

CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DAS PASTAS DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* PRODUZIDAS A PARTIR DE MADEIRA DE DIFERENTES DENSIDADES

FLORA LUDOVINA¹, ANTÓNIO SANTOS², EMÍLIA AMARAL², OFÉLIA ANJOS¹ e
ROGÉRIO SIMÕES^{2*}

¹ Unidade Departamental de Silvicultura e Recursos Naturais, Escola Superior Agrária de Castelo Branco, 6001 - 909 Castelo Branco, Portugal.

² Unidade de Materiais Têxteis e Papeleiros, Universidade da Beira Interior, 6201-001 Covilhã, Portugal.

*contacto:rsimoes@ubistb.ubi.pt

RESUMO

No presente trabalho estudou-se o comportamento de três amostras de madeira de *Eucalyptus globulus* nacional, com massas volúmicas básicas entre 467 kg/m³ e 600 kg/m³, no processo de cozimento kraft e analisou-se as características biométricas do material fibroso. As matérias primas em estudo apresentam rendimentos em pasta entre 49 e 59% e as fibras exibem dimensões muito diferentes. O valor médio da espessura de parede das fibras variou entre 2.5 e 3.5 µm, respectivamente para a madeira de massa volúmica básica 467kg/m³ e 600 kg/m³. A largura das fibras varia de forma muito menos acentuada. Em consequência, as fibras de parede fina exibem elevadas flexibilidade e colapsibilidade em estado húmido, enquanto que as de maior espessura de parede são muito mais rígidas. O efeito da refinação sobre estas propriedades é igualmente diferente. As características biométricas reflectem-se de forma muito acentuada na necessidade de refinação e nas características do papel.

Palavras chave: *Eucalyptus globulus*, densidade da madeira, fibras, flexibilidade, RBA

INTRODUÇÃO

A principal matéria prima usada em Portugal para produzir pasta e papel é o *Eucalyptus globulus*. A pasta obtida a partir do *E. globulus* ocupa uma posição de destaque no segmento da fibra curta à escala mundial devido às características específicas das fibras, que permitem a produção de papéis de impressão e escrita com elevada opacidade e lisura e muito boas características de resistência físico-mecânicas. Este desempenho decorre das características biométricas das fibras, nomeadamente da relativamente elevada espessura de parede face ao diâmetro do lúmen, o que lhes confere uma rigidez considerável. Para além disso, a baixa largura da fibra conjugada com a espessura da parede faz com que a massa linear seja baixa. Esta característica e o moderado comprimento da fibra conduz a um elevado número de fibras por grama de pasta e, em consequência, a uma elevada superfície específica. Por sua vez, esta determina o coeficiente de difusão de luz e a correspondente opacidade. Por outro lado, a variabilidade genética das árvores, as condições edafoclimáticas e a idade do câmbio, entre outros factores, conduzem a material lenhoso com diferentes densidades globais e locais, bem como com diferentes características biométricas (Zobel e Buijtenen, 1989; Valente *et al*, 1992). Por outro lado, o efeito das características morfológicas das fibras sobre o seu desempenho papeleiro dentro das gamas exibidas pela espécie *E. globulus* não estão perfeitamente definidos.

Assim, o presente estudo pretende contribuir para melhorar a compreensão do efeito das características biométricas das fibras de *E. globulus* sobre o seu desempenho nas operações de produção de papel e no seu desempenho papeleiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a concretização do objectivo acima referido, seleccionaram-se 3 amostras de estilha de *E. globulus* com as seguintes massas volúmicas básicas: 467 kg/m³, 536 kg/m³ e 600 kg/m³. As dimensões transversais das células vegetais na madeira foram determinadas por análise de imagem, tendo-se utilizado o sistema Qwin 500 da Leica. Foram retiradas 20 imagens com uma ampliação de 50X e em cada imagem foram medidas 20 espessuras de parede de fibras.

Os teores de extractáveis em etanol/tolueno e de lenhina foram determinados de acordo com as normas Tappi T 204 om-94 e T 222 om-88, respectivamente.

As aparas crivadas foram submetidas a um cozimento kraft para a produção das correspondentes pastas cruas. As condições de cozimento encontram-se na Tabela 1. As pastas cruas obtidas, depois de desintegradas e lavadas, foram submetidas a um branqueamento ECF segundo uma sequência de cinco estágios (D₀ E₀ D₁ E₁ D₂). O rendimento em pasta, o índice kappa das pastas cruas e as viscosidades das pastas cruas e branqueadas encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 – Condições de cozimento e respectivos resultados.

	Massa volúmica básica (kg/m ³)		
	467	536	600
Alcali efectivo (% , expesso como NaOH)	18,7	18,7	17,9
Sulfidez (%)	30	30	30
Relação líquido/madeira	4:1	4:1	4:1
Tempo até à temperatura máxima (min)	90	90	90
Tempo à temperatura máxima (min)	60	58	45
Temperatura máxima (°C)	160	160	160
Rendimento (%)	49,0	52,4	58,7
Incozidos (%)	0,2	3,0	0,9
Índice kappa	15,3	16,2	14,0
Viscosidade, cm ³ .g ⁻¹ pasta crua	942	1003	1274
Viscosidade, cm ³ .g ⁻¹ pasta branqueada	855	982	945

A partir das pastas branqueadas, após refinação a diferentes níveis (500, 2500 e 4500 revoluções PFI), produziram-se folhas laboratoriais de papel, nas quais se determinou a massa volúmica e as restantes propriedades físicas, de acordo com os procedimentos standard. Paralelamente, determinaram-se nas suspensões os valores médios das seguintes características das fibras: comprimento, largura, massa linear e curvatura, usando o aparelho MORFI. A resistência à drenagem da suspensão fibrosa foi determinada de acordo com o procedimento standard. A flexibilidade e colapsibilidade das fibras em estado húmido foram determinados segundo a metodologia de Steadman e Luner (1995), no aparelho CyberFlex.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições de cozimento exigidas pelas 3 amostras de madeira para obter pastas cruas com índices kappa na gama 14 – 16, são bastante diferentes (ver tabela 1). A amostra de madeira que exhibe maior densidade básica requer condições de cozimento bastante mais suaves e conduziu a um rendimento em pasta cerca de 10 unidades superior à amostra com a menor densidade básica. Tal como no presente estudo, VALENTE *et al.* (1992) verificaram também que a densidade básica do *E. globulus* está correlacionada positivamente com o rendimento em pasta. A variabilidade observada para o rendimento em pasta está igualmente concordante com os resultados de outros investigadores, que referem valores na gama dos 52 a 59% (Valente *et al.*, 1992; Miranda *et al.* 2003; French *et al.*, 2000; Downes e Raymond, 1997). Os teores de extractáveis são semelhantes para as três amostras e da ordem de 1%. Relativamente ao teor de lenhina, a amostra de madeira de maior massa volúmica básica (600 kg/m³) apresenta um teor de lenhina da ordem de 20% enquanto que as restantes amostras exibem um teor da ordem de 23%. Face aos resultados do cozimento, fica em aberto a hipótese de haver diferenças importantes no que respeita aos teores relativos dos diferentes polissacarídeos. Os dados experimentais seriam compatíveis com um maior teor de celulose na amostra de madeira com maior massa volúmica básica. Esta hipótese está a ser analisada.

Na Tabela 2 estão representadas as caracterização biométrica das fibras das pastas branqueadas, ao longo do processo de refinação, para as três amostras estudadas.

Tabela 2 – Características biométricas das fibras

	Rev.	Largura das fibras (m)	Comprimento ponderado em comprimento (mm)	Massa linear (mg/m)	Curvatura (%)
467 kg/m ³	0	18,7	0,72	0,049	6,3
	500	18,7	0,72	0,057	6,0
	2500	19,0	0,71	0,054	6,5
	4500	19,1	0,70	0,057	6,6
536 kg/m ³	0	19,3	0,80	0,071	7,1
	500	18,9	0,81	0,062	6,4
	2500	19,5	0,79	0,071	7,1
	4500	20,3	0,80	0,064	7,8
600 kg/m ³	0	19,6	0,86	0,074	6,6
	500	19,4	0,86	0,069	6,0
	2500	20,4	0,83	0,078	7,0
	4500	21,1	0,83	0,080	7,7

Rev. – Número de revoluções PFI

Os valores representados na figura 1 e os da tabela 2 revelam que a madeira com maior densidade básica apresenta fibras com maior comprimento e ligeiramente mais largas.

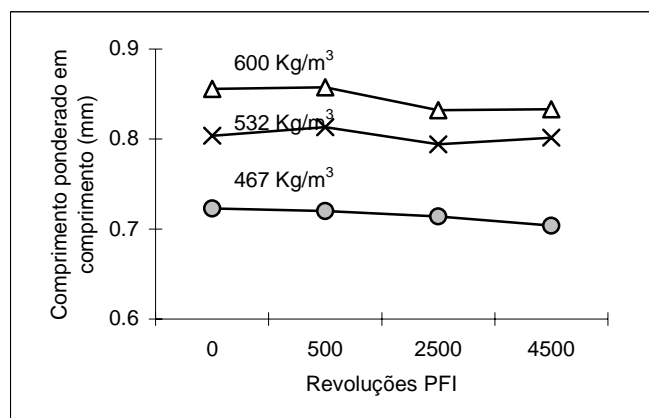


Figura 1 – Variação do comprimento médio ponderado em comprimento das fibras de *E. globulus*, para os diferentes níveis de refinação e para madeiras de diferentes massas volúmicas básicas.

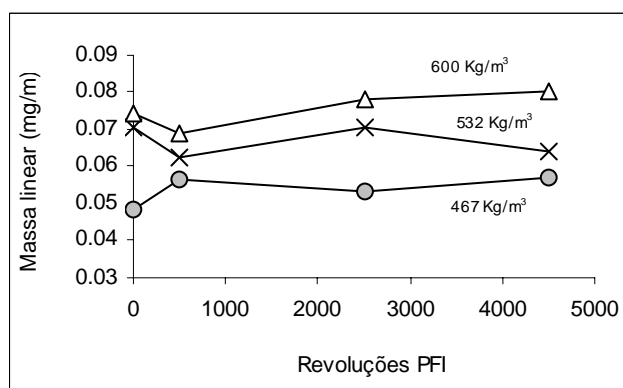


Figura 2 – Variação da massa linear das fibras de *E. globulus*, para os diferentes níveis de refinação e para madeiras de diferentes massas volúmicas básicas.

Relativamente à massa linear do material fibroso (figura 2), verifica-se que há diferenças da ordem dos 40% entre as pastas correspondentes às madeiras com as densidades extremas. Considerando apenas as duas amostras de madeira com densidades extremas, isto é 467 kg/m³ e 600 kg/m³, verifica-se que as diferenças observadas não podem ser atribuídas exclusivamente às diferenças de rendimento em pasta que são da ordem dos 20%. Assim, com base nos resultados das figuras 1 e 2, pode afirmar-se com segurança que as dimensões das fibras são substancialmente diferentes. As medidas da espessura de parede das fibras na madeira, que constam da tabela 3, mostram diferenças da ordem dos 40% para as madeiras com as densidades básicas extremas. A correlação entre a densidade básica da madeira e as características das fibras, particularmente a espessura da parede celular é referida na literatura (Hakkila, 1998).

Tabela 3. Espessuras de parede das fibras das três amostras de madeira de *E. globulus*.

	Massa volúmica das madeiras		
	467 kg/m ³	536 kg/m ³	600 kg/m ³
Média (µm)	2.48	3.13	3.52
Desvio padrão (µm)	0.53	0.60	0.80
Coefficiente de variação (%)	21.6	19.2	22.9

Relativamente à flexibilidade (WFF) e à área relativa de ligação (RBA) das fibras em estado húmido, verifica-se que ambas as características aumentam com o nível de refinação, como era expectável (Figura 3). No entanto, há diferenças muito significativas entre as matérias primas testadas. Particularmente no que diz respeito à flexibilidade, enquanto que as fibras provenientes da madeira de baixa densidade são, mesmo sem refinação,

muito flexíveis, as fibras da madeira com elevada densidade apresentam valores de partida muito baixos e são bastante afectadas pela refinação. Mesmo para o nível de refinação mais elevado testado neste trabalho (4500 revoluções PFI) as fibras da madeira de menor densidade exibem fibras mais flexíveis e mais colapsáveis, o que é consistente com os dados da massa linear e da espessura de parede das fibras. Apesar da elevada correlação entre estas propriedades das fibras e a densidade da madeira, não é lícito tirar conclusões definitivas sobre esta correlação, tanto mais que pode haver diferenças muito significativas na composição química das madeiras e das pastas.

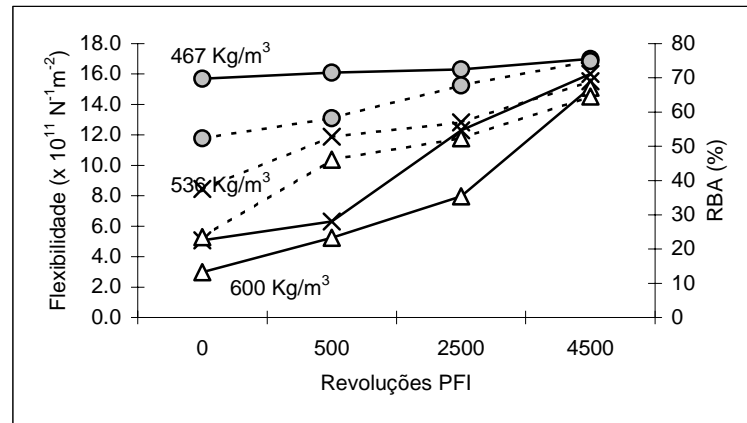


Figura 3 – Variação da flexibilidade das fibras em estado húmido (—) e da RBA das fibras (- -) da pasta de *E. globulus*, para os diferentes níveis de refinação e diferentes amostras de madeira.

Os dados experimentais obtidos para a massa volúmica aparente das folhas de papel laboratorial (Figura 4) mostram, tal como era esperado, que as fibras mais flexíveis e mais colapsáveis (ver valores de RBA na figura 3) dão origem a papéis mais densos.

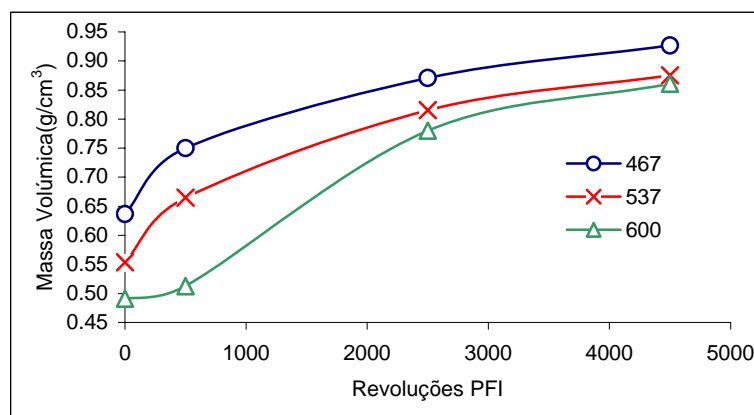


Figura 4 – Massa volúmica do papel em função do nível de refinação, para as três matérias primas.

A Figura 4 evidencia ainda o enorme efeito da refinação na massa volúmica das folhas, verificando-se um aumento desta característica com o nível de refinação, o que se deve à fibrilação externa e interna. Para o mesmo nível de tratamento mecânico, a massa volúmica das folhas aumenta com a diminuição da densidade básica da madeira. Os valores obtidos para a madeira de densidade básica superior revelam, para todos os níveis de refinação, que as folhas são menos densas, o que é consistente com as características biométricas das fibras, nomeadamente a sua maior espessura de parede e os menores valores de flexibilidade e colapsabilidade.

A análise de variância dos dados da massa volúmica das folhas, considerando como variáveis explicativas a densidade da madeira e a refinação, confirmam que as variações existentes são essencialmente devidas ao efeito da refinação, que explica 78,7%, e ao efeito da densidade da madeira, que explica 15,3%. Para além disso, verifica-se que o efeito da refinação é diferente consoante a densidade da madeira (a interacção entre a densidade da madeira e o nível de refinação (D x R) explica 5,4% (tabela 4)).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para a massa volúmica das folhas.

ORIGEM DA VARIACÃO	G.L.	Q.M.	F	SIG.	VAR (%)
Densidade (D)	2	0,1820	788,36	***	15,3
Refinação (R)	3	0,6977	3022,10	***	78,4
D x R	6	0,0164	70,88	***	5,4
Resíduo	108	0,0002			0,8

G.L. – graus de liberdade; Q.M. – Quadrado médio; SIG. – nível de significância, *** – altamente significativo; VAR (%) – Variância esperada expressa em % da variância total.

Na figura 5-a representa-se o índice de tracção do papel em função da refinação, para as três amostras de madeira. Como era de esperar, as folhas mais densas apresentam maior resistência. Porém, a representação do índice de tracção em função da densidade da folha (figura 5-b) evidencia a superioridade das fibras provenientes da madeira de maior densidade básica e provavelmente de maior teor de celulose. No entanto, para uma dada densidade de folha esta pasta apresenta um coeficiente de difusão de luz muitíssimo inferior (figura 6-a). Para além disso, esta pasta de elevada massa linear exhibe um índice de rasgamento relativamente baixo, consequência do baixo número de fibras por grama. A conjugação destas duas desvantagens conduz a que a relação entre a capacidade de difusão de luz e a resistência físico-mecânica das folhas, medida através da raiz quadrada do produto do índice de tracção pelo índice de rasgamento, seja desvantajosa para as fibras provenientes da madeira de maior densidade.

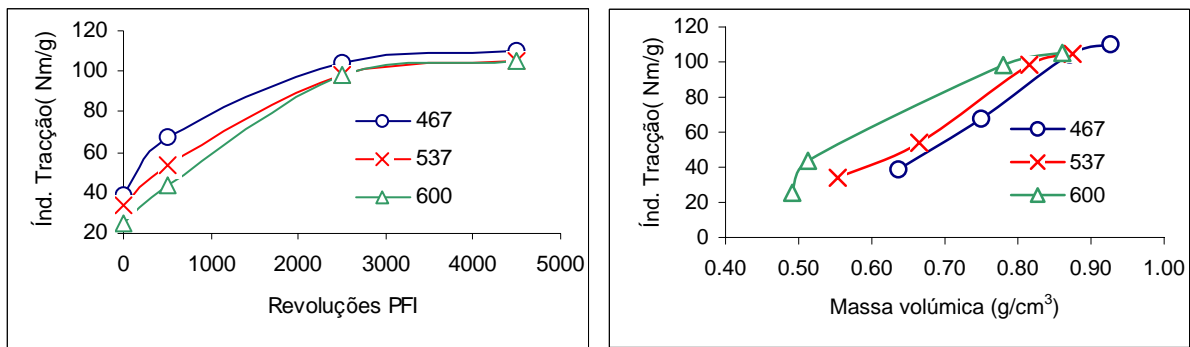


Figura 5 – Índice de tracção em função do nível de refinação (a-esquerda) e da massa volúmica do papel (b-direita), para as três matérias primas.

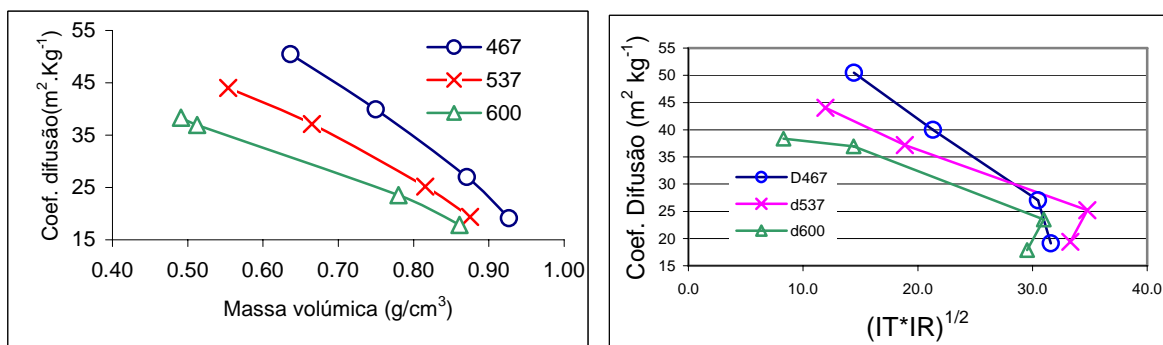


Figura 6 – Coeficiente de difusão de luz em função da massa volúmica do papel (a-esquerda) e da raiz quadrada do produto do índice de tracção pelo de rasgamento (b-direita), para as três matérias primas.

Por outro lado, a representação da resistência à drenagem em função da resistência das folhas não evidencia diferenças significativas entre as matérias primas. No entanto, para uma qualquer densidade de folha, a resistência à drenagem da suspensão é maior para a suspensão das fibras de maior espessura de parede e de

maior massa linear (figura 7), consequência provável da maior fibrilação externa atingida com a maior energia de refinação requerida para obter uma dada massa volúmica no papel.

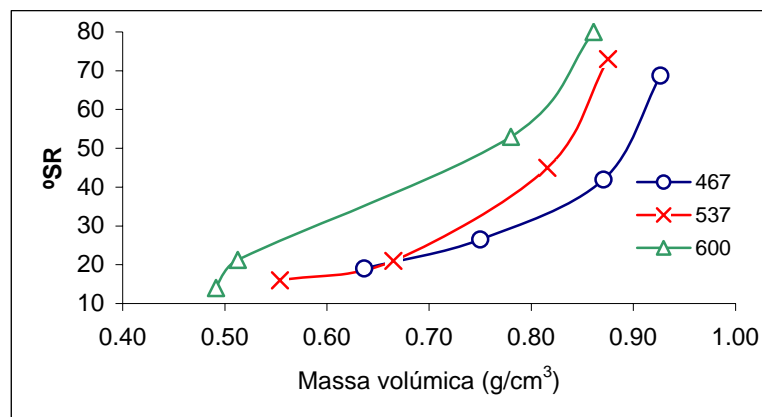


Figura 7 – Resistência à drenagem em função da massa volúmica do papel, para as três matérias primas.

A representação da massa volúmica do papel em função da resistência físico-mecânica (figura 8) mostra que a pasta com fibras de maior espessura de parede alcançam a resistência com menor massa volúmica. No entanto, as enormes diferenças na capacidade de difusão de luz (figura 6) acabam por constituir grande desvantagem.

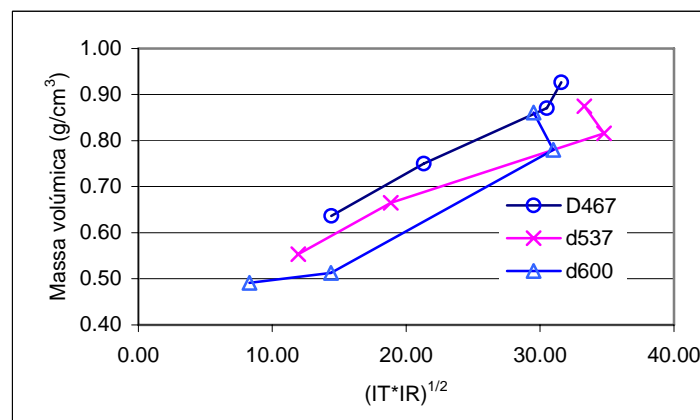


Figura 8 – Massa volúmica do papel em função da resistência físico-mecânica, para as três matérias primas.

Em conclusão, pode afirmar-se que as desvantagens da pasta produzida a partir da madeira de maior massa volúmica são a necessidade de maior energia na refinação e o menor coeficiente de difusão de luz, portanto menor opacidade, para uma dada resistência mecânica. A madeira com massa volúmica intermédia parece conjugar melhor a resistência físico-mecânica, a difusão de luz e o volume mássico (mão).

CONCLUSÕES

As fibras provenientes da madeira de *E. globulus* de menor massa volúmica básica apresentam menores espessura de parede, comprimento e massa linear, o que se traduziu de forma consistente numa maior flexibilidade e colapsibilidade das respectivas fibras. Como era de esperar, estas fibras originam papéis com maior densidade e maiores resistências à tracção e rasgamento, para um dado nível de refinação. Considerando a resistência mecânica, medida através da raiz quadrada do produto do índice de tracção pelo índice de rasgamento, como referência, a pasta proveniente da madeira de maior densidade básica requer mais energia na refinação e exibe menor coeficiente de difusão de luz e, portanto, menor opacidade.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Raiz o fornecimento das estilhas para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Downes, G. M. e Raymond, C. A. (1997) – Variation in wood density in plantation eucalypts, In **Sampling plantation Eucalypts for wood and fibre properties**, p. 88, Csiro Publishing, Collingwood, Australia.
- French, J., Conn, A.B., Batchelor, W.J. e Parker, I.H. (2000) - The effect of fibre fibril angle on some handsheet mechanical properties, *Appita J.*, **53**(3): 200.
- Hakkila, P. (1998) In **Forest Resources and sustainable management**, p. 117-185, Ed. Kellomäki, S., Fapet Oy e Tappi.
- Miranda, I., Tomé, M. e Pereira., H. (2003) - The influence of spacing on wood properties for *Eucalyptus globulus* Labill pulpwood. *Appita J.* **56**(2): 140.
- Steadman, R. K. e Luner, P. (1995) - An improved test to measure the wet fiber flexibility of pulp fibers, ESPRA report #79, Chapter V, Syracuse, NY.
- Valente, C. A., Mendes de Sousa, A. P., Furtado, F. P. and Carvalho, A. P. (1992) - Improvement program for *Eucalyptus globulus* at Portucel: Technological component, *Appita J.*, **45**(6): 403.
- Zobel, B. J. e Buijtenen, J.P. (1989) – **Wood variation: its causes and control**, p. 85, Springer-Verlag, Berlin.