



Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* visando a produção de celulose *kraft* e pasta mecânica

Francides Gomes da Silva Júnior*
Luiz Ernesto George Barrichelo*
Vanilda R. S. Shimoyama**
Marcelo Sérgio Souza Wiecheteck**

1. Introdução

A busca por novas fontes de matérias-primas fibrosas, assim como por melhores produtividades em florestas e plantas, tem levado pesquisadores das áreas de tecnologia de madeiras e silvicultura a realizarem intensas pesquisas.

As espécies de *Pinus* tropicais, notadamente o grupo de *Pinus* da seção *Oocarpa*, têm sido cada vez mais estudadas pois são espécies que apresentam grande potencial para formação de maciços florestais no Brasil. As espécies de *Pinus* tropicais têm tido cada vez mais importância no panorama nacional ao ponto de alterar a distribuição geográfica das florestas plantadas com o gênero *Pinus*, antes restritas somente à região Sul.

Apesar do número expressivo de espécies/procedências de *Pinus* tropicais já testadas no Brasil e do direcionamento da pesquisa para práticas mais avançadas de melhoramento florestal, não foi ainda esgotada a enorme variabilidade

genética existente entre grupos taxonômicos e entre o grande número de ecótipos existentes nas regiões de ocorrência natural das espécies (Lima, 1991).

Uma série de debates tem ocorrido acerca da identificação taxonômica da espécie em estudo, que tem sido categorizada em diferentes espécies, variedade ou subespécie. Recentes estudos têm encontrado suporte para a separação taxonômica do *Pinus patula* e do *Pinus tecunumanii*, classificando-os como espécies distintas (Donahue, 1989).

No presente trabalho, optou-se pela nomenclatura de *Pinus patula* var. *tecunumanii* adotado pelo *Oxford Forest Institute*, instituição de origem do material genético.

Segundo Birk e Barnes (1990), a espécie *Pinus patula* var. *tecunumanii* apresenta boas características silviculturais, notadamente, rápido crescimento, boa forma do fuste, galhos com pequeno diâmetro e baixa ocorrência de rabo-de-raposa (*fox-tail*).

Quanto ao desenvolvimento da espécie, crescimento em altura e produção volumétrica, estes têm se mostrado superiores em algumas procedências (Gibson, 1987). Resultados de testes genéticos implantados nos trópicos indicam que o *P. patula* var. *tecunumanii* apresenta potencialidade para ser plantado em regiões semelhantes àquelas indicadas como aptas para o *Pinus caribaea* e o *Pinus oocarpa* (Lima, 1991)

Em função do grande interesse que esta espécie tem despertado, estudos visando caracterizar a qualidade de sua madeira vêm sendo conduzidos. Segundo Birk e Barnes (1990), a densidade básica da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* é ligeiramente inferior à densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa*, 0,409 g/cm³ e 0,415 g/cm³, respectivamente.

O presente trabalho tem como objetivo verificar as características da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* introduzido no Brasil, bem como seu desempenho no processo de produção de celulose *kraft* e pasta termomecânica.

2. Material e método

2.1. Caracterização do material genético

No estudo em questão, foram utilizadas as árvores de população base de *Pinus patula* var. *tecunumanii*, implantada na Estação Experimental de Anhembi, em Anhembi/SP. O material, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais - Esalq/USP, foi implantado, em 1979, e coletado com 12 anos de idade.

O projeto original foi implantado como *Pinus oocarpa* de *Mountain Pine Ridge/Belize*, sendo o material proveniente da Universidade de *Oxford* e, posteriormente, identificado como *Pinus patula* var. *tecunumanii* (*Pinus tecunumanii*). O material genético foi obtido de populações de origem, não tendo sofrido nenhum pro-

*Francides Gomes da Silva Júnior e Luiz Ernesto George Barrichelo, ambos do Departamento de Ciências Florestais, Esalq/USP, Piracicaba.

**Vanilda R. S. Shimoyama e Marcelo Sérgio Souza Wiecheteck, ambos da Pisa Florestal, Jaguariaíva, PR. Trabalho apresentado no 26º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo- SP- Brasil, de 22 a 26 de novembro de 1993.

cesso de melhoramento genético.

O estudo está localizado em altitude de 500 m, relevo plano, suavemente ondulado e solo latossolo vermelho-amarelo fase arenosa. O clima é Cwa com temperatura média anual de 21°C e fraca ocorrência de geadas. A precipitação média anual é de 1.350 mm sem déficit hídrico pronunciado.

Com 12 anos, o povoamento apresenta uma altura média de 23,6 m, crescendo em média 2,0 m por ano, enquanto *P. taeda*, nas mesmas condições, cresce em média 1,50 m por ano. O DAP médio do povoamento foi de 24,6 cm.

2.2. Características da madeira

Para o estudo dos parâmetros de qualidade da madeira foram tomadas cinco árvores com diâmetros próximos ao diâmetro médio do povoamento. De cada árvore retirou-se um disco nas alturas da base a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

Para cada disco determinou-se:

- densidade básica total (madeira + casca);
- densidade básica da madeira;
- densidade básica da casca;
- porcentagem de casca em volume;
- porcentagem de casca em peso.

O restante das amostras foi transformada em cavacos obtendo-se uma amostra composta, da qual se retirou material para determinação da composição química (de acordo com as normas Tappi 13m-54, ABTCP m70171), determinação das dimensões dos traqueídes e para cozimento.

Para determinação das dimensões dos traqueídes (comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume), o material foi macerado através do processo nítrico-acético, conforme Barrichelo e Foelkel (1983). Determinou-se também as relações entre as dimensões, tais como índice de Runkel, relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lume, a fração parede, expressa pela relação percentual entre duas vezes a espessura da parede e a largura do traqueíde, o índice de enfiamento, que relaciona o comprimento e a largura do traqueíde, e ainda o coeficiente de flexibilidade expresso pela relação entre o diâmetro do lume e a largura do traqueíde.

2.3. Obtenção de pasta termomecânica

Os testes da pasta mecânica foram realizados nos laboratórios da empresa *Andritz Sprout-Bauer*, em Springfield,

Ohio, USA.

A amostragem foi feita tomando-se três toretes de 1,20 m, sendo um na base, um no meio e o terceiro no topo da árvore. A madeira foi transformada em cavacos e, em seguida, em pasta termomecânica. Ao todo utilizou-se cinco tratamentos; os toretes foram submetidos a um refinador de disco pressurizado, modelo 418, por 1 minuto e pressão de 2,1 bar. A partir dessa pasta (amostra A₁), foram tomadas outras quatro amostras (A₂, A₃, A₄, A₅), as quais foram submetidas a refinamentos em refinador de disco duplo, atmosférico, modelo 401, nos graus de drenagem especificados na tabela 1.

2.4. Obtenção de celulose kraft

A celulose *kraft* foi obtida a partir da amostra de cavacos, em digestor laboratorial, sob as seguintes condições de cozimento:

- álcali ativo (Na₂O) 18%
- sulfidez 25%
- atividade 100%
- relação licor-madeira 6:1
- temperatura máxima 170°C
- tempo até temperatura máxima 90 min
- tempo à temperatura máxima 60 min

3. Resultados e discussão

Observa-se através da tabela 2 que o *Pinus patula* var. *tecumanii* apresenta uma densidade relativamente alta para

12 anos (0,445 g/cm³), quando comparado a outras espécies do gênero *Pinus*. Como exemplo a densidade de *Pinus taeda*, espécie consagrada na produção de pastas, é de 0,370 g/cm³ em povoamentos comerciais no sul do Brasil.

Na tabela 2, são apresentados os valores médios das densidades e porcentagens de casca, mas se deve ressaltar que o coeficiente de variação para as determinações é baixo (aproximadamente 5%). Esta baixa variação pode estar ligada ao fato de que as árvores utilizadas neste trabalho representam a média em diâmetro do povoamento.

Quanto à densidade no sentido base-topo, somente cinco árvores não são suficientes para definir um modelo de variação; entretanto, nota-se que há uma tendência em decrescer a densidade no referido sentido.

Através da tabela 2 verifica-se o baixo teor de casca para a espécie tanto em peso quanto em volume (9,52% e 10,79% respectivamente).

O baixo teor de casca em volume da espécie apresenta implicações tecnológicas e silviculturais importantes. Um menor teor de casca resulta em maior volume e peso de madeira por hectare, o que leva a um aumento da relação entre peso de celulose e área da floresta. Tomando-se como outro exemplo o setor de transporte, haveria um aumento da

Tabela 1: Grau de drenagem das amostras de pasta

Parâmetro	Amostras				
	A1	A2	A3	A4	A5
Refinador	401	401	401	401	401
Grau de drenagem (CSF)	697	252	170	121	99

Tabela 2: Densidade básica e porcentagem de casca (base-topo) *Pinus patula* var. *tecumanii* (valores médios)

Densidade	Posição base-topo						média
	Base	DAP	25%HC	50%HC	75%HC	100%HC	
com casca	0,452	0,450	0,432	0,433	0,430	0,431	0,438
sem casca	0,462	0,457	0,438	0,446	0,442	0,447	0,445
casca	0,601	0,548	0,428	0,360	0,334	0,319	0,434
% de casca (volume)	21,16	14,11	8,40	7,46	9,34	11,12	10,79
% de casca (peso)	17,12	14,11	7,12	5,86	6,93	7,85	9,52

quantidade de madeira transportada para um dado volume de tora.

Em várias indústrias de celulose, a casca da madeira é usada como fonte de energia. O fato de *Pinus patula* var. *tecunumanii* apresentar teor de casca em volume relativamente baixo não implica, necessariamente, em uma menor disponibilidade de combustível, pois a energia da biomassa está diretamente relacionada com a massa e não com o volume. Quando se analisa a porcentagem de casca em peso, percebe-se que a espécie em estudo apresenta valores compatíveis ao *Pinus taeda*. Cabe ressaltar que estudos mais detalhados nesta área devem ser realizados.

Na tabela 3, encontram-se os valores para as dimensões dos traqueídes e suas relações. Observa-se que os traqueídes são mais longos (4,56 mm) quando comparados àqueles do *Pinus taeda* com mesma idade (3,53 mm em plantações comerciais no sul do Brasil) e às demais espécies de *Pinus* tropicais. Dessa forma, espera-se maiores resistências do papel. Quanto à espessura da parede, as mesmas se mostram bastante espessas (10,0 µm). Tais valores são positivos para o rendimento em pasta, entretanto, traqueídes muito espessos são mais rígidos e tendem a manter sua forma origi-

nal (tubular), não se colapsando na formação do papel, o que pode prejudicar as ligações interfibras, diminuindo as resistências à tração e estouro e aumentando a resistência ao rasgo.

O índice de enfeltramento relaciona o comprimento e a largura do traqueíde. Quanto maior o seu valor, maior resistência ao rasgo terá o papel. O valor 83 encontrado para a madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* confere boa resistência ao papel produzido.

O índice de Runkel é expresso pela relação entre a espessura da parede e o diâmetro do lume do traqueíde. Em geral, quando esta relação é menor que 1, como ocorreu no estudo, a celulose ou pasta possui boa qualidade.

A fração parede relaciona a espessura da parede e a largura do traqueíde. Para valores acima de 40%, espera-se baixas resistências à tração e ao estouro, porque os traqueídes são bastante rígidos, dificultando as interligações entre as mesmas. O valor apresentado pela espécie (36%) é considerado bom, mostrando que os traqueídes podem se colapsar com certa facilidade, o que pode conferir maior resistência ao papel.

Quanto ao coeficiente de flexibilidade que relaciona o diâmetro do lume e a largura do traqueíde, quanto maior seu

valor, mais flexível será o traqueíde, ocorrendo maiores possibilidades de ligações entre os mesmos, o que aumentaria as resistências à tração e ao estouro. Os traqueídes de *Pinus patula* var. *tecunumanii* são bastante flexíveis, apresentando um excelente valor para o coeficiente de flexibilidade (64%).

Na tabela 4, são apresentados os resultados da análise da composição química da madeira de *P. patula* var. *tecunumanii*. O teor de holocelulose é considerado baixo, podendo influenciar negativamente no rendimento em pasta. O valor para o teor de lignina (35,5%) é bastante alto em comparação com outras espécies do gênero, podendo influenciar nas ligações entre traqueídes. Valor bastante baixo é verificado para o teor de extrativos totais (4,1%) dessa madeira. Este resultado é muito importante na produção de pasta termomecânica, podendo diminuir os problemas com resinas nos refinadores.

Ainda com relação aos resultados da composição química da madeira da espécie em estudo, os teores de holocelulose e lignina apresentados podem ter influência negativa sobre o rendimento do processo *kraft* e sobre a qualidade da celulose (teor de lignina residual). O baixo teor de extrativos tem influência benéfica sobre o processo *kraft* de produção de celulose, uma vez que irá consumir menor quantidade de reagentes, contribuindo assim para uma melhor eficiência do processo.

Na tabela 5, é apresentada a classificação dos traqueídes da pasta termomecânica. Observa-se que o teor de traqueídes longos é bastante elevado para os diferentes graus de drenagem, indicando que o traqueíde da espécie é pouco danificado durante o processo de obtenção de pasta.

A madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* apresentou os seguintes resultados frente ao processo *kraft* de produção de celulose:

- rendimento bruto 54,3%
- rendimento depurado 52,1%
- teor de rejeito 2,2%
- número *kappa* 68,0

O rendimento bruto obtido no cozimento *kraft* é bastante satisfatório quando se trata do gênero *Pinus*, mesmo considerando um número *kappa* 68,0.

Como pode-se observar na tabela 6, o papel formado a partir de pasta termo-

Tabela 3: Dimensões de traqueídes e suas relações

Dimensão/Relação	Média	Desvio-Padrão	Coefficiente de variação (%)
comprimento (mm)	4.560	1.070	23,46
largura (µm)	54.800	7.531	13,75
diâmetro do lume (µm)	34.900	10.401	29,84
espessura da parede (µm)	10.000	2.680	26,93
índice de enfeltramento	83.000	-----	-----
índice de Runkel	0.573	-----	-----
fração parede (%)	36.000	-----	-----
coeficiente de flexibilidade (%)	64.000	-----	-----

Tabela 4: Composição química da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii*

Componente	Média (%)	Desvio-Padrão	Coefficiente de variação (%)
holocelulose	60,41	2,11	3,49
lignina	35,49	2,01	5,67
extrativos totais	4,10	0,10	2,35

Tabela 5: Classificação de traqueídes da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii*

Classificação	Amostras				
	A1	A2	A3	A4	A5
14 mesh	22,8	20,0	15,6	15,0	12,2
28 mesh	30,1	29,8	29,0	27,3	26,4
48 mesh	15,4	16,1	16,6	15,7	15,6
100 mesh	5,4	6,2	6,6	6,7	7,2
200 mesh	2,3	3,5	3,5	4,1	4,6
acima de 200 mesh	24,0	24,4	28,7	31,2	34,0
até 28 mesh	52,9	49,8	44,6	42,3	38,6

Tabela 6: Características físico-mecânicas da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii*

Característica	Amostras				
	A1	A2	A3	A4	A5
volume específico (cm ³ /g)	---	3,62	3,47	3,26	3,08
Estouro (KPa.m ² /g)	---	0,90	1,20	1,40	1,50
Resist. rasgo (mN.m ² /g)	---	10,20	10,80	11,00	9,80
Resist. tração (N.m/g)	---	22,20	27,50	31,40	33,60
% Alongamento	---	1,54	1,77	1,95	2,02
Alvura (%) (Elrepho)	---	50,40	50,90	52,10	52,50
Opacidade (%)	---	88,70	90,40	90,50	91,90
Coef. de espalhamento de luz (m ² /Kg)	---	41,20	45,50	48,40	48,20

mecânica de *P. patula* var. *tecunumanii* possui alta resistência ao estouro. Isso pode ser verificado ao comparar a amostra A5 (100 CSF) com valores obtidos para o *P. taeda*, com 13 anos apresentados por Neves et al. (1983).

A resistência ao rasgo da pasta termomecânica da espécie é duas vezes superior àquela obtida para o *P. taeda* com 13 anos de idade (Neves et al., 1983). O mesmo resultado é observado para a resistência à tração. Com estes valores para as propriedades físico-mecânicas, não seria necessário o uso de celulose química na pasta, com o objetivo de conferir maiores resistências. Assim se poderia

diminuir consideravelmente os custos de produção do papel de imprensa.

O valor encontrado para alvura (tabela 6) também mostrou-se elevado quando comparado aos resultados obtidos para *P. taeda*. Apenas a opacidade apresentou-se inferior a esta espécie.

4. Conclusões

- A densidade básica da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* mostrou-se superior àquelas apresentadas por espécies de *Pinus* utilizadas na produção de pasta termomecânica e celulose kraft.

- As dimensões dos traqueídes e a flexibilidade dos mesmos são excelentes

para produção de papéis de alta resistência, notadamente papel de imprensa.

- A pasta termomecânica obtida apresenta altas resistências à tração, rasgo e estouro, superando àquelas normalmente encontradas para espécies consagradas no referido processo.

- Em cozimentos kraft, o rendimento depurado foi bastante satisfatório, sendo superior ao de espécies de *Pinus* tradicionais.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que a madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* apresenta boas características tecnológicas para produção de pasta termomecânica e celulose kraft. Estes resultados, associados às características da espécie *Pinus patula* var. *tecunumanii*, fazem desta espécie uma fonte de matéria-prima em potencial para produção de pasta termomecânica e celulose kraft de fibra longa.

5. Referências bibliográficas

1. BARRICHELO, L. E. G. e FOELKEL, C. E. B. Processo Nítrico-Acético para Maceração de Madeira. *Silvicultura, São Paulo*, 8(28): 732-3. Jan/Fev. 1993.
2. BIRK, J. S. e BARNES, R. D. Provenance Variation in *Pinus caribaea*, *P. oocarpa* and *P. patula* var. *tecunumanii*. *Tropical Forestry Papers*, no 21; Oxford Forestry Institute. England. 1990.
3. DONAHUE, J. K. The Camcore Closed - Cone Pine Seed Collections in Central America e Mexico. *Bulletin on Tropical Forestry, Camcore*, no 6, 25p., June, 1989.
4. DVORAK, W. S. e KELLISON, R. C. Annotated Bibliography on the Wood Properties of *Pinus tecunumanii*. *Bulletin on Tropical Forestry, Camcore*, no 9, 16 p., January, 1991.
5. GIBSON, G. L. A Review of Provenance Testing of Commercially Important Tropical Pine. *Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Florestales*. Tomo I, p 26-66, CIEF.
6. LIMA, R. T. Comportamento de Espécies/Procedências Tropicais do Gênero *Pinus* em Felixlândia/MG - Brasil, Região de Cerrados. 2 - *Pinus patula* var. *tecunumanii*. *Revista Árvore* 15(1): 1-9, Viçosa, MG. 1991.
7. NEVES, J. M., LIMA, A. F. e ASSUMPÇÃO, R. M. V. Estudos Preliminares da Polpação de Alto Rendimento de *Pinus taeda*. III Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel. Vol. 2. p. 469-478. 1983.