SCIENTIA
FORESTALIS

Qualidade das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft

Wood quality of *Pinus taeda* and *Pinus sylvestris* for kraft pulp production

Magnos Alan Vivian[1], Tiago Edson Simkunas Segura[2], Eraldo Antonio Bonfatti Júnior[3], Camila Sarto[3], Flavia Schmidt[3], Francides Gomes da Silva Júnior[4], Konstantin Gabov[5] e Pedro Fardim[6]

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar as características tecnológicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. Para tanto, foram utilizados cavacos industriais de ambas as espécies, sendo a madeira de *P. taeda* proveniente do Brasil enquanto que a madeira de *P. sylvestris* da Finlândia. Na análise das características tecnológicas da madeira, determinaram-se a densidade básica, a composição química e a morfologia dos traqueídes. Os cozimentos foram realizados com a aplicação de sete níveis de álcali ativo, variáveis entre 14 a 26% (base NaOH), com tempo de aquecimento de 90 minutos e, 120 minutos sob temperatura máxima de 170ºC. Os resultados mostram que a madeira, de ambas as espécies, apresentam densidade básica e teor de lignina similares (0,435 e 0,436 g·cm^{-3}, 26,71 e 25,61%, para *P. taeda* e *P. sylvestris*, respectivamente), entretanto, a madeira de *P. taeda* possui menor teor de extrativos (2,83%), maior teor de holocelulose (70,46%) e traqueídes de maior comprimento médio (3,50mm), quando comparada à madeira de *P. sylvestris*. No processo de polpação, a madeira de *P. taeda* apresentou maiores rendimentos, maior grau de deslignificação e menor consumo específico de madeira. A partir disto conclui-se que a madeira de *P. taeda* apresenta melhores características para ser empregada na produção de celulose e papel em comparação com o *P. sylvestris*.

Palavras-chave: coníferas, curva alcalina, celulose kraft.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the technological characteristics of the woods of *Pinus taeda* and *Pinus sylvestris* to Kraft pulp production. Industrial chips of both species were used: *Pinus taeda* from Brazil and Pinus sylvestris from Finland. On wood technological characteristics analysis, basic density, chemical composition and tracheid's morphology were determined. On pulping, seven levels of active alkali were applied between 14 and 26% (NaOH based), with 90 minutes of heating time and 120 minutes at maximum temperature of 170ºC. It was possible to observe that both analyzed woods present similar basic density and lignin portions (0,435 e 0,436 g•cm^{-3}, 26,71 and 25,61% for *P. taeda* and *P. sylvestris*, respectively), while the wood of P. taeda presents lower extractives portion (2,83%), higher holocellulose content (70,46%) and tracheids with higher length (3,50mm), when compared to *P. sylvestris* wood. On pulping, the wood of *P. taeda* had higher yields, higher delignification level and lower wood specific consumption. From this we conclude that the *P. taeda* wood has better characteristics for pulp and paper production when compared to *P. sylvestris*.

Keywords: softwood, alkaline curve, kraft pulp.

[1]Engenheiro Florestal, Professor Doutor. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos. Rodovia Ulysses Gaboardi, km 3 – 89.520-000- Curitibanos, SC. E-mail: magnos.alan@ufsc.br.

[2]Doutorando em Recursos Florestais USP - Universidade de São Paulo / ESALQ -Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Av. Pádua Dias, 11 – 13.418-900- Piracicaba, SP – 13.418-900. E-mail: tiago.segura@usp.br.

[3]Mestre em Recursos Florestais. USP - Universidade de São Paulo / ESALQ -Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Av. Pádua Dias, 11 – 13.418-900- Piracicaba, SP – 13.418-900. E-mail: ejr@usp.br; csarto@usp.br; flavia.schmidt@usp.br.

[4]Professor Doutor. USP - Universidade de São Paulo / ESALQ -Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Av. Pádua Dias, 11 – 13.418-900- Piracicaba, SP – 13.418-900. E-mail: fjr@usp.br.

[5]PhD student of Fibre and Cellulose Technology. Åbo Akademi University. Tuomiokirkontori 3, Turku, Finland – 20500. E-mail: kgabov@abo.fi

[6]Chemist, PhD. Full Professor of Åbo Akademi University. Tuomiokirkontori 3, Turku, Finland – 20500. E-mail: pfardim@abo.fi.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de polpa celulósica e nono em produção de papel. No ano de 2011, o país produziu 13.952.000 toneladas de polpa, sendo 1.513.000 toneladas de fibra longa, representando 10,8% deste total. Do montante de polpa de fibra longa produzida, 5,5% corresponde a celulose branqueada e 94,5% a celulose não branqueada. Esta produção de fibra longa é inferior à demanda nacional, o que levou o Brasil a importar 390 mil toneladas de polpa no ano de 2011(BRACELPA, 2013a).

Em contrapartida, a Finlândia é o sexto maior produtor de celulose e o sétimo em produção de papel, tendo produzido, em 2011, 10.363.000 toneladas de polpa (BRACELPA, 2013b). O país possui 23 milhões de hectares de florestas, destacando-se como importante fornecedor de produtos florestais no mercado global, especialmente para a União Europeia (UE) (METLA, 2013).

De acordo com METLA (2013), a indústria finlandesa de papel tem como principal produto o papel para escrever e imprimir, e como principais clientes, Alemanha e Reino Unido. O fato de mais de 70% da superfície finlandesa ser coberta por florestas caracteriza o país em aspectos culturais e econômicos (PARVIAINEN; NAUMANN, 1986; BACHA, 2004). Sua formação florestal contém florestas de coníferas e florestas mistas de folhosas e coníferas; neste último caso, as espécies de folhosas geralmente são Bétulas (*Betula pubescens* Ehrh. e *Betula pendula* Roth.) (PARVIAINEN; NAUMANN, 1986; METLA, 2013).

As florestas finlandesas são formadas por 50% de *Pinus silvestris* L., 30% de *Picea abies* (L.) H. Karst., 17% de *Betula* sp e 3% de outras espécies de folhosas. Essa distribuição vem se mantendo, porém a área com a espécie *P. abies* apresentou redução. Cerca de 120.000 hectares são plantados anualmente para a silvicultura após o corte raso, para estes plantios as espécies escolhidas são quase exclusivamente nativas da Finlândia (METLA, 2013).

Dentre as espécies de *Pinus* mais plantadas no Brasil, a que apresenta maior destaque é o *Pinus taeda* L., cultivado principalmente na região do planalto do Sul e Sudeste. Nativo das planícies adjacentes ao Golfo do México e da Costa Atlântica ao Sudeste dos Estados Unidos, o *P. taeda* é a espécie madeireira mais importante daquele país (SOUSA et al., 2007). Introduzida no Brasil, a espécie se adaptou ao sul do país, onde é utilizada, principalmente, para a produção de polpa celulósica, dando origem a papeis de alta resistência (BARRICHELO et al., 1977).

Na Europa, a exploração indiscriminada de *P. abies*, conhecida como "*Norway Spruce*", como fonte de madeira, acarretou sua diminuição drástica no continente e abriu novas possibilidades para a busca e estudo de outras espécies florestais. Dentre tais espécies, se destaca o *P. sylvestris*, conhecido como "*Scots pine*", a mais utilizada na Finlândia (PARVIAINEN; NAUMANN, 1986; METLA, 2013).

O conhecimento das características tecnológicas da madeira, tais como, densidade básica, composição química e morfologia dos traqueídes, bem como sua relação com os resultados de polpação, é de grande importância para determinação da qualidade da madeira, visando sua adequada aplicação para determinados fins. De acordo com Oliveira (1990), as características físicas, químicas e anatômicas da madeira são bons parâmetros de avaliação da sua qualidade e de grande utilidade em programas de melhoramento genético florestal.

Este trabalho teve por objetivo avaliar as características tecnológicas das madeiras de *P. taeda* e *P. sylvestris* e o desempenho destas frente ao processo kraft de polpação.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente estudo foram utilizados cavacos industriais das espécies *P. taeda* com 21 anos de idade, proveniente de Telêmaco Borba, Paraná, Brasil, coordenadas WSG84 24°19′26″S, 50°36′57″W (Figura 1a 1b), e *P. sylvestris* com 45 anos, proveniente de Rauma, Stakunta, Finlândia, coordenadas WSG84 61°08′00″N, 021°30′0″E (Figura 1a e 1c). Para caracterização das madeiras, foram realizadas as análises de densidade básica de acordo com a norma ABNT (2003), utilizando 6 amostras de 100g cada; e composição química, seguindo as metodologias descritas pelas normas TAPPI T 204 cm-97 (Extrativos totais), Gomide e Demuner (1986) (Lignina Klason insolúvel) e Goldschimid (1971) (Lignina solúvel). O teor de holocelulose foi obtido por diferença (100 - (EX + LT)). Para determinação da composição química utilizou-se uma amostra homogênea de 100g de cavacos, os quais foram transformados em serragem em moinho de laboratório, sendo classificada em um conjunto de peneiras de 40 e 60 mesh; as análises foram realizadas com cinco repetições cada. Já para caracterização morfoló-

gica dos traqueídes, seguiu-se a maceração pelo processo nítrico-acético de cerca de 50 fragmentos de cavacos, segundo metodologia utilizada por Franklin (1937) e mensuração conforme IAWA (1989).

Os cozimentos kraft foram realizados em autoclave rotativa, contendo cápsulas de aço inoxidável individualizadas, com capacidade para 450 mL cada. Os ensaios foram realizados em duplicata, de acordo com as condições de cozimento apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições do processo de polpação kraft.
Table 1. Conditions of the kraft pulping process.

Parâmetros	Condições
Álcali ativo, (% como NaOH)	14, 16, 18, 20, 22, 24 e 26
Sulfidez, %	25
Relação licor/madeira	4:1
Massa seca de cavacos, g	70
Temperatura máxima, ºC	170
Tempo de aquecimento, minutos	90
Tempo de cozimento, minutos	120
Fator H	2040

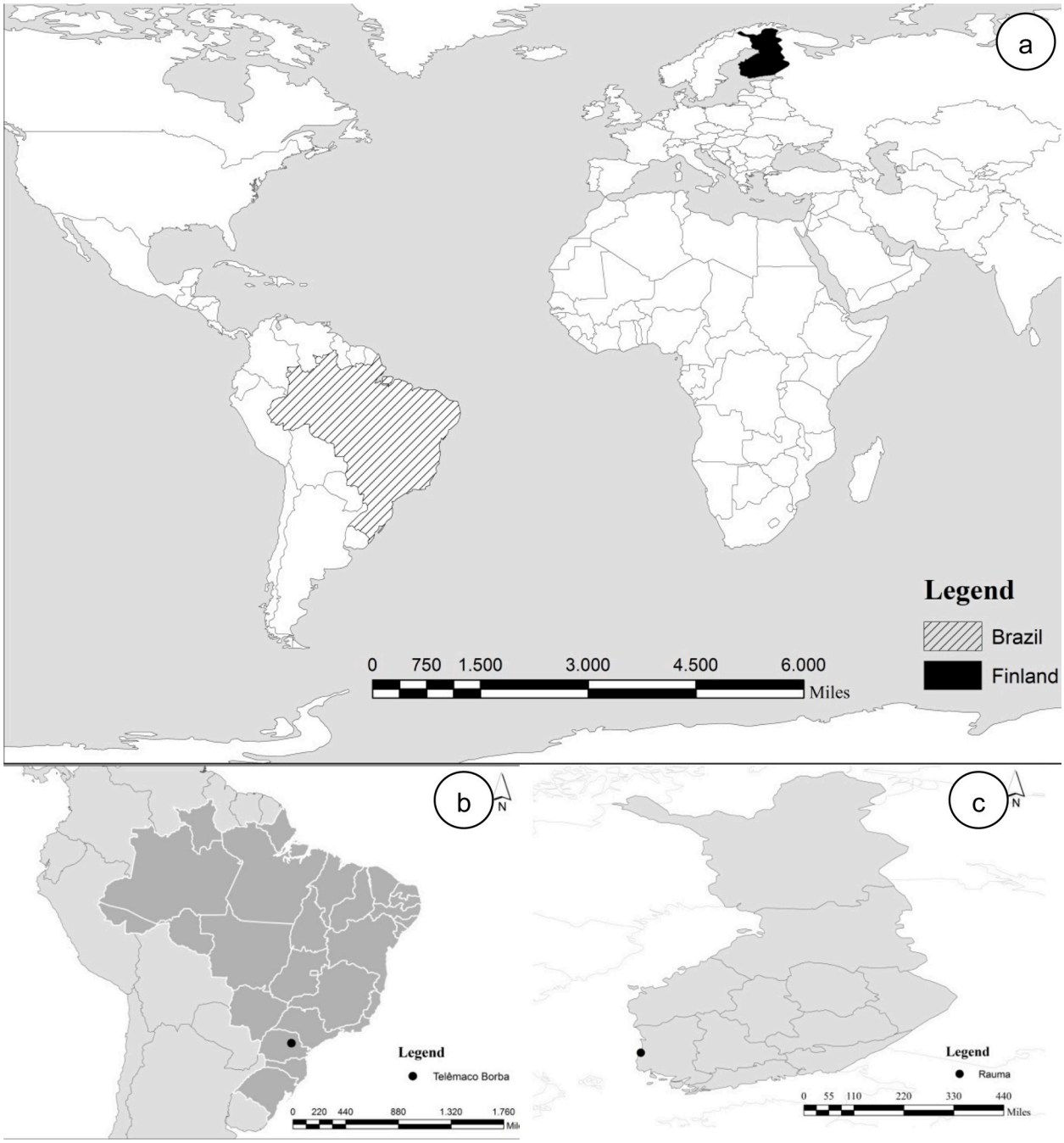

Figura 1. Brasil e Finlândia no Mapa Mundo (a), Telêmaco Borba no Brasil (b) e Rauma na Finlândia (c).
Figure 1. Brazil and Finland in World Map (a), Telêmaco Borba, BRA (b) and Rauma, FI (c).

Após os cozimentos, o licor negro foi recolhido para determinação do álcali ativo residual (SCAN-N 2:28) (SCAN, 1980) e teor de sólidos totais (TAPPI T 650 om-05) (TAPPI, 2007). As polpas foram desagregadas, lavadas e depuradas em depurador laboratorial, com fenda de 0,5 mm. Para cada polpa determinou-se o teor de rejeitos, o rendimento bruto, o rendimento depurado e o número kappa, de acordo com a Tabela 2.

O consumo específico de madeira, o consumo de álcali ativo e o teor de sólidos gerados por tonelada de celulose produzida, foram calculados de acordo com as equações 1, 2 e 3.

$$CEm = \left(\frac{1}{Db.RD}\right) \quad (1)$$

Onde: CEm – Consumo específico de madeira, $m^3.t^{-1}$; Db – Densidade básica, $t.m^{-3}$; RD – Rendimento depurado, decimal.

$$AAC = AAA - AAR \quad (2)$$

Onde: AAC – Álcali ativo consumido, $g \cdot L^{-1}$; AAA – Álcali Ativo aplicado, $g \cdot L^{-1}$; AAR – Álcali Ativo residual, $g \cdot L^{-1}$.

$$tss/odt = \frac{(1-RD)+AA}{RD} \quad (3)$$

Onde: $tss.odt^{-1}$ – Teor de sólidos gerados por tonelada de celulose, $t.t^{-1}$; RD – Rendimento depurado, decimal; AA – Álcali ativo aplicado, decimal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização química e densidade básica das madeiras de *P. taeda* e *P. sylvestris* são apresentados na Tabela 3.

Ambas as espécies apresentam valores próximos de densidade básica e teor de lignina, enquanto a madeira de *P. taeda* possui menor proporção de extrativos totais e maior teor de holocelulose que a madeira de *P. sylvestris*.

Altos teores de extrativos são indesejáveis no processo de polpação, pois podem gerar "pitch", o qual pode se depositar na polpa celulósica e gerar incrustações nos equipamentos industriais, em feltros e em telas, o que resulta em perda de produção, devido a maior quantidade de paradas e manutenção dos equipamentos (BARBOSA et al., 2005).

Os valores de composição química das espécies utilizadas neste trabalho estão de acordo com o que é descrito em literatura. Rautkari et al. (2012), estudando madeira de alburno e cerne, de *P. sylvestris* provenientes da Finlândia, encontraram teores de extrativos de 3,7 e 8,4%, respectivamente. Já Toivanen e Alén (2006), trabalhando com árvores de *P. sylvestris* com 30 anos de idade, encontraram teores de extrativos variando de 2 a 12%. Os autores supracitados descrevem o teor de lignina desta espécie variável entre 20 e 27%.

Para a madeira de *P. taeda*, Bassa (2006) encontrou 31,18% de lignina total e 2,37% de extrativos totais. Rigatto (2004) encontrou, para lignina total, valores que variaram entre 26,29 e 29,73% e, para extrativos totais, valores entre 2,93 e 3,06%. Os resultados referentes à densidade básica e composição química das madeiras de *P. taeda* e *P. sylvestris*, analisadas neste trabalho, podem ser considerados típicos para as espécies em questão.

Tabela 2. Parâmetros determinados no processo de polpação kraft.
Table 2. Parameters determined in the kraft pulping process.

Parâmetro	Norma/cálculo
Rendimento bruto, %	Relação entre massa seca de polpa e massa seca de madeira
Rendimento depurado, %	Relação entre massa seca de polpa depurada e massa seca de madeira
Teor de rejeitos, %	Relação entre massa seca de rejeitos (material retido em peneira com fenda de 0,5 mm de depurador laboratorial) e massa seca de madeira
Número kappa	TAPPI T 236 om-99
Seletividade	Relação entre rendimento depurado e número kappa

Tabela 3. Caracterização das madeiras de *P. taeda* e *P. sylvestris*.
Table 3. Characterization *P. taeda* and *P. sylvestris* wood.

Parâmetro	*Pinus taeda*	*Pinus sylvestris*
Densidade básica, $g \cdot cm^{-3}$	0,435	0,436
Extrativos totais, %	2,83	6,40
Lignina Klason insolúvel, %	26,18	25,14
Lignina solúvel, %	0,53	0,47
Lignina total, %	26,71	25,61
Holocelulose, %	70,46	67,99

Na Tabela 4 podem ser observados os resultados dos parâmetros relacionados à morfologia dos traqueídes para ambas as espécies.

A madeira de *P. taeda* apresenta traqueídes de maior comprimento, menor largura e espessura de parede, quando comparado com a madeira de *P. sylvestris*. Shimoyama e Barrichelo (1991) ressaltam a importância das dimensões dos traqueídes, a partir das quais é possível inferir as características da madeira e da polpa celulósica produzida. De maneira geral, quanto maior o comprimento do traqueíde, maior será a resistência do papel.

Os traqueídes de *P. sylvestris* possuem maior largura e fração parede que aqueles de *P. taeda*. De acordo com Shimoyama e Wiecheteck (1993), traqueídes com alta fração parede tendem a ser mais rígidos, apresentando menor grau de colapso no processo de formação do papel, podendo prejudicar as ligações interfibras, ocasionando, assim, a diminuição das resistências à tração e estouro, aumentando a resistência ao rasgo e os valores de volume específico aparente (bulk).

Os traqueídes de *P. taeda* possuem menor índice de Runkel, maior coeficiente de flexibilidade e índice de enfeltramento, quando comparados aos traqueídes de *Pinus sylvestris*. O índice de Runkel avalia o grau de colapso dos traqueídes durante o processo de produção de papel; quanto mais baixo for o índice de Runkel, maior será o grau de colapso dos traqueídes, proporcionando maior superfície de contato, com isso, estabelece um maior número de ligações entre eles, o que resulta em um papel com maior resistência à tração e ao estouro (VASCONCELOS, 2005). O coeficiente de flexibilidade indica o grau de colapso (achatamento) que as fibras sofrem durante o processo de fabricação do papel, quanto maior seu valor, mais flexível será a fibra, ocorrendo maiores possibilidades de ligações entre as mesmas, o que tende a aumentar as resistências à tração e ao estouro (SHIMOYAMA; WIECHETECK, 1993). Quanto maior o seu valor, maior será o grau de colapso (PAULA; ALVES, 1997). Segundo Mogollón e Aguilera (2002), para o índice de enfeltramento, quanto maior o seu valor, maior será a resistência ao rasgo do papel.

A partir das Tabelas 5 e 6, e da Figura 2, podem ser observados os resultados referentes ao processo de polpação para as madeiras de *P. taeda* e *P. sylvestris*.

Conforme esperado, para ambas as espécies, há diminuição no rendimento bruto e aumento da deslignificação com o aumento da carga alcalina aplicada (Figuras 2a e 2d). Já o rendimento depurado aumenta na carga de 16%, uma vez que há alto teor de rejeitos na carga alcalina mais baixa (Figuras 2b e 2c). Após esse ponto, a redução do teor de rejeitos faz com que o rendimento depurado acompanhe a tendência do rendimento bruto, ou seja, é observada sua diminuição com o aumento do álcali.

Tabela 4. Morfologia dos traqueídes das madeiras de *P. taeda* e *P. sylvestris*.
Table 4. Morphology of tracheids of *P. taeda* and *P. sylvestris* wood.

Parâmetro	*Pinus taeda*	*Pinus sylvestris*
Comprimento, mm	3,50	3,10
Largura do traqueíde, µm	40,55	43,73
Diâmetro do lume, µm	27,73	28,15
Espessura de parede, µm	6,41	7,59
Fração parede, %	32	36
Índice de Runkel	0,46	0,55
Coeficiente de flexibilidade	68	64
Índice de enfeltramento	86	71

Tabela 5. Resultados do processo de polpação kraft da madeira de *Pinus taeda*.
Table 5. Results of the kraft pulping process of *Pinus taeda* wood.

AA	Rend. Bruto	Rejeitos	Rend. Depurado	Número Kappa	AAR	Sólidos %
	%				g/L	
14	60,2	10,2	50,0	100,5	2,8	11,1
16	54,3	2,2	52,2	58,6	6,6	12,7
18	51,6	0,1	51,5	38,1	7,4	13,7
20	47,5	0,0	47,5	24,2	9,3	14,5
22	45,7	0,0	45,7	21,1	15,5	15,0
24	44,9	0,0	44,9	17,3	18,9	15,3
26	43,7	0,0	43,7	14,8	20,1	16,0

Tabela 6. Resultados do processo de polpação kraft da madeira de *Pinus sylvestris*.
Table 6. Results of the kraft pulping process of *Pinus sylvestris* wood.

AA	Rend. Bruto	Rejeitos	Rend. Depurado	Número Kappa	AAR	Sólidos
	%				g/L	%
14	60,7	13,9	46,8	116,5	3,9	11,3
16	54,6	6,9	47,7	77,0	8,2	12,6
18	49,3	1,2	48,1	53,0	9,4	13,9
20	47,7	0,7	47,0	38,3	10,2	14,5
22	45,7	0,2	45,5	30,9	15,3	15,3
24	44,4	0,2	44,2	25,3	17,7	15,8
26	43,9	0,1	43,8	21,0	20,3	15,0

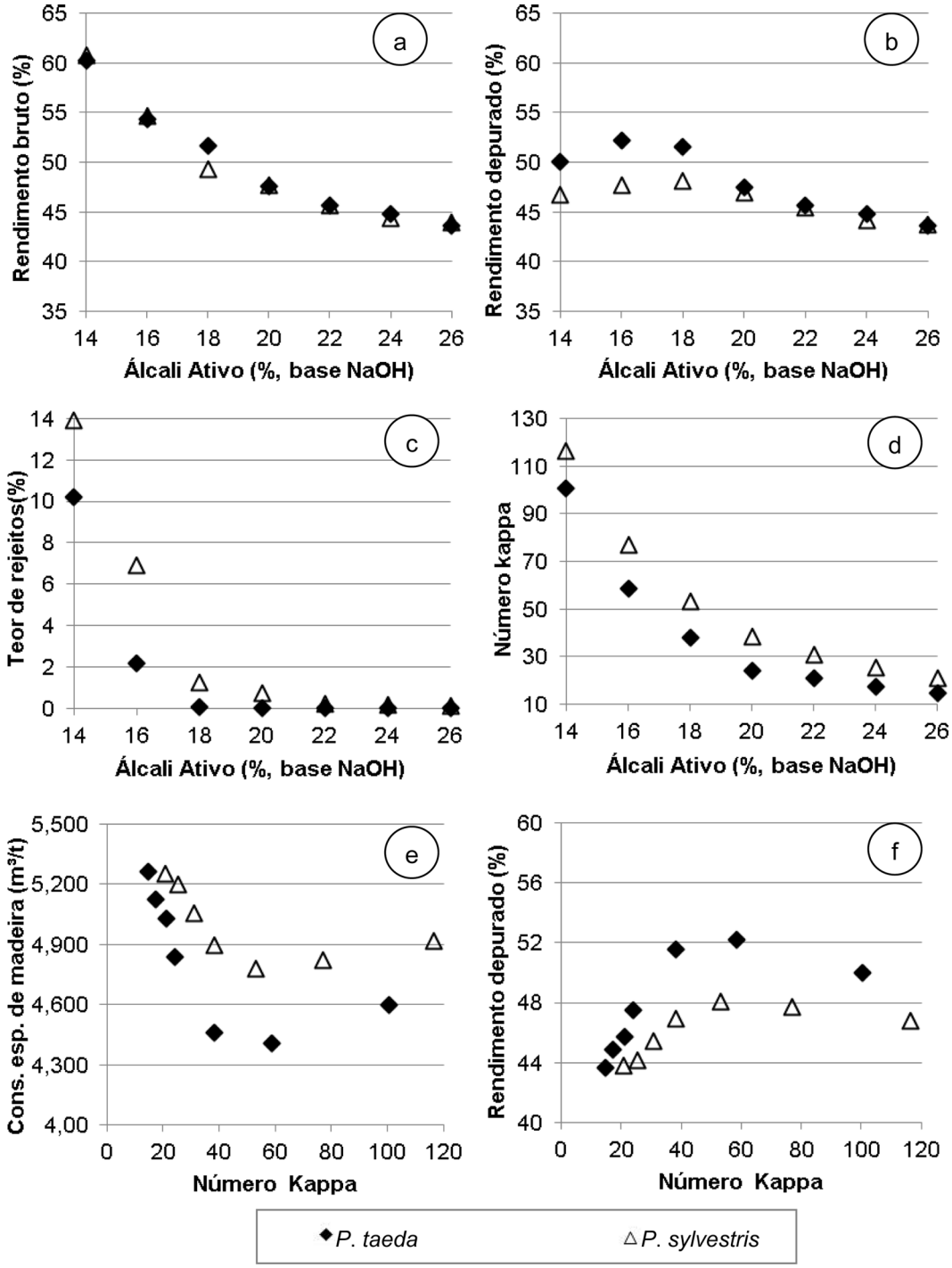

Figura 2. Rendimento bruto (a), rendimento depurado (b), teor de rejeitos (c), número kappa (d), consumo específico de madeira (e) e relação entre rendimento depurado e número kappa (f).
Figure 2. Yield (a), screened yield (b) reject content (c), kappa number (d), specific wood consumption (e) and relationship between screened yield and kappa number (f).

A espécie *P. taeda* apresenta maiores rendimentos depurados e menor consumo específico de madeira, em relação aos cozimentos de *P. sylvestris* (Figuras 2b e 2e). Os maiores rendimentos depurados e menores consumos específicos, de ambas as espécies, se encontram na faixa de kappa de 40 a 60. Os resultados demonstram que a densidade básica não foi fator determinante para as diferenças no consumo específico entre as espécies, o qual foi diretamente influenciado pelo rendimento depurado, maior para a madeira de *P. taeda*.

Maiores rendimentos depurados e menores consumos específicos implicam em uma redução dos custos da produção de polpa celulósica, uma vez que a madeira é responsável por grande parte destes (BASSA, 2006).

A madeira de *P. taeda* apresenta maior facilidade de deslignificação em comparação à madeira de *P. sylvestris*, apresentando número kappa mínimo de 14,8, enquanto que o menor número kappa alcançado nas polpas de *P. sylvestris* foi de 21,0. Considerando as mesmas condições de cozimento para ambas as espécies, tal fato é explicado pelas diferentes características das madeiras, neste caso, o maior teor de extrativos da madeira de *P. sylvestris*.

Os dados de consumo de álcali, teor de sólidos do licor negro, seletividade e teor de sólidos gerados no processo de polpação, são apresentados na Figura 3.

Para o mesmo nível de deslignificação, a madeira de *P. sylvestris* apresenta maior consumo alcalino e maior teor de sólidos no licor negro, fatores influenciados pelo teor de extrativos, mais alto na madeira desta espécie (Figura 3a e 3b).

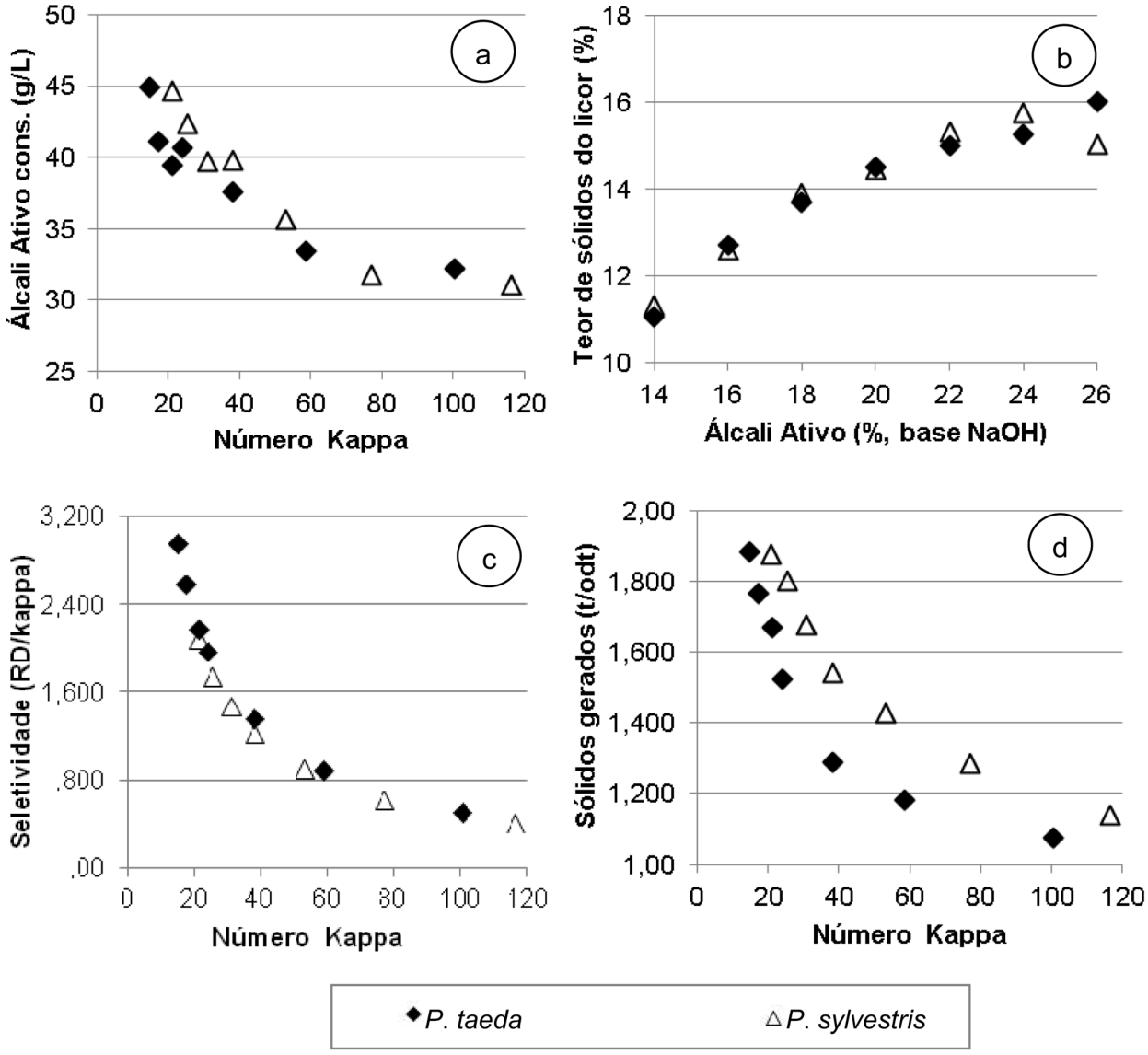

Figura 3. Álcali ativo consumido (a), teor de sólidos do licor negro (b), seletividade do processo (c) e sólidos gerados (d).

Figure 3. Active alkali consumed (a) solids content of the black liquor (b), selectivity of the process (c) and solids generated (d).

A seletividade do processo de polpação pode ser expressa pela relação entre o rendimento depurado e o número kappa da polpa. No presente trabalho, esse parâmetro foi maior para a polpação de *P. taeda*, quando o número kappa foi inferior a 40 (Figura 3c). Isso demonstra que, nesta faixa de deslignificação, os rendimentos do cozimento de *P. taeda* são maiores que os de *P. sylvestris*. Por outro lado, acima deste kappa, não são observadas diferenças entre as espécies.

Conforme pode ser observado na Figura 3d, o processo de polpação de *P. sylvestris* gera maior quantidade de sólidos que o cozimento de *P. taeda*. A maior geração de sólidos pode comprometer a capacidade de produção de uma fábrica, uma vez que há diminuição da produção devido à capacidade de queima de sólidos/dia da caldeira de recuperação.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados permite concluir que as características tecnológicas da madeira de *P. taeda*, visando à produção de polpa celulósica, são superiores àquelas de *P. sylvestris*. Apesar de ambas as madeiras apresentarem teor de lignina e densidade básica similares, a madeira de *P. taeda* possui menor teor de extrativos, maior teor de holocelulose e traqueídes com maior comprimento médio.

A tendência observada para as características tecnológicas são confirmadas no processo de polpação, uma vez que a madeira de *P. taeda* obteve maiores rendimentos, maior grau de deslignificação e menor consumo específico de madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira: Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BACHA, C. J. C. O Uso de recursos florestais e as políticas econômicas brasileiras -Uma visão histórica e parcial de um processo de desenvolvimento. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 393-426, 2004.

BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; CRUZ, M. P. Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis.* **Revista Ciência & Engenharia**. Viçosa, v. 15, n. 2, p. 13-20, 2005.

BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. S.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando aproveitamento industrial. **IPEF**, Piracicaba, n. 15, p. 1-14, 1977.

BASSA, A. G. M. C. **Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids**. 2006. 169 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Dados do Setor**. Disponível em: . Acesso em: 30 abr. 2013a.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório estatístico 2011/2012**. Disponível em: < http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2011.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2013b

FRANKLIN, G. L. Permanent preparations of macerated wood fibers. **Tropical Woods**, Yale, n. 49, p. 21-24, 1937.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins**: occurrence, formation, structure and reactions. New York: John Wiley & Sons, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

IAWA - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMY. List of microscopic features for wood identification. **IAWA Bulletin**, Oakland, v. 10, n. 3, p. 226-332, 1989.

METLA – THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE. **Finnish Forest Sector Economic Outlook 2012–2013**. Disponível em: <http://www.metla.fi/julkaisut/suhdannekatsaus/index-en.htm>. Acesso em: 30 de abr. 2013.

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

OLIVEIRA, E. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden). **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, n. 2, p. 1-9, 1990.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas:** anatomia, dendrologia, dendrometria, produção, uso. Brasília: Fundação Mokiti Okada, 1997. 541 p.

PARVIAINEN, J.; NAUMANN, M. A Finlândia e suas florestas. **Floresta**, Curitiba, v. 16, n. 1-2, p. 5-18, 1986.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.

RAUTKARI, L.; HÄNNINEN, T.; JOHANSSON, L-S.; HUGHES, M. A. Study by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) of the chemistry of the surface of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) modified by friction. **Holzforschung**, Berlin, v. 66, n. 1, p. 93–96, 2012.

SCAN - SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD. **Technical Standards**, Stockholm, 1980.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influências de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica de madeira de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991, p. 23-36.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. tecunumanii para produção de papel imprensa. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SOUSA, R. C.; GIOVANINI, E. P.; LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; GARCIA, J. N. Influência da idade e da posição radial na densidade básica da madeira e dimensões dos traqueídos em *Pinus taeda* L. **IF Série Registro**, São Paulo, n. 31, p.27-32, 2007.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 2007. 2 v.

TOIVANEN, T. J., ALÉN, R. Variations in the chemical composition within pine (*Pinus sylvestris*) trunks determined by diffuse reflectance infrared spectroscopy and chemometrics. **Cellulose,** n. 13, n. 1, p. 53-61, 2006.

VASCONCELOS, F. S. R. **Avaliação do processo SuperBatch™de polpação de *Pinus taeda*.** 2005. 106 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

Recebido em 28/01/2014
Aceito para publicação em 13/11/2014