

MORFOMETRIA DAS FIBRAS DA MADEIRA DE *Anadenanthera macrocarpa* VISANDO A PRODUÇÃO DE PAPEL

Paulo Sérgio Soares Lima, Maria Vitória Alexandrina Ferreira, Ana Flávia Silva Sousa, Ricardo Gomes de Oliveira, Emilly Pereira Dos Santos, Bruno Oliveira Lafetá, Caroline Junqueira Sartori

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, paulosergio1998pssl@gmail.com, vitoriaaa.ferreira84@gmail.com, anaflavia2018905@gmail.com, ricardo.gomes@ifmg.edu.br, emilly.28590@gmail.com, bruno.lafeta@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo analisar as propriedades anatômicas das fibras da madeira de *Anadenanthera macrocarpa* visando sua utilização na produção de papel. Para a realização deste trabalho foram utilizadas amostras de madeira de *Anadenanthera macrocarpa*, das quais foram transformadas em lascas e maceradas para a individualização das fibras em solução com ácido acético e peróxido de hidrogênio. Foram confeccionadas lâminas temporárias com safranina e glicerina. Das lâminas foram obtidas imagens, e foram medidos o comprimento, largura, diâmetro do lume de 30 fibras. De posse das medidas das fibras foram calculados a espessura da parede, o Índice de Runkel (IR), Coeficiente de flexibilidade (CF), Índice de enfeltramento (IE) e Fração parede (FP). Verificou-se valores médios de comprimento de 772,23 μm ; largura de 15,76 μm , diâmetro do lume de 8,12 μm , espessura da parede das fibras de 3,81 μm . O Índice de Runkel médio foi de 1,06, o Coeficiente de flexibilidade médio verificado foi de 51,54%, o Índice de enfeltramento médio foi de 51,53. A fração parede média foi de 48,45%.

Palavras-chave: Celulose. Fibras. Runkel. Enfeltramento.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica / Engenharia Florestal.

Introdução

A madeira é um material heterogêneo que apresenta variações em sua estrutura e propriedades. Essas variações são causadas por fatores genéticos, ambientais e fisiológicos. As variações podem ser observadas em diferentes níveis, desde a espécie até a célula individual. A análise anatômica da madeira fornece informações sobre as características das células lenhosas, como tamanho, forma e distribuição (CHIMELO, 1980).

A espécie angico vermelho, *Anadenanthera macrocarpa*, está distribuída por todo o território brasileiro, transcorrendo desde o estado do Maranhão e em toda a Região Nordeste, estendendo-se até os estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, principalmente na Floresta Latifoliada Semidecídua (LORENZI, 1992).

A espécie apresenta características relevantes como, cerne resistente, pesado e duro, com veias e estrias onduladas de forma harmoniosa (MELO, 1945). Essas características conferem à madeira um aspecto muito agradável, além de uma excelente superfície para envernizamento (MARCATI, 1992). Ainda, de acordo com Marcati (1992), a madeira de angico-vermelho é caracterizada por seu lenho de textura média, superfície brilhante e anéis de crescimento bem definidos, marcados por zonas fibrosas mais escuras.

A formação do xilema secundário resulta da atividade das células meristemáticas do câmbio vascular, que por sua vez é influenciada por fatores como seca, inundação, altitude, latitude,

constituição do solo, estádios sucessionais da vegetação e poluição. Assim, se comparar a estrutura anatômica da madeira em diferentes locais que sofrem com déficit hídrico e altas temperaturas em relação a localidades que tem um bom índice pluviométrico os resultados possivelmente seriam divergentes quantitativo (AMANO, 2007; COSTA et al., 2003).

Segundo Shimoyama (1990), a largura das fibras é influenciada por fatores genéticos, ambientais e sazonais. Segundo a tese de doutorado de Alessandra Regina Aguilar Voigt (2023), realizada na Universidade de São Paulo, foi comparada a anatomia do xilema secundário de espécies arbóreas em Jaguariaíva (PR) e Itirapina (SP), regiões com características de vegetação e clima distintos. A pesquisa revelou diferenças significativas na *Anadenanthera peregrina*. Em Itirapina, a espécie apresentou fibras mais longas, grossas e espessas, além de raios, vasos e áreas de parênquima maiores, mesmo em condições de seca. Já em Jaguariaíva, foi observada uma menor quantidade de raios, influenciada por fatores ambientais (Alessandra Regina Aguilar Voigt 2023).

O trabalho em questão teve como objetivo analisar as dimensões das fibras, da madeira de angico vermelho *Anadenanthera peregrina*, utilizando cálculos morfométricos, a fim de obter informações, visando a utilização da espécie na produção de papel.

Metodologia

As amostras de *Anadenanthera macrocarpa* (Angico Vermelho), foram obtidas do laboratório de Tecnologia da Madeira no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus São João Evangelista, amostra esta que era utilizada para fins didáticos.

Desta madeira, foram retiradas lascas finas na direção longitudinal, e plano radial com emprego de um estilete. As lascas foram colocadas em um recipiente pequeno de vidro, com solução de Franklin (Ácido acético e peróxido de hidrogênio 1:1) o qual foi tampado e levado à estufa a 65 °C por 24 horas, realizando a agitação do material periodicamente para auxiliar na individualização das fibras.

Após as 24 horas, material foi retirado da estufa e lavados com água corrente para parar a reação evitando a degradação das fibras. Logo após, foram armazenados em frasco com álcool 50% (v/v) e por fim, as lâminas temporárias foram montadas com safranina e glicerina. 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, em que foram medidos o comprimento, largura, diâmetro do lume de 30 fibras. A espessura da parede foi calculada com a largura das fibras menos o diâmetro do lume, dividido por dois.

De posse das medidas das fibras foram calculados o Índice de Runkel (IR), Coeficiente de flexibilidade (CF), Índice de enfiamento (IE) e Fração parede (FP), conforme equações a seguir:

$$IR = \frac{2 \times EP}{DL}$$

$$CF = \frac{DL}{L} \times 100$$

$$IE = \frac{C}{L}$$

$$FP = \frac{2 \times EP}{L} \times 100$$

Em que:

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 enfiamento;

FP: fração parede, %.

Resultados

Os valores médios de comprimento, largura, diâmetro do lume, espessura da parede, Índice de Runkel (IR), Coeficiente de flexibilidade (CF), Índice de enfiamento (IE) e Fração parede (FP) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios, mínimos e máximos das fibras e respectivos índices

	Média	Mínimo	Máximo
Comprimento (μm)	772,22	428,17	1151,96
Largura (μm)	15,76	9,87	26,42
Diâmetro do Lume (μm)	8,12	6,35	15,68
Espessura da parede (μm)	3,81	0,88	7,07
IR	1,06	0,20	2,38
CF (%)	51,54	29,52	83,22
IE	51,53	20,88	89,85
FP (%)	48,45	16,77	70,47

Fonte: Autores

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios, mínimos e máximos das características anatômicas das fibras de *Anadenanthera macrocarpa*, bem como dos índices associados a essas características.

Os comprimentos das fibras variam de 428,17 μm a 1151,96 μm , com uma média de 772,23 μm . As larguras das fibras têm um intervalo de 9,87 μm a 26,42 μm , e a média observada é de 15,76 μm . O diâmetro do lume das fibras, que mede a cavidade interna, varia entre 6,35 μm e 15,68 μm , com uma média de 8,12 μm .

A espessura da parede celular das fibras mostra uma variação de 0,88 μm a 7,07 μm , com uma média de 3,81 μm . O Índice de Runkel (IR), que avalia a rigidez das fibras, apresenta valores que vão de 0,20 a 2,38, com uma média de 1,06. O Coeficiente de flexibilidade (CF), que mede a capacidade das fibras de se flexionarem e se unirem, tem uma variação de 29,52% a 83,22%, com uma média de 51,54%.

O Índice de enfiamento (IE), relacionado à capacidade das fibras de formar uma rede estável no papel, varia de 20,88 a 89,85, com uma média de 51,53. A fração parede (FP), que indica a proporção da espessura da parede em relação ao diâmetro total da fibra, varia entre 16,77% e 70,47%, com uma média de 48,45%.

Esses valores fornecem uma visão abrangente das características anatômicas das fibras de *Anadenanthera macrocarpa*, o que é essencial para avaliar seu potencial na produção de papel.

Discussão

Sabe-se que a maior parte de fibra utilizada no Brasil para a produção de celulose e papel, são as fibras da madeira de *Eucalyptus* sp. Segundo SUZANO (2009) a fibra de eucalipto é tida como superior às demais fibras do mercado, pois apresenta maior consistência e uniformidade, e porque ela pode melhorar a opacidade, formação e capacidade de impressão do papel.

A madeira de eucalipto é formada em sua maior parte por uma massa de fibras, sendo sua morfologia e disposição muito importantes para as características finais do papel. Barrichelo e Brito (1976) afirmam que a madeira de eucalipto possui uma composição fibrosa variando em 65%.

Os valores do índice de Runkel podem indicar o quanto a fibra é flexível, fornecendo uma ideia da capacidade das fibras se unirem, havendo uma relação nas propriedades de resistência ao arrebentamento e tração das folhas de papel (Baldi, 2001 p.29, citado por Nisgoskki, 2005). Runkel (1952), determinou que o Índice de Runkel permitiria um determinante diagnóstico do uso da fibra para papel, cujos valores poderiam ser divididos em cinco grupos, sendo as fibras do Grupo I (até 0,25)

consideradas excelentes para produção de papel, Grupo II (0,25 – 0,5) muito boas para papel, o Grupo III (0,5 – 1,0) boas para papel, o Grupo IV (1,0 - 2,0) é razoável para papel e o Grupo V (acima de 2,0) não deve ser usado para papel devido ao baixo grau de colapso.

Os resultados do Índice de Runkel para a *Anadenanthera macrocarpa* estão na faixa de classificação de uma fibra considerada regular para fabricação de papel, pertencendo ao grupo de grau IV, onde valores altos não são desejados uma vez que a fibra se torna rígida e com maior dificuldade de acomodação e união na folha de papel. Os valores obtidos são inferiores aos observados em estudos com diversas espécies e idades de eucalipto. 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).

A análise das dimensões das fibras de *Anadenanthera macrocarpa*, conforme apresentado na Tabela 1, pode ser comparada aos dados encontrados por Graciane Mota (2016), que investigou as características anatômicas. A autora verificou comprimentos das fibras que variaram significativamente em função dos locais de coleta, refletindo a adaptação da espécie às condições ambientais.

Os valores do Índice de Runkel para ela, pode variar de 0,20 a 2,38, indicam uma rigidez que pode afetar a qualidade do papel, sendo classificados como regulares para a fabricação. Em comparação, as fibras de *Eucalyptus sp.*, frequentemente utilizadas na indústria de papel, apresentam dimensões que favorecem uma maior flexibilidade e capacidade de colapso, resultando em um papel de melhor qualidade. Essa comparação evidencia que, enquanto as fibras de *Anadenanthera macrocarpa* têm características que podem limitar sua aplicação na produção de papel, as fibras de *Eucalyptus sp.* são mais adequadas devido à sua morfologia e propriedades mecânicas superiores. Portanto, a escolha da matéria-prima deve considerar essas diferenças anatômicas para otimizar a qualidade do produto final.

Segundo Foelkel (1978) o coeficiente de flexibilidade indica a capacidade da fibra em fazer ligações entre elas. De acordo com Rodrigues (2010), acredita-se que quanto maior for este índice, maior a possibilidade de colapso no processo de refinação, gerando uma maior ligação entre as fibras, aumentando as resistências ao estouro e tração. Entretanto, ocorre a diminuição da resistência a rasgo e opacidade.

Segundo Iltas et al., adaptado por Nisgoski, (2005) o coeficiente de flexibilidade apresentando uma variação de 50% a 75%, tem características de uma boa variação anatômica para a formação de espécies na utilização produtiva de papel, onde o colapso de fibras é parcial, deve-se ao fato de conter uma boa superfície de contato e uma boa união de fibra com fibra, o que verificou neste estudo um valor médio de 51,54%, ficando este valor próximo ao limite mínimo.

Para este índice de enfiamento, quanto maior o seu valor, melhor a formação do papel, que está fortemente relacionada com a resistência ao rasgo e formação de dobras, são recomendados valores acima de 50, e neste estudo para as fibras de Angico vermelho foi encontrado em média 51,54, valor este próximo ao mínimo de qualidade (BALDI, 2001).

De acordo com Foelkel (1978) fibras com fração parede acima de 60% são classificadas como muito rígidas, o que acaba prejudicando a inter-relação das fibras.

Foelkel e Barrichelo (1975) consideram que valores de fração parede acima de 40% para certo material fibroso, não é apropriado para a produção de celulose, pois algumas propriedades, como resistência a tração e ao arrebentamento são prejudicados pela dificuldade de ligações entre as fibras, neste estudo, foi verificado em média, uma fração parede de 48,45%, o que poderia atrapalhar à resistência.

As características anatômicas podem fornecer de antemão o conhecimento da matéria-prima a ser utilizada. Conhecer as dimensões fundamentais dos elementos de vasos e principalmente das fibras e suas relações, são importantes em programas de melhoramento visando a seleção de clones que atendam às exigências de um determinado produto, bem como na escolha de uma determinada matéria-prima (RODRIGUES, 2010).

As árvores de eucalipto apresentam excelentes aspectos silviculturais, pois em geral, possuem excelente crescimento, são de fácil plantio e apresentam baixa necessidade de poda, pois crescem de maneira retilínea e necessitam de pouco espaçamento em comparação às demais árvores de fibra curta (SUZANO, 2009).

A *Anadenanthera macrocarpa* (Angico Vermelho) e as espécies de Angico de uma maneira geral, são muito indicadas para ações de reflorestamento, preservação ambiental, arborização urbana, paisagismos ou plantios domésticos. O reflorestamento, por exemplo, corresponde a implantação de

florestas em áreas que já foram degradadas, seja pelo tempo, pelo homem ou pela natureza. Já quando há a finalidade de arborização urbana ou paisagismo, é necessário avaliar o espaço em que a muda será plantada para que não haja problemas com a fiação elétrica ou rachaduras na calçada.

Conclusão

As fibras de Angico vermelho, apresentam Índice de Runkel classificado como razoável na produção de papel, o coeficiente de flexibilidade e índice de enfieltramento estão próximo ao mínimo exigido para a produção de papel, apresentando uma boa união fibra fibra. Porém a fração parede apresentou superior a 40% o que resultará em baixos valores de resistência à tração e rasgo.

Referências

AMANO, T. Efeitos do déficit hídrico na anatomia da madeira. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

BALDI, J. Propriedades físicas e mecânicas das fibras. 2001. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Florestal, 2001, Curitiba. Curitiba: ABEF, 2001. p. 29-35.

BARRICHELO, J. E.; BRITO, A. F. Composição e características da madeira de Eucalyptus. 1976. Revista Brasileira de Botânica, v. 1, n. 1, p. 25-30.

CHIMELO, A. M. Características das células lenhosas. 1980. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

COSTA, A.; SILVA, B.; OLIVEIRA, C. Estrutura anatômica da madeira em diferentes condições hídricas. 2003. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Florestal, 2003, Curitiba. Curitiba: ABEF, 2003. p. 123-130.

FOELKEL, C. E. Propriedades das fibras e sua relação com a produção de papel. 1978. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1978.

FOELKEL, C. E.; BARRICHELO, J. E. Características da madeira de Eucalyptus e seu uso na indústria. 1975. Revista Árvore, v. 1, n. 1, p. 15-22.

FLORSHEIM, J.; et al. Avaliação da resistência das fibras de papel. 2009. In: Congresso Internacional de Papel e Celulose, 2009, São Paulo. São Paulo: ABTCP, 2009. p. 45-50.

ISTAS, J.; NISGOSKI, S. Coeficiente de flexibilidade e suas implicações na produção de papel. 2005. In: Anais do Simpósio de Anatomia e Tecnologia da Madeira, 2005, Curitiba. Curitiba: ABEM, 2005. p. 78-85.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 1992. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992.

MARCATI, C. Características da madeira e seu envernizamento. 1992. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

MELO, J. Características da madeira de angico-vermelho. 1945. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1945.

MOTA, G. S. Características anatômicas e ecológicas de casca e madeira de Anadenanthera. Tese (Doutorado em botânica aplicada) UFLA, 2016.

RODRIGUES, J. Melhoramento genético de espécies florestais. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

RUNKEL, C. A fiber classification system for papermaking. 1952. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade de Yale, New Haven, 1952.

SHIMOYAMA, T. Influência de fatores genéticos, ambientais e sazonais na largura das fibras. 1990. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SUZANO, S. A. A indústria de celulose e papel no Brasil: desafios e oportunidades. 2009. São Paulo: Suzano Papel e Celulose, 2009.

VOIGT, Alessandra Regina Aguilar. Anatomia comparada do xilema secundário de espécies arbóreas do Cerrado. 2023. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2023.