



# madeiras de coníferas e folhosas na fabricação de celulose kraft no brasil e nos estados unidos da américa, um estudo comparativo

CELSE EDMUNDO BOCHETTI FOELKEL \*

LUIZ ERNESTO GEORGE BARRICHELO \*

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a invenção do papel há muitos séculos, inúmeras foram as matérias-primas utilizadas como fontes de fibras. Muitas tiveram suas reservas esgotadas pelo crescente consumo da indústria papelreira enquanto outras foram substituídas por espécies mais vantajosas. Atualmente, o fornecimento de fibras à indústria de celulose é quase que exclusivamente feito por espécies que produzem madeira. Do total mundial de fibras processadas para papel e similares, 90 a 95% são oriundas de madeiras.

Existem dois tipos básicos de essências florestais cujas madeiras possuem características que produzem celuloses de pro-

priedades definidas: coníferas (*Gymnospermae*) e folhosas (*Angiospermae*, *Dicotyledoneae*).

Embora representando 50% da área florestal que recobre o globo, as folhosas foram por muito tempo deixadas em segundo plano pelos produtores de papel. Este desinteresse decorria do fato destas espécies não ocorrerem em maciços puros, de muitas delas absorverem água com grande facilidade impedindo o transporte fluvial, de apresentarem densidades geralmente elevadas e, principalmente por apresentarem menor comprimento de fibra, pois importância especial foi dada a esta dimensão da fibra durante muitos anos. Era conceito difundido que a resistência do papel estava associada unicamente ao comprimento das fibras. A partir de 1960 passou-se a observar que outras características da madeira influenciam de maneira

complexa em muitos aspectos da produção do papel.

O grande desenvolvimento que vem sofrendo nos últimos anos a indústria papelreira passou a pressioná-la no sentido de se obter mais e de forma mais barata, as matérias-primas vegetais indispensáveis ao seu funcionamento. O sucesso alcançado pelas espécies do gênero *Eucalyptus* na produção de papel e celulose em países mediterrânicos, latino-americanos e na Austrália contribuiu decisivamente para a quebra do errôneo conceito que só de coníferas se obtinha papel de boa qualidade. Além das considerações sobre as características anatômicas das madeiras, o fator econômico muito contribuiu para o aumento da utilização das folhosas pela indústria de celulose. A madeira de coníferas custa pelo menos 20% e às vezes mais que a de folhosas.

\* Departamento de Silvicultura —  
E. S. A. «Luiz de Queiroz» —  
U. S. P.

Todas estas observações não querem significar porém que a utilização de madeira de folhosas para produção de celulose seja recente. Em 1853, um processo para transformar madeira de bétula em celulose foi patenteado na Inglaterra. No ano seguinte, a primeira fábrica comercial usando o álamo como matéria-prima foi fundada na América. Celulose de eucalipto também foi produzida com sucesso há mais de meio século, tendo sido estabelecida em Portugal a primeira fábrica.

## 2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MADEIRAS DE CONÍFERAS

As madeiras de coníferas são bastante uniformes em estrutura. Os principais elementos lenhosos são os traqueídeos, chamados comumente de "fibras", e as células de parênquima. Volumetricamente, a relação percentual entre traqueídeos e parênquima é 9:1. Os traqueídeos são células longas em relação ao seu diâmetro: variam de 1 a 9 mm em comprimento e de 30-60 microns em diâmetro ou largura. Algumas espécies apresentam anéis de crescimento bem definidos, compostos de um lenho inicial de células com paredes delgadas, e de um lenho tardio, com traqueídeos de paredes espessas. Tanto comprimento de fibra como espessura da parede celular variam bastante em coníferas. Há considerável variação destas características entre espécies, dentro da espécie e dentro de uma única árvore. Em virtude da uniformidade da estrutura, as alterações na espessura da parede são intimamente correlacionadas com a densidade da madeira. Por esta razão a densidade é usualmente aceita como um bom índice de qualidade da madeira. Existem também uma alta correlação entre densidade da madeira e relação lenho inicial/lenho tardio, visto que o aumento da porcentagem de lenho tardio corresponde a maior quantidade de fibras com paredes espessas. Assim, em termos práti-

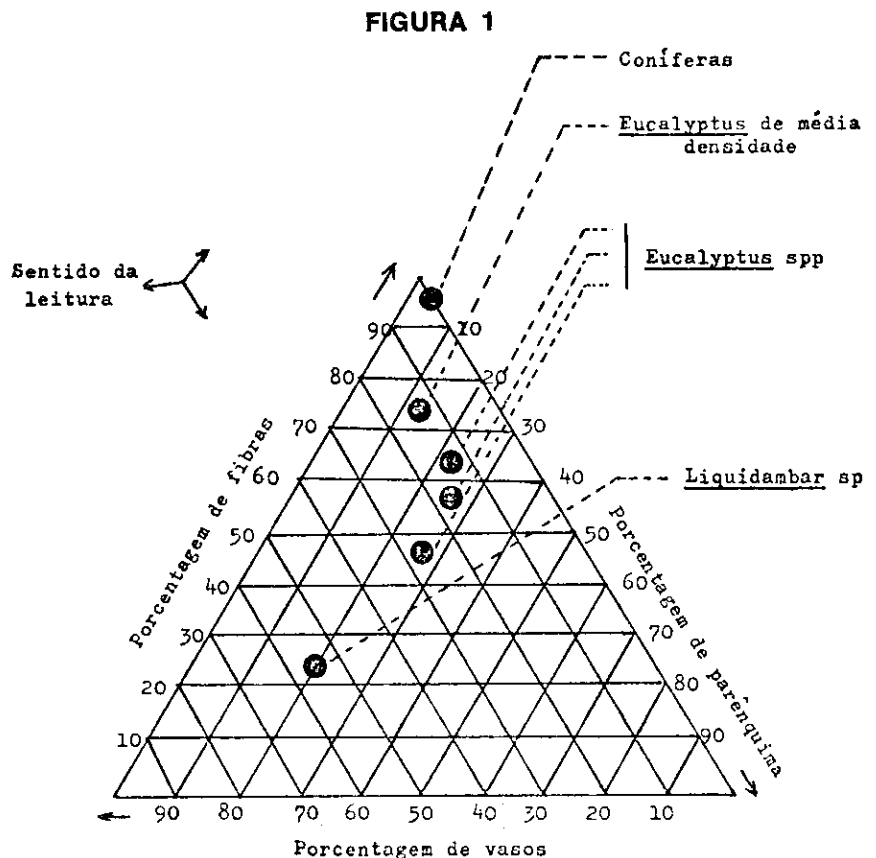
cos a densidade pode ser utilizada para se avaliar a qualidade da madeira. Entretanto, deve-se levar em consideração que muitas vezes a porção central do caule, devido a formação do cerne, tem suas cavidades celulares preenchidas por extrativos, e a densidade é bastante alta, sem que haja correlação com espessura da parede ou relação entre lenhos inicial e tardio.

## 3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MADEIRAS DE FOLHOSAS

Além do número extremamente maior de espécies que compõem este grupo de vegetais existe uma ampla variação na estrutura de suas madeiras. Vasos, parênquima, fibras libriformes, fibro-traqueídeos e outras células especializadas arranjam-se em inúmeras formas para compor suas madeiras. Também para folhosas, o comprimento da fibra e a espessura da parede celular são características importantes. Entretanto para estas madeiras a densidade não depende apenas da espessura

da parede celular, mas também da proporção dos vários tecidos presentes. Dentro de uma espécie, esta proporção é mais ou menos constante e a espessura da parede controla as variações de densidade. Isso é verdadeiro também dentro de muitos gêneros. Entretanto, para espécies de gêneros diferentes, as variações em densidade não mostram apenas a espessura da parede, mas também a proporção e dimensão dos elementos presentes. As fibras libriformes de folhosas são curtas e finas. O comprimento varia de 0,7 a 2 mm e a largura de 10 a 30 microns. Os vasos são muito mais largos: sua largura pode variar de 50  $\mu$  ou menos até 300  $\mu$ . As células parenquimatosas são curtas, de paredes delgadas e com largura semelhante a das fibras.

Do exposto anteriormente, conclui-se que para folhosas, a avaliação de uma madeira para produção de celulose deve levar em conta o número e o arranjo dos tecidos lenhosos constituintes, além de se considerar o comprimento da fibra e a espes-



sura da parede celular. Evidentemente, não se deve esquecer que muitas outras características da madeira influenciam a qualidade da celulose. Densidade da madeira, comprimento de fibra e espessura da parede celular são parâmetros fáceis de se medir e por isso são intensivamente usados em avaliação das qualidades das madeiras.

A determinação da proporção entre fibras libriformes, vasos e parênquima (radial e longitudinal) é feita em secções transversais da madeira, com o auxílio do microscópio. Frey-Wissling & Aeberli, citados por Dadswell & Wardrop (1960), apresentaram um método gráfico para relacionar estes três tipos de elementos anatômicos. O método consiste num triângulo equilátero, em que cada lado corresponde às porcentagens de um determinado elemento anatômico:

Observe-se por exemplo que as madeiras de coníferas localizam-se próximo ao vértice superior do triângulo. Muitas espécies de **Eucalyptus** também se situam perto deste ápice. Quanto mais próximo a este vértice, maior o teor de fibras que a madeira contém.

#### 4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DE MADEIRAS DE ALGUMAS ESSÊNCIAS FLORESTAIS QUE SE DESENVOLVEM NO BRASIL E EE.UU.

O uso de um tipo ou outro de madeira para produção de celulose depende basicamente do produto final a ser fabricado e do processo de conversão a ser utilizado.

As coníferas e madeiras de fibras longas constituem-se na maior fonte de fibras para produção de celulose química e

pasta mecânica de ótima qualidade. Altas resistências, especialmente para as celuloses kraft, são obtidas.

Madeiras de folhosas caracterizam-se por apresentar fibras mais curtas, menor teor de lignina e maior teor em holoceluloses que as madeiras de coníferas. Essas propriedades conduzem a modelos bem definidos na produção de celulose: a madeira é mais facilmente deslignificada e branqueada, os rendimentos são mais elevados, a formação e as propriedades superficiais das folhas de papel são melhoradas. Entretanto estas celuloses apresentam algumas desvantagens em relação às de coníferas, principalmente no que diz respeito à resistência ao rasgo.

O Quadro I, apresentado a seguir, mostra algumas das principais características de ma-

QUADRO I

| Espécies   | Comprimento da fibra (mm) | Espessura da parede ( $\mu$ ) | Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) | Teor (%)     |         |            |
|--|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------|------------|
|  |                           |                               |                                      | Holocelulose | Lignina | Pentosanas |
| <b>A. Coníferas que se desenvolvem no Brasil</b> |                           |                               |                                      |              |         |            |
| — <i>Pinus elliottii</i>                         | 3,1                       | 6                             | 0,35                                 | 68           | 30      | 9          |
| — <i>Pinus taeda</i>                             | 2,8                       | 6                             | 0,35                                 | 68           | 30      | 10         |
| — <i>Pinus oocarpa</i>                           | 3,0                       | 6                             | 0,40                                 | 69           | 29      | 9          |
| — <i>Pinus caribaea</i>                          | 3,5                       | 5                             | 0,35                                 | 69           | 29      | 9          |
| — <i>Araucaria angustifolia</i>                  | 5,0                       | 7                             | 0,45                                 | 69           | 29      | 7          |
| <b>B. Coníferas norte-americanas</b>             |                           |                               |                                      |              |         |            |
| — "Douglas fir" ( <i>Pseudotsuga</i> sp)         | 3,5                       | 7                             | 0,43                                 | 67           | 27      | 7          |
| — "Slash pine" ( <i>Pinus elliottii</i> )        | 4,5                       | 6                             | 0,45                                 | 68           | 28      | 9          |
| — "Spruce" ( <i>Picea</i> sp)                    | 4,5                       | 6                             | 0,37                                 | 68           | 26      | 9          |
| — "Hemlock" ( <i>Tsuga</i> sp)                   | 4,0                       | 7                             | 0,38                                 | 74           | 28      | 9          |
| <b>C. Folhosas que se desenvolvem no Brasil</b>  |                           |                               |                                      |              |         |            |
| — <i>Eucalyptus</i> sp                           | 1,0                       | 5                             | 0,55                                 | 73           | 25      | 17         |
| — <i>Joannesia princeps</i>                      | 1,7                       | 5                             | 0,38                                 | —            | —       | —          |
| — <i>Mimosa bracinga</i>                         | 1,2                       | 6                             | 0,50                                 | —            | 25      | 22         |
| — <i>Acacia mollissima</i>                       | 1,0                       | —                             | 0,65                                 | —            | 20      | 19         |
| <b>D. Folhosas norte-americanas</b>              |                           |                               |                                      |              |         |            |
| — "birch" ( <i>Betula</i> sp)                    | 1,4                       | 4                             | 0,52                                 | 73           | 23      | 23         |
| — "aspen" ( <i>Populus</i> sp)                   | 1,3                       | 5                             | 0,36                                 | 79           | 19      | 19         |
| — "Oak" ( <i>Quercus</i> sp)                     | 1,5                       | 5                             | 0,55                                 | 76           | 24      | 19         |
| — "Sweet gum" ( <i>Liquidambar</i> sp)           | 1,9                       | 5                             | 0,46                                 | 75           | 22      | 17         |

Quadro I: Características das madeiras de algumas essências florestais.

deiras de coníferas e folhosas. Para efeito de comparação são mostrados valores médios para espécies que se desenvolvem no Brasil e nos Estados Unidos da América. Os dados referentes às madeiras nacionais foram coletados em inúmeros experimentos realizados pela Seção de Química, Celulose e Papel, do Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" — Universidade de São Paulo, em Piracicaba, São Paulo. Os valores referentes às madeiras norte-americanas foram tomados na literatura mundial, com especial referência ao livro "Textbook of Wood Technology, Vol I", por Panshin & Zeuw (1970).

## 5. CUSTOS DA MADEIRA NA FABRICAÇÃO DE CELULOSE KRAFT

Atualmente, o custo da madeira está crescendo vertiginosamente e não existe projeção a curto prazo para uma estabilização ou diminuição. Esta situação é mundial e tende a se agravar em futuro próximo, quando as reservas florestais tornarem-se mais escassas e a demanda por papel maior. Não existem dúvidas que estes fatores tenderão a levar a indústria de celulose a procurar fontes de fibras mais baratas como um suplemento à madeira. Fibras secundárias como as obtidas pela reciclagem do papel ou fibras de espécies vegetais não arbóreas (bambus, bagaço, palhas, etc.) são alternativas interessantes que se apresentam ao fabricante de celulose.

Os aspectos econômicos são essenciais na maioria dos problemas relativos à fabricação de celulose. Preço e consumo de madeira são aspectos fundamentais na análise econômica da fabricação de celulose. Preço de madeira é um fator que varia amplamente pelo mundo e é difícil de se obter valores comparáveis, uma vez que eles são cotados em diferentes moedas

e em diferentes unidades de medida. Existe também considerável variação no preço de mercado ao longo dos anos. Por outro lado, o costume de se medir madeira por volume tende a favorecer as madeiras de baixas densidades. Os maiores custos no preço da madeira são os representados pela exploração da mesma (corte e transporte). No Brasil, estes custos de exploração chegam a atingir 50% ou mais do preço da madeira posta à fábrica. As condições locais são fatores de essencial importância na economia do processo de abastecimento de madeira.

Outro fator tão relevante quanto o custo de madeira é o seu consumo para produção de uma tonelada de celulose. Este consumo é afetado diretamente pela densidade da madeira e pelo rendimento do processo de conversão utilizado. Existe considerável informação na literatura mostrando que rendimentos em celulose kraft são diretamente proporcionais à densidade da madeira de uma dada espécie. Baseando-se nestas informações da literatura e nos dados fornecidos no Quadro II, pode-se estipular como meta inicial no Melhoramento Florestal, no Brasil, principalmente para coníferas, o aumento de densidade destas madeiras.

Com a finalidade de fornecer dados florestais e de rendimentos em celulose expressos de diferentes formas, os autores deste trabalho elaboraram o Quadro II. Ressalte-se que os dados apresentados referem-se a madeiras sem casca, com cotações para celulose e madeira a preços de 1975 (em dólares) e são, acima de tudo, valores médios, uma vez que a gama de variação dos mesmos é bem ampla.

Conforme se pode observar no Quadro II, a porcentagem com a madeira empregada entrando no preço de venda f.o.b. da celulose varia entre 10 a 30%, para as condições preestabelecidas. Os custos relativos da madeira foram mais altos para as coníferas. Comparativamente com as madeiras norte-americanas, verificou-se que no Brasil,

a matéria-prima ainda entra em menor proporção no preço de venda da celulose. Entretanto, esta diferença já foi bem maior há alguns anos.

As madeiras de folhosas, principalmente o eucalipto, mostraram-se mais atrativas com respeito a custos e consumo. O menor consumo para produção de uma unidade de peso de celulose faz com que o custo de madeira no preço f.o.b. da celulose represente apenas 10 a 15% no Brasil e entre 18 a 25% nos EE.UU.

O menor ciclo de rotação florestal para as folhosas permite a obtenção de madeira mais rapidamente e a necessidade de uma menor área reflorestada.

Com relação à densidade da madeira, observa-se que o seu aumento implica numa menor contribuição da madeira no preço da celulose e numa menor área a ser reflorestada. Com o elevado preço da terra nos dias atuais, reveste-se de importância atentar mais detidamente para estes fatores.

Dentre os **Pinus** desenvolvidos no Brasil, o ideal seria obter densidades de suas madeiras igual ou superior a 0,400 g/cm<sup>3</sup>. Com isso seria possível produzir-se uma tonelada de celulose com aproximadamente 7 estéreos de madeira, o que estaria dentro dos padrões internacionais para coníferas. Madeiras juvenis em **Pinus**, com baixas densidades e baixos rendimentos em celulose, promovem um aumento no consumo de madeira e um conseqüente encarecimento nos custos de produção.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- CROSO, M. C. — Preços nacionais e internacionais de celulose — Informações pessoais, ABCP, S.P. (1975)
- DADSWELL, H. E. & WARDROP, A. B. — **Appita** 13(5):161-173 (1960)
- GRANT, J. — **Paper Technology** 11(3):187-192 (1970)



LEITE, N.B. — Informações pessoais sobre dados florestais, IPEF, Piracicaba, S.P. (1975)  
PANSIN, A.J. & de ZEUW, C.

— Em "Textbook of Wood Technology", Vol 1, McGraw-Hill Book Co., 2ª ed., 705 pp. (1970)  
RYDHOLM, S.A. — Em "Pul-

ping Processes", Interscience Publishers, 1269 pp. (1965)  
U.S.D.A. — Forest Service — Pulpwood Prices in the Southeast (1974)