

QUALIDADE DAS FIBRAS DAS MADEIRAS DE *Hymenolobium sp.*, *Dipteryx odorata* e *Micropholis venulosa* PARA A PRODUÇÃO DE POLPA.

Allam Francisco Silva Corrêa, Edmilson Welington da Silva, Isabela Cristina Gomes Gonçalves, Marlene César Isabel, Vanessa Elisbão da Silva, Ricardo Gomes de Oliveira, Caroline Junqueira Sartori.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista - MG, Brasil, allamcorrea10@gmail.com, cesaredy52@gmail.com, isabelacouy234@gmail.com, marlenecesar3@gmail.com, vaanessael@gmail.com, ricardo.oliveira@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br.

Resumo

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de celulose, e a escolha de matérias-primas adequadas é fundamental para garantir eficiência produtiva e qualidade do papel. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade das fibras das madeiras de *Hymenolobium sp.* (Angelim Vermelho), *Dipteryx odorata* (Cumaru) e *Micropholis venulosa* (Guajará Vermelho) para a produção de polpa celulósica. As amostras foram coletadas em empreendimento madeireiro em São João Evangelista – MG e submetidas à maceração, coloração e análise morfométrica em microscópio óptico. Foram medidas as dimensões das fibras e calculados os índices de qualidade: Índice de Runkel (IR), Coeficiente de Flexibilidade (CF), Índice de Enfeltramento (IE) e Fração Parede (FP). Os resultados indicaram que as fibras do Guajará apresentaram melhor desempenho, com valores mais adequados dos índices anatômicos, seguidas pelo Angelim. O Cumaru, por sua vez, apresentou fibras muito rígidas e com baixo potencial para produção de papel. Conclui-se que o Guajará é a espécie mais indicada entre as estudadas para fins de produção de polpa celulósica.

Palavras-chave: Celulose. Fração Parede. Fibras. Índice de Runkel.

Área do Conhecimento: Engenharia Florestal.

Introdução

Em 2023, o Brasil produziu 24,3 milhões de toneladas de celulose, sendo 21,3 milhões de toneladas de fibra curta, 2,5 milhões de fibra longa e 0,5 milhão de pasta de alto rendimento, resultando em um crescimento médio anual (CAGR) de 4,4% na última década. O país consolidou sua posição como líder mundial em exportações do setor, com embarques que superaram, pela segunda vez na história, os 18 milhões de toneladas, enquanto o mercado interno absorveu 6,2 milhões de toneladas. Com esse desempenho, o Brasil se manteve como o segundo maior produtor global de celulose, atrás apenas dos Estados Unidos. Os principais destinos das exportações brasileiras foram a China (48,0%) e a Europa (22,6%), reforçando a importância estratégica do setor de árvores cultivadas, responsável por 63% do valor exportado (IBÁ, 2024).

Na escolha da madeira para a fabricação de papel, diversos fatores devem ser considerados, como a origem da matéria-prima, o método de extração da celulose e as propriedades desejadas no produto final. Essas propriedades são diretamente influenciadas pelas características morfológicas das fibras, como comprimento, largura, espessura da parede celular e diâmetro do lume, bem como pelo modo como as fibras se entrelaçam. Para essa avaliação, utilizam-se relações dimensionais expressas por índices como o Índice de Runkel (IR), Fração de Parede (FP), Coeficiente de Flexibilidade (CF) e o Índice de Enfeltramento (IE) (Nisgoski *et al.*, 2012). Compreender as características anatômicas das fibras nas polpas possibilita a previsão das propriedades dos papéis fabricados. A qualidade do papel

é diretamente influenciada pela morfologia das fibras e pela densidade de fibras por unidade de massa (Rodrigues, 2010).

A espécie *Hymenolobium sp.*, é uma árvore de grande porte, geralmente alcançando de 25 a 40 metros de altura. A espécie é comum em matas de terra firme, com maior ocorrência nas regiões central e noroeste da Hileia Amazônica, predominando no Brasil e na Venezuela (Lima, 1981). O Cumarú de nome científico *Dipteryx odorata* é uma espécie nativa da América Central e do norte da América do Sul, amplamente valorizada por sua madeira nobre, densa, durável e resistente. É uma madeira versátil, empregada em construções, móveis, peças estruturais e ferramentas, com valor econômico elevado e potencial para reflorestamento (Silva *et al.*, 1977; Loureiro *et al.*, 1979). Já a espécie *Micropholis venulosa* (Mart. e Eichler) Pierre, conhecida popularmente como guajará, curupixá ou rosadinho, é uma árvore nativa da flora brasileira e uma importante espécie madeireira tropical (Camargos *et al.*, 2001). A madeira de *M. venulosa*, de densidade média, é amplamente utilizada na construção civil, especialmente em esquadrias e estruturas, além de ser empregada na produção de móveis e itens decorativos residenciais.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi obter e analisar os índices de qualidade das fibras das espécies Angelim Vermelho (*Hymenolobium sp.*), Cumaru (*Dipteryx odorata*) e Guajará Vermelho (*Micropholis venulosa*), visando caracterizar comparativamente suas propriedades e potenciais aplicações tecnológicas.

Metodologia

As amostras de madeira de Angelim vermelho, Cumaru e Guajará Vermelho foram obtidas em um empreendimento comercial madeireiro, no município de São João Evangelista, as quais foram transformadas em corpos de prova de aproximadamente, 1 x 1 x 1 cm. As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista.

Para o estudo das fibras, foi preparado macerado de cada espécie. O preparo do macerado consistiu em retirar lascas da madeira, no sentido longitudinal. As lascas foram colocadas em frascos de vidro fechado com solução de de ácido acético e peróxido de hidrogênio (1:1 v/v) e levadas à estufa à 65°C por 24 horas. Após esse período, o material foi lavado em água corrente e corado com safranina 1% em água (p/v) e colocadas em lâmina com glicerina 50% (v/v) e lamínula.

Foram montadas lâminas temporárias e em cada uma foram medidas 30 fibras. As dimensões de fibras determinadas foram o comprimento, a largura e o diâmetro do lume. A espessura da parede foi determinada conforme Equação 1.

$$EP = \frac{L-DL}{2} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

EP: Espessura da parede das fibras, μm ;

L: Largura das fibras, μm ;

DL: Diâmetro do lume das fibras, μm .

Das lâminas foram obtidas imagens, com emprego de microscópio óptico trinocular Biofocus com câmera digital Moticam 1000 1.3 Mpixel acoplada e *software* Motic Plus Images 2.0. Para captura das imagens para a obtenção dos comprimentos das fibras utilizou-se a objetiva de 4x de aumento, já para largura e diâmetro do lume utilizou-se o aumento de 40x. Com base nos valores médios de comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede, foi determinada os seguintes parâmetros: Índice de Runkel (Equação 2), Coeficiente de Flexibilidade (Equação 3), Índice de Enfeltramento (Equação 4) e Fração Parede (Equação 5), conforme as equações a seguir.

$$IR = \frac{2 \times EP}{DL} \quad \text{Equação 2}$$

$$CF = \frac{DL}{L} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$IE = \frac{C}{L} \quad \text{Equação 4}$$

$$FP = \frac{2 \times EP}{L} \quad \text{Equação 5}$$

Em que: EP – espessura da parede celular, μm ;
 DL – diâmetro do lume da fibra (μm);
 L – largura da fibra (μm);
 C – comprimento da fibra (μm);
 IR – índice de Runkel;
 CF – índice de flexibilidade (%);
 IE – índice de enfeltramento;
 FP – fração parede (%).

Resultados

Os valores médios obtidos para o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras estão devidamente apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios das fibras de Angelim, Cumaru e Guajará.

	Comprimento (μm)	Largura (μm)	Lume (μm)	Espessura da parede (μm)
Angelim	1568,06	22,62	8,47	7,07
Guajará	1214,80	20,99	9,80	5,59
Cumaru	1134,18	14,33	2,80	5,80

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Conforme apresentado na Tabela 1, os comprimentos médios das fibras de Angelim Vermelho, Guajará e Cumaru foram de 1568,06 μm , 1214,80 μm e 1134,18 μm , respectivamente. As larguras médias observadas foram de 22,62 μm para o Angelim Vermelho, 20,09 μm para o Guajará e 14,33 μm para o Cumaru. Em relação ao diâmetro do lume, os valores médios encontrados foram de 8,47 μm , 9,80 μm e 2,80 μm , respectivamente. Quanto à espessura da parede celular, os valores médios foram de 7,07 μm para o Angelim Vermelho, 5,59 μm para o Guajará e 5,80 μm para o Cumaru.

Na tabela 2 estão apresentados os valores médios de Índice de Runkel (IR), Coeficiente de Flexibilidade (CF), Índice de Enfeltramento (IE) e Fração Parede (FP) das madeiras de Angelim vermelho, Cumaru e Guajará Vermelho.

Tabela 2 – Valores médios dos índices de qualidade das madeiras de Angelim, Cumaru e Guajará.

	IR	CF	IE	FP
Angelim	1,67	0,37	69,34	62,54
Cumaru	4,14	0,20	79,15	80,95
Guajará	1,14	0,47	57,89	53,30

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Conforme visto na Tabela 1 os valores médios de IR foram de 1,67, 4,14 e 1,14 para as espécies de Angelim, Cumaru e Guajará, respectivamente. Fibras com índices de Runkel de até 0,25 é considerada excelente para papel; de 0,25 a 0,50 é muito boa; de 0,50 a 1,00 é boa; de 1,00 a 2,00 regular, e acima de 2,0 não deve ser usada para papel, tendo em vista se tratar de fibras com paredes espessas ou muito espessas (Runkel, 1952).

Discussão

De acordo com a classificação proposta por Metcalfe e Chalk (1983), os comprimentos das fibras podem ser agrupados em: extremamente curtas (menos de 500 μm), muito curtas (500 a 700 μm), moderadamente curtas (700 a 900 μm), de tamanho médio (900 a 1600 μm), moderadamente longo (1600 a 2200 μm), muito longo (2200 a 3000 μm) e extremamente longo (acima de 3000 μm). Com base nessa classificação, as fibras analisadas neste estudo enquadram-se na categoria de tamanho médio.

Quanto à espessura da parede celular, conforme a classificação proposta por Manimekalai *et al.* (2002), as fibras podem ser categorizadas como: muito espessas ($> 5 \mu\text{m}$), espessas (3 – 5 μm), delgadas (2 – 3 μm) e muito delgadas ($< 2 \mu\text{m}$). Com base nesse critério, as fibras analisadas neste estudo enquadram-se na categoria de fibras muito espessas.

Talgatti *et al.*, 2020 estudaram seis clones comerciais de *Eucalyptus* e verificaram Índice de Runkel que variaram de 0,47 a 0,61. Sousa Júnior *et al.*, 2025 ao analisarem diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* e *Corymbia*, e verificaram valores de 0,98; 0,99 e 1,09 de Índice de Runkel. Sendo estas fibras classificadas como boas para a produção de papel.

O índice de Runkel avalia o grau de colapso das fibras durante o processo de produção de papel, quanto menor, maior será o colapso permitindo às fibras uma maior superfície de contato, estabelecendo maior número de ligações, resultando em um papel com maior resistência à tração e ao estouro (Florsheim *et al.*, 2009). Neste estudo verificou-se que o Angelim e o Guajará se enquadram como regulares para papel, enquanto o Cumaru não deve ser utilizado por apresentar valor de Índice de Runkel superior a 2.

Quanto ao Coeficiente de Flexibilidade, os valores obtidos para as três espécies indicam que elas não são adequadas para a produção de papel. Esse coeficiente está relacionado ao grau de colapso que as fibras sofrem durante a fabricação, sendo que valores mais elevados indicam maior flexibilidade das fibras. Fibras mais flexíveis proporcionam maior número de ligações entre si, o que contribui para o aumento da resistência ao arrebentamento e a redução da resistência à tração. Dessa forma, quanto maior o Coeficiente de Flexibilidade, melhor o desempenho do papel em termos de resistência ao rompimento (Foelkel; Barrichelo, 1975).

O Índice de Enfeltramento está diretamente relacionado à resistência ao rasgo e ao arrebentamento do papel (Mogollón; Aguilera, 2002), sendo que valores superiores a 50 são considerados mais adequados para garantir boas propriedades, especialmente no que se refere à resistência ao rasgo e à realização de dobras duplas (Baldi, 2001). Todas as três espécies apresentaram valores acima dessa marca o que as conferem boa resistência ao rasgo. Nesta análise, todas as três espécies avaliadas apresentaram Índice de Enfeltramento superior a 50, indicando bom desempenho em termos de resistência ao rasgo bem como os destinados à embalagem (sacos) (Rusch *et al.*, 2019).

Conforme destacado por Foelkel e Barrichelo (1975), a fração parede possui influência significativa na qualidade da celulose. Valores superiores a 40% não são considerados ideais pelas indústrias, uma vez que indicam fibras demasiadamente rígidas, com baixa flexibilidade e limitada capacidade de formar ligações entre si, comprometendo a qualidade final da celulose. No presente estudo, as três espécies analisadas apresentaram valores acima desse limite, sendo o Cumaru a espécie com o maior valor entre elas.

Conclusão

Com base nos índices anatômicos avaliados, verificou-se que entre as três espécies estudadas, o Guajará Vermelho (*Micropholis venulosa*) apresentou as fibras mais promissoras para a produção de polpa celulósica, com Índice de Runkel (1,14) e Fração Parede (53,30%) próxima dos limites aceitáveis e Coeficiente de Flexibilidade (0,47) superior às demais espécies, sugerindo melhor potencial de colapsabilidade e formação de ligações entre fibras. O Angelim Vermelho (*Hymenolobium sp.*) também demonstrou desempenho regular, com Índice de Runkel 1,67, Coeficiente de flexibilidade 0,37, Índice de Enfeltramento 69,34 e Fração Parede de 62,54% que o posicionam como alternativa viável, embora com limitações quanto à rigidez das fibras. Já o Cumaru (*Dipteryx odorata*), apesar de apresentar bom

Índice de Enfiamento (79,15), apresentou valores de Índice de Runkel (4,14) e Fração Parede (80,95%) muito elevados, o que o torna inadequado para a produção de papel, devido à elevada rigidez e baixa flexibilidade das fibras. Dessa forma, conclui-se que *Micropholis venulosa* possui maior aptidão tecnológica entre as espécies avaliadas para uso na indústria de polpa e papel.

Referências

BALDI, F. Il processo di produzione delle paste chimiche e il loro trattamento. In: **CORSO DI TECNOLOGIA PER TECNICI CARTARI**, 8., 2000, Verona. Anais... Verona: Scuola Grafica Cartaria, 2001. 41p.

CAMARGOS J.A.A. *et al.* **Catálogo de árvores do Brasil**. 2 ed. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Brasília. 2001.

FLORSHEIM, S. M. B. *et al.* Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, v.36, n.9, p.49- 53, 1975.

GONÇALVES, M.P.M. *et al.* Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira de *Tectona grandis* L.. **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 70-75, 2007.

IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores). **Relatório Anual IBÁ**, São Paulo, 2024.

JARDIM, J. M. *et al.* Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O papel**, v. 78, n. 11, p. 122-129, 2017.

LIMA, Haroldo C. **Considerações taxonômicas sobre o gênero *Hymenolobium* Benth (Leguminosae-Faboideae)**. 1981.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M.F.; ALENCAR, J.C. **Essências madeireiras da Amazônia**. INPA, Manaus. 187 pp. 1979.

MANIMEKALAI, V.; PAVICHANDRAN, P.; BALASUBRAMANIAN, A. **Fibres of *Sorghum bicolor* (L.) Moench and their potential use in paper and board making**. Phytomorphology, 2002.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. Anatomy of the dicotyledons - Wood structure and conclusion of the general introduction. v. 2. 2 ed. **Oxford: Clarendon Press**. 308pp, 1983.

MOGOLLÓN, G.; AGUILERA, A. **Guia teórica y práctica de morfología de la fibra**. Mérida: Universidad de Los Andes, 2002. 48p.

NISGOSKI, S. *et al.* Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012

RODRIGUES, B. P. **Utilização de parâmetros anatômicos da madeira de dois clones de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* como índices de qualidade para a produção de papel**. Monografia de conclusão de curso (Tecnologia de Produtos Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

RUNKEL, R.O.H. **Pulp from tropical wood**. TAAP, v.35, n.4, p.174- 178, 1952.

RUSCH, F., CEOLIN, G. B.; HILLIG, E. Morphology, density and dimensions of bamboo fibers: A bibliographical compilation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 49, e55007. 2019.

SILVA, M.F.; LISBOA, P.L.B.; LISBOA, R.C.L. **Nomes vulgares de plantas amazônicas INPA**, Belém-PA. 222pp. 1977.

SOUSA JÚNIOR, W. P. *et al.* Fiber quality indices of *Corymbia* spp. and *Eucalyptus* spp. wood for the selection of genetic materials for pulp production. **Revista Árvore**, 49(1). 2025.

TALGATTI, M. *et al.* Caracterização anatômica de clones comerciais de *Eucalyptus* para a produção de papel BIOFIX. **Scientific Journal** v. 5 n. 1 p. 65-70. 2020.