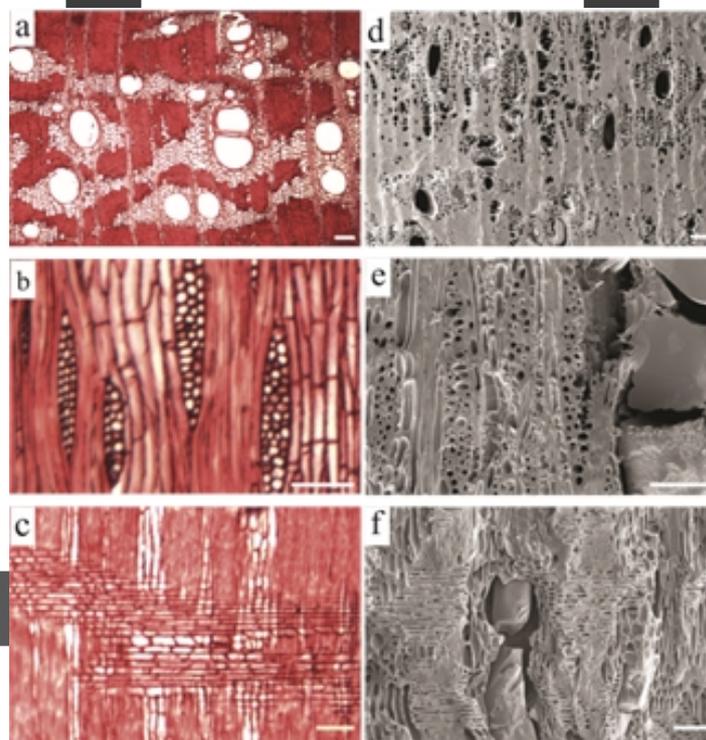


Figura 1 *D. excelsa* micrografias da madeira (A – C) e do carvão vegetal (D – F). Seções transversal (a & b), tangencial (b & e), radial (c & f). Barra de escala: 200 μ m.

Apesar da manutenção da maioria das características anatômicas qualitativas, algumas sofreram alteração de forma após a carbonização (Figura 2). Também foi constatado, o rompimento de células, principalmente dos tecidos parenquimáticos.

A Tabela 2 apresenta a influência da carbonização nas características anatômicas

quantitativas de *D. excelsa*. Enquanto a Figura 2 compara a contração tangencial e radial do diâmetro lume dos vasos após a carbonização da madeira.

Tabela 2. Efeito da carbonização nas características anatômicas quantitativas de *D. excelsa*.

Características anatômicas	Média	Alteração %	Desvio padrão	Erro padrão	F/ χ^2	p-valor
Frequência de vasos (por. mm⁻²)						
Madeira	7,23 ^a	- 4,15	2,60	0,47	0,19*	0,6624
Carvão	6,93 ^a		2,35	0,43		
Diâmetro tangencial do lume dos vasos (μm)						
Madeira	135,39 ^b	-32,93	19,81	3,62	45,29	8,322e-09
Carvão	90,81 ^a		30,40	5,55		
Número de raios (por. mm⁻¹)						
Madeira	4,63 ^a	+ 15,12	0,66	0,21	1,48*	0,2244
Carvão	5,33 ^a		1,13	0,12		
Largura dos raios (μm)						
Madeira	42,57 ^a	- 3,83	9,06	1,65	0,67	0,4157
Carvão	40,94 ^a		6,08	1,11		
Altura dos raios (μm)						
Madeira	253,38 ^a	+ 10,41	53,67	9,80	4,52	0,0377
Carvão	279,75 ^b		41,62	7,60		

Os valores médios com letras diferentes entre as linhas da mesma característica anatômica indicaram diferenças significativas a 5% da probabilidade de erro. F = indica valores onde os GLMs foram feitos pela distribuição de Fisher-Snedecor F. χ^2 = representa os valores (*) em que os GLMs foram feitos pela distribuição Qui-quadrado.

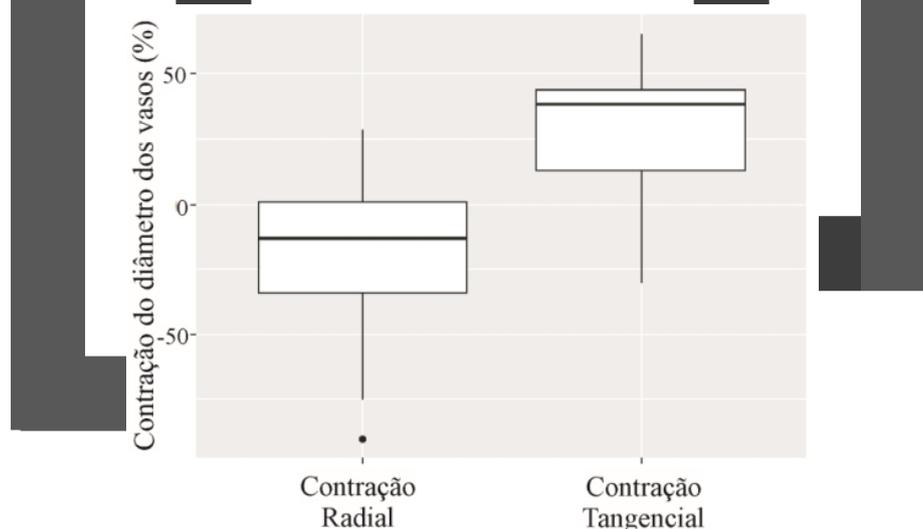


Figura 2. Comparação entre contração tangencial e radial do diâmetro lume dos vasos após a carbonização da madeira de *D. excelsa* (F = 44,546, p = 1,031e⁻⁸).

4. DISCUSSÃO

A presença de depósitos obstruindo vasos é uma característica que deve ser considerada durante o processo de identificação, além disso, obstruções nos vasos, muitas vezes, podem servir

como parâmetro dendro-antracológicos (Dufraisie et al., 2017), dessa forma, podem ser utilizadas para estudos da dinâmica do uso da madeira e seus produtos pelas populações tradicionais na Amazônia.

Abreu Neto et al. (2018) avaliando o efeito da temperatura na dureza dinâmica do carvão vegetal de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia citriodora*, observaram que o método de carbonização e características intrínsecas da espécie influenciam a resistência do material. Em *D. excelsa* carbonizada em temperatura final de 450°, foi observado o rompimento dos raios e do parênquima axial, com tendência a formação de cavidades em algumas áreas dos corpos de prova (Figura 1), tais rupturas podem aumentar a friabilidade, influenciando no rendimento e qualidade do material.

O gráfico boxplot (Figura 2) expõe a dispersão e variação da contração tangencial e radial do diâmetro lume dos vasos após a carbonização da madeira de *D. excelsa*. A espécie apresentou contração maior na direção tangencial (29,21µm), efeito comumente observado após a carbonização (Kwon et al., 2009), na direção radial a contração foi negativa (-16,95 µm), causando expansão do diâmetro lume dos vasos, essas variações influenciaram a alteração no contorno dos vasos de circular para elipse. A forma dos vasos é uma característica de importância taxonômica, informações a respeito das variações ocasionadas pela carbonização sobre a característica podem auxiliar no processo de identificação do material.

5. CONCLUSÃO

O processo de carbonização afetou a estrutura das células de *D. excelsa*, a forma dos vasos foi alterada de circular para elipse. Alterações dimensionais foram observadas em todos os parâmetros analisados, porém apenas a altura dos raios (µm) e o diâmetro tangencial do lume dos vasos (µm) apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Apesar das alterações na estrutura anatômica de *D. excelsa* é possível obter respostas taxonômicas a partir do material carbonizado, mas as alterações devem ser consideradas durante o processo de identificação e/ou distinção do material.

6. REFERÊNCIAS

Abreu Neto R, Assis AA de, Ballarin AW, Hein PRG. Dynamic hardness of charcoal varies according to the final temperature of carbonization. *Energy Fuels* 2018, 32 (9): 9659-9665.

Balanco Energético Nacional. Relatório Final. 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites->

pt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao303/topico419/BEN2018_Int.pdf>. Acesso: 04/06/2019.

Crawley MJ. Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis Using S-Plus. John Wiley & Sons, 2002.

Dufraisse A, Coubray S, Girardclos O, Dupin A, Lemoine M. Contribution of tyloses quantification in earlywood oak vessels to archaeological charcoal analyses: Estimation of a minimum age and influences of physiological and environmental factors. Quaternary International 2017, 463 (B): 250-257.

Gonçalves TAP, Marcati CR, Scheel-Ybert, R. The effect of carbonization on wood structure of *Dalbergia violacea*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Tapirira guianensis*, *Vochysia tucanorum*, and *Pouteria torta* from the Brazilian cerrado. Iawa Journal 2012, 33 (1): 73-90.

IBAMA. Ibama combate desmatamento na terra indígena Tembé (PA) e apreende 1,8mil m³ de madeira extraída ilegalmente. 2018. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/noticias/436-2018/1501-ibama-combate-desmatamento-na-terra-indigena-tembe-pa-e-apreende-1-8-mil-m-de-madeira-extraida-ilegalmente>>. Acesso: 04/06/2019.

International Association of Wood Anatomists. List of microscope features for hardwood identification. IAWA Bulletin, 1989, 10: 234-232.

Kwon SM, Kim NH, Cha DS. An investigation on the transition characteristics of the wood cell walls during carbonization. Wood Science and Technology 2009, 43: 487-498.

Mainieri C, Chimelo JP Fichas de características de madeiras brasileiras. Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo, São Paulo. (1989) 2040p.

Nisgoski S, Muñoz GIB de, Batista FRR, Molleken RE. Influence of carbonization temperature on the anatomical characteristics of *Ocotea porosa* (Nees & Mart. Ex Nees) L. Barroso. Wood Science and Technology 2014, 48: 301-309.

Scheel-Ybert R, Gonçalves TAP, Primeiro atlas antracológico de espécies brasileiras/ First anthracological atlas of Brazilian species. Rio de Janeiro: Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017. 215p.

Secretária de Estado de Meio Ambiente – SEMAS. Beneficiamento e comércio de produtos da madeira por espécie florestal. Relatório de comércio: 01/01/2016 a 02/02/2016. 2016.