

PAPER V

Evaluation of vessel picking tendency in printing

In: O Papel 71:7, 49–61.

Copyright 2010 O Papel.

Reprinted with permission from the publisher.

Avaliação da tendência ao arrancamento de vasos na impressão

Evaluation of vessel picking tendency in printing

Autores/Authors*: Asikainen Sari
Fuhrmann Agneta
Kariniemi Merja
Särkilahti Airi

Palavras-chave: Arrancamento de vasos, composição química, fracionamento, morfologia das fibras, refinação

Keywords: Chemical composition, fiber morphology, fractionation, refining, vessel picking

RESUMO

As celuloses industriais kraft branqueadas de eucalipto - *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus grandis* - foram fracionadas mediante um hidrociclone (Bauer 3") a fim de enriquecer os elementos de vasos em uma das frações. A tendência ao arrancamento de vasos foi analisada mediante método desenvolvido no KCL (Instituto Finlandês de Pesquisas de Celulose e Papel). Nesse método, folhas manuais são impressas em impressora offset plana de 4 cores, em escala natural, com tinta de impressão comercial. O teste de impressão de arrancamento de vasos foi feito para celuloses kraft de eucalipto não-fracionadas, frações ricas em vasos e pobres em vasos. As partículas arrancadas foram analisadas e contadas por meio de analisador de imagens. O teste de impressão de arrancamento de vasos também foi realizado nas frações ricas em vasos após processo de refinação em moinho PFI, nível de 2000 revoluções. O hidrociclone separou eficientemente os vasos segundo seu tamanho e formato. A análise por microscopia mostrou que os vasos da fração rica em vasos eram maiores e apresentavam uma forma mais quadrada do que os da celulose pobre em vasos. A refinação da fração rica em vasos reduziu a tendência ao arrancamento de vasos ao mesmo nível ou até a nível inferior àquele da celulose não-fracionada.

ABSTRACT

Bleached eucalyptus kraft mill pulps - Eucalyptus globulus and Eucalyptus grandis -, were fractionated using hydrocyclone (Bauer 3") in order to enrich the vessel elements in one of the fractions. The vessel picking tendency was analyzed with a method developed at the Finnish Pulp and Paper Research Institute (KCL). In this method, handsheets are printed with a full scale 4-colour sheet-fed offset printing machine using a commercial printing ink. The vessel picking printing test was performed for the unfractionated eucalyptus kraft pulps, the vessel-rich and vessel-poor fractions. The picked particles were analyzed and counted using an image analyzer. The vessel picking printing test was also done on the vessel-rich fractions after PFI-beating 2000 revolutions. Hydrocyclone separated the vessels according to their size and shape successfully. The microscopy analyze showed that vessels in the vessel-rich fraction were larger and more square-shaped than those in the vessel-poor pulp. The refining of the vessel-rich fraction decreased the vessel picking tendency to the same or even lower level than that of the unfractionated pulp.

*Referências dos autores / Authors' references:

VTT, Caixa Postal 1000, FI-02044 VTT, Finlândia – Tekniikantie 2
VTT, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland – Tekniikantie 2

Autor correspondente / Corresponding author:
Sari Asikainen – E-mail: sari.asikainen@vtt.fi

INTRODUÇÃO

A composição dos elementos da celulose influencia propriedades interativas do papel como resistência e ligação entre fibras (desempenho), aspereza superficial e resistência superficial (imprimibilidade). As propriedades dos elementos de vaso para a fabricação de papel são inferiores, pois que não se ligam bem e contribuem pouco para a resistência do papel. O arrancamento de vasos é fenômeno comum em papéis de imprimir que contêm celuloses de madeira de fibra curta. O problema do arrancamento de vasos é um fenômeno caracterizado pelo fato de que alguns dos elementos de vasos de madeiras de fibra curta na superfície do papel tendem a ser arrancados pela pegajosidade da tinta da impressora (Ohsawa, 1988). O arrancamento de vasos de folhosas na impressão offset de papéis de impressão não-revestidos caracteriza-se pelo surgimento de pequenas manchas brancas em áreas de uma só cor e de meio-tom da impressão. Esses defeitos irão se repetir exatamente na mesma área da impressão por várias centenas de impressões, mas por fim passarão a ser menores e menos intensos, até desaparecerem por completo. As formas dessas manchas brancas podem ser alongadas ou apresentar-se mais como quadrados, com dimensões da ordem de 1 mm ou menores. Vasos presentes na blanqueta de uma impressora offset convencional são intrinsecamente oleofóbicos devido ao umedecimento preferencial pela solução umedecedora. Esses vasos tornam-se oleofílicos e aceitam tinta somente após centenas de impressões. Normalmente, um problema de arrancamento de vasos se tornará evidente após a impressão de algumas centenas de folhas (Shallhorn, 1997).

É de conhecimento geral que a tendência ao arrancamento de vasos é causada principalmente pela presença de elementos de vaso de grandes dimensões em celuloses de madeiras de folhosas, tornando-se o problema mais crítico quando a coesão entre elementos de vaso e fibras for muito baixa (Ohsawa, 1988). Considera-se que a quantidade de elementos de vaso arrancados durante a impressão se deva aos seguintes fatores: 1) número, tamanho e formato dos elementos de vaso na superfície do papel; 2) resistência da coesão entre os elementos de vaso e a folha de papel e 3) número e resistência da ligação das fibras que estão cobrindo os elementos de vaso (Ohsawa, 1988; Colley, 1975).

Diminuição da tendência ao arrancamento de vasos de celuloses de madeiras de fibra curta pode ser conseguida mediante: 1) redução do teor de vasos na massa selecionando-se matéria-prima de madeira de fibra curta adequada, que tenha elementos de vaso pequenos e delgados e fibras conformativas (Ohsawa, 1988) ou a remoção de elementos de vaso de grandes dimensões e quadrados em sua forma por meio de hidrociclones (Ohsawa *et al.*, 1982; Mukoyoshi, Ohsawa, 1986; Mukoyoshi, 1986; Ohtake *et al.*, 1987; Ohtake, Okagawa, 1988); 2) a redução do tamanho dos elementos de vaso mediante refinação da celulose em alta consistência (Ohsawa *et al.*, 1984; Nanko *et al.*, 1988) ou refinação da celulose com

INTRODUCTION

The composition of pulp elements influences interacting paper properties like strength and bonding (runnability), surface roughness and surface strength (printability). Papermaking properties of vessel elements are inferior, since they do not bond well and contribute little to the strength of paper. The vessel picking is common problem in printing papers containing hardwood pulps. The vessel picking trouble is a phenomenon that some of the hardwood vessel elements in the paper surface tend to be picked off by an ink-tackiness of the printing press (Ohsawa, 1988). Hardwood vessel picking in the offset printing of uncoated fine papers is characterized by the appearance of small, white spots in solid and halftone areas in the print. These defects will repeat exactly in the same area of the print for several hundred impressions, but they will eventually become smaller and less intense until they fade away. The shapes of these white spots are either elongated or they may appear more as squares of the order of 1mm or less in dimension. Vessels on the blanket of a conventional offset press are intrinsically oleophobic because of preferential wetting by the fountain solution. These vessels become oleophilic and accept ink only after printing few hundred impressions. Thus, if a vessel picking problem is going to occur, it usually becomes evident after printing a few hundred sheets (Shallhorn, 1997).

It is generally known that vessel picking tendency is mainly caused by the presence of large vessel elements in hardwood pulps and the problem becomes more severe when the bonding strength between vessel elements and fibers is too weak (Ohsawa, 1988). The amount of vessel elements, which will be picked off during printing, is considered to be caused by the following factors, such as: 1) number, size and shape of the vessel elements in the paper surface; 2) bonding strength between vessel elements and paper sheet; and 3) number and bonding strength of fibers, which are covering vessel elements (Ohsawa, 1988; Colley, 1975).

*Reduction of vessel picking tendency of hardwood pulps can be achieved by: 1) reducing vessel content in a stock by selecting a suitable hardwood raw material, which has small and slender vessel elements and conformable fibers (Ohsawa, 1988) or removing large and square-shaped vessel elements by using hydrocyclones (Ohsawa *et al.*, 1982; Mukoyoshi, Ohsawa, 1986; Mukoyoshi, 1986; Ohtake *et al.*, 1987; Ohtake, Okagawa, 1988); 2) reducing size of the vessel elements by refining the pulp at high consistency (Ohsawa *et al.*, 1984; Nanko *et al.*, 1988) or refining the pulp with low refining intensity, i.e. low specific edge load (de Almeida et*

baixa intensidade de refinação, isto é, baixa carga específica nas lâminas (de Almeida *et al.*, 2006; Joy *et al.*, 2004); 3) aumento da coesão entre vasos e fibras por via do aumento da conformatividade das fibras utilizando-se polpa com alto teor de hemicelulose, mediante colagem superficial, através da refinação da celulose em alta consistência (Ohsawa *et al.*, 1986; Mukoyoshi *et al.*, 1986) ou tratando a celulose com carboximetilcelulose (Blomstedt *et al.*, 2008; Rakkolainen *et al.*, 2009); 4) formando uma estrutura adequada da folha, isto é, cobrindo os vasos com fibras (Nanko *et al.*, 1987); 5) arrancamento de vasos também pode ser reduzido por tratamento da celulose com enzimas (Uchimoto *et al.*, 1988). Além desses pré-tratamentos, tecnologias de fabricação de papel (caixa de entrada, máquina de papel, prensagem úmida, calandragem) e características da impressora (velocidade, temperatura, solução umedecedora, suprimento de tinta, tipo de tinta e limpeza de equipamentos) também influem no arrancamento de vasos.

Os vasos são compostos de células simples; seu tamanho e distribuição no anel de crescimento variam com a espécie. Elementos de vaso são mais curtos do que fibras de madeira de fibra curta e o diâmetro dos vasos varia grandemente de espécie para espécie (Ilvessalo-Pfäffli, 1995). Em geral, há de 3 a 25 vasos por mm² de seção transversal de xilema de eucalipto. Algumas espécies contêm mais vasos do que outras. Também há muita variação entre as dimensões de elementos de vaso, mas os vasos apresentam em sua maior parte um diâmetro compreendido na faixa de 60 a 250 µm e comprimento entre 200 e 600 µm. Madeiras ricas em vasos, que têm vasos muito largos em diâmetro, podem ter aproximadamente 25% a 30% de seu volume ocupado por esses elementos. Na maior parte das espécies comerciais de eucaliptos e seus clones, a proporção de vasos no volume da madeira varia de 10% a 20% (Foelkel, 2007).

A parede do vaso é relativamente fina, praticamente igual à espessura da parede da fibra, entre 2,5 e 5 µm. A composição química dos vasos é semelhante em seus constituintes químicos, mas há alguma diferença entre fibras e vasos. Verificou-se que elementos de vaso são mais ricos em celulose em comparação com fibras, e lignina tem sido encontrada nos elementos de vaso até mesmo após o branqueamento (Fardim, Lidström, 2009). Também há indicações de que a lignina presente nos vasos é mais hidrofóbica, mais rica em unidades de guaiacil do que de siringil (Watanabe, 2004). A relação entre siringil e guaiacil pode atingir cerca de 0,5 a 1 para os vasos, enquanto a das fibras varia de 2 a 6 (Foelkel, 2007). Tem sido também constatado que o conteúdo de xilana dos elementos de vaso é mais elevado do que aquele das fibras (Figueiredo Alves *et al.*, 2009).

Aparelho de laboratório para teste de imprimibilidade não é confiável para análise de tendência ao arrancamento de vasos em papéis de impressão comerciais, nem mesmo em celulosas diferentes, pois a área de papel impressa é demasiado pequena - tira de 2,5 cm de largura e 30 cm de comprimento -, para de-

al., 2006; Joy *et al.*, 2004); 3) increasing vessel to fiber bonding strength by increasing the conformability of fibers, by using pulp with high hemicellulose content, by surface sizing, by refining the pulp at high consistency (Ohsawa *et al.*, 1986; Mukoyoshi *et al.*, 1986) or by treating the pulp with carboxymethyl cellulose (Blomstedt *et al.*, 2008; Rakkolainen *et al.*, 2009); 4) forming a suitable sheet structure, i.e. covering the vessel elements with fibers (Nanko *et al.*, 1987); 5) vessel picking can also be reduced by treating the pulp with enzymes (Uchimoto *et al.*, 1988). Besides these pretreatments paper manufacturing technologies (head-box, paper machine, wet pressing, calendering) and printing machine characteristics (speed, temperature, fountain solution, ink supply, ink type and equipment cleanliness) affect the vessel picking.

The vessels are composed of single cells; their size and distribution within the growth ring vary with species. Vessel elements are shorter than hardwood fibers, and the diameter of vessels varies greatly from species to species (Ilvessalo-Pfäffli, 1995). In general, there is about 3 to 25 vessels per mm² of eucalyptus xylem cross section. Some species have more vessels than others. There is also much variation between the dimensions of vessel elements, but vessels have mostly a diameter ranging from 60 to 250 µm and a length between 200 to 600 µm. Vessel rich woods having very wide vessels in their diameter may have approximately 25% to 30% of their volume occupied by the vessels. In most commercial eucalyptus species and clones the proportion of vessels in the wood volume ranges from 10% to 20% (Foelkel, 2007).

The vessel wall is relatively thin, practically equal to the fiber wall thickness, between 2.5 and 5 µm. The chemical composition of the vessels is similar in its chemical constituents, but there is some difference between fibers and vessels. Vessel elements have been found to be richer in cellulose compared with fibers, and lignin has been found in the vessel elements even after bleaching (Fardim, Lidström, 2009). There are also indications that the lignin in vessels is more hydrophobic, richer in guaiacyl units than in syringyl (Watanabe, 2004). The syringyl to guaiacyl ratio may reach about 0.5 to 1 for the vessels, while that of the fibers is from 2 to 6 (Foelkel, 2007). It has been also revealed that the xylan content of vessel elements is higher than that of the fibers (Figueiredo Alves *et al.*, 2009).

A laboratory printability tester is not reliable to analyze the vessel picking tendency of commercially made fine papers, or not even different pulps, because the area of paper printed is too small - 2,5 cm wide and 30 cm long strip -, to capture the statistically rare

teectar o defeito estatisticamente raro de arrancamento de vasos. Neste estudo, a tendência ao arrancamento de vasos foi analisada mediante a impressão de folhas manuais em laboratório com impressora offset plana, de 4 cores, em escala natural e com utilização de tinta de impressão comercial. Os objetivos deste estudo foram de avaliar os efeitos do conteúdo de vasos, do tamanho dos vasos, do formato dos vasos e da refinação da celulose sobre a tendência ao arrancamento de vasos. Foi igualmente determinada a composição química de frações livres de vasos e ricas em vasos. A avaliação da tendência ao arrancamento de vasos foi realizada através de método desenvolvido no KCL.

MATERIAIS E MÉTODOS

Matéria-prima

As polpas industriais kraft branqueadas de eucalipto utilizadas nos ensaios foram de *Eucalyptus globulus*, procedente da Europa meridional, e de *Eucalyptus grandis*, proveniente da América do Sul. Ambas as celuloses foram secadas na fábrica.

Fracionamento

As celuloses secas de fábrica foram deixadas para inchar durante a noite e na manhã seguinte foram desagregadas utilizando um desagregador de 50 litros. O tempo de desagregação foi de 15 minutos e a consistência de 5%.

As polpas foram fracionadas por meio de hidrociclone Bauer de 3". Os ensaios foram realizados com consistência da celulose de alimentação de 0,1% e pressão diferencial de 1,6 bar. A configuração do ensaio para *Eucalyptus globulus* está representada na **Figura 1**. Neste artigo, a celulose de eucalipto suprida ao hidrociclone é chamada de celulose de alimentação, a celulose do aceito é chamada de fração pobre em vasos e a celulose do rejeito é chamada de fração rica em vasos.

Celulose de *Eucalyptus globulus* foi fracionada em sistema de dois estágios (Figura 1). O rejeito do primeiro estágio foi o material alimentado ao segundo estágio. A celulose do aceito

vessel pick defect. In this study, the vessel picking tendency was analyzed by printing laboratory handsheets with a full scale printing machine, 4-colour sheet-fed offset printing press, and using a commercial printing ink. The objectives of this study were to evaluate the effects of vessel content, vessel size, vessel shape, and pulp refining on the vessel picking tendency. Also the chemical composition of the vessel-free and vessel-rich fraction was determined. The evaluation of the vessel picking tendency was performed using a method developed at KCL.

MATERIALS AND METHODS

Raw material

The bleached eucalyptus kraft mill pulps used in the trials were *Eucalyptus globulus* from South Europe and *Eucalyptus grandis* from South America. Both pulps were mill-dried.

Fractionation

The mill-dried pulps were allowed to swell over night, and the next morning they were disintegrated using 50-litre disintegrator. The disintegration time was 15 minutes and consistency 5%.

The pulps were fractionated using Bauer 3" hydrocyclone. Trials were performed with the feed pulp consistency of 0.1%, and the pressure difference was 1.6 bar. The trial configuration for *Eucalyptus globulus* is shown in **Figure 1**. The eucalyptus pulp that was fed to the hydrocyclone is called feed pulp, the accept pulp is called vessel-poor fraction, and the reject pulp is called vessel-rich pulp in this paper.

Eucalyptus globulus was fractionated in a two-stage system (Figure 1). The reject of the first stage was the feed of the second stage. The accept pulp

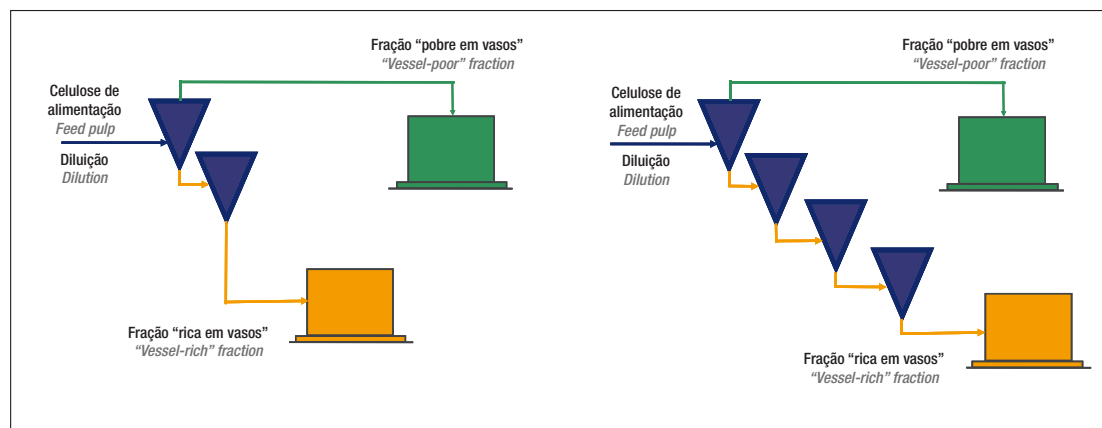


Figura 1. Configurações de testes para *Eucalyptus globulus* (à esquerda) e para *Eucalyptus grandis* (à direita)
Figure 1. Trial configurations for *Eucalyptus globulus* (on the left), and for *Eucalyptus grandis* (on the right)

do segundo estágio não foi recuperada. Celulose de *Eucalyptus grandis* foi fracionada em sistema de quatro estágios (Figura 1). O rejeito do primeiro estágio foi o material alimentado ao segundo estágio, o rejeito do segundo estágio foi o material alimentado ao terceiro estágio, e assim sucessivamente. Também neste caso, as celuloses do aceito do segundo, do terceiro e do quarto estágios não foram recuperadas.

Após cada estágio de fracionamento as amostras de celulose foram analisadas com analisador Kajaani FS-300, sendo determinados o número de elementos de vaso e seu comprimento e largura. Isso foi feito para monitorar a eficiência de separação.

Análises

O cálculo dos tipos de células da composição (fibras, vasos e células de raios), SCAN-G3:90, foi realizado para as celuloses de alimentação e das frações ricas em vasos e pobres em vasos. Comprimento e largura dos vasos também foram determinados utilizando-se um fotomicroscópio, tendo sido medidos 300 vasos.

As celuloses de alimentação e das frações ricas e pobres em vasos foram submetidas às seguintes análises químicas:

- Lignina residual total, ligninas Klason e solúvel em ácido (método interno KCL, TAPPI T222 modificado)
- Ácidos urônicos (método interno KCL, SCAN Forsk 737)
- Extratos de acetona (SCAN-CM 49)
- Composição de carboidratos (TAPPI T249, modificado)

Antes dessas análises, os finos foram removidos das amostras de celulose.

Teste de arrancamento de vasos

As celuloses de alimentação e as celuloses pobres e ricas em vasos foram usadas na condição de não-refinadas. Além disso, as frações ricas em vasos foram refinadas em moinho PFI nível 2000 revoluções, a fim de verificar o efeito da refinação sobre os vasos.

Folhas manuais foram formadas de acordo com norma EN ISO 5269-1 com celuloses de alimentação, das frações pobres em vasos e ricas em vasos, todas não-refinadas, e também das frações ricas em vasos refinadas; cinco folhas para cada amostra. A gramatura-alvo das folhas foi de 60 g/m².

As folhas manuais foram calandradas em calandra para folhas. As condições de calandragem foram: pressão linear de 94 kN/m (15 bar), 1 nip. As folhas de laboratório calandradas foram fixadas com fita a uma folha-suporte. As folhas foram impressas em impressora offset plana, de 4 cores, com utilização de tinta de impressão comercial e um nip de suporte traseiro. Marcas de arrancamento foram coletadas da blanqueta com de fitas adesivas. As fitas foram analisadas por meio de analisador de imagens para contagem da tendência ao arrancamento, sendo: quantidade total de arrancamentos/cm² e área arrancada em µm. Como o método é trabalhoso, não foram feitas medições paralelas, de modo que a confiabilidade do método não pode ser estimada adequadamente.

from the second stage was not recovered. Eucalyptus grandis was fractionated in a four-stage system (Figure 1). The reject of the first stage was the feed of the second stage, and the reject of the second stage was the feed of the third stage, etc. Also in this case the accept pulp from the second, third and fourth stages were not recovered.

After each fractionation stage the pulp samples were analyzed with Kajaani FS-300, and the number of vessel elements, length and width was determined. This was done to monitor the separation efficiency.

Analyses

Calculation of cell type composition (fibers, vessels and ray cells), SCAN-G3:90, was performed for the feed pulps, vessel-rich and vessel-poor fractions. The vessel length and width was also determined using light microscope, 300 vessels were measured.

The following chemical analyses were conducted on the feed, vessel-rich and vessel-poor fractions:

- Total residual lignin, Klason and acid soluble lignin (KCL internal method, TAPPI T222 modified)
- Uronic acids (KCL internal method, SCAN Forsk 737)
- Acetone extracts (SCAN-CM 49)
- Carbohydrate composition (TAPPI T249, modified)

Before these analyses the fines were removed from the pulp samples.

Vessel picking test

The feed pulps, vessel-poor and vessel-rich pulps were used as unrefined. In addition, the vessel-rich fractions were refined using PFI-mill for 2000 revolutions in order to see the effect of the refining on the vessels.

Handsheets were formed according to standard EN ISO 5269-1 from the unrefined feed pulps, vessel-poor and vessel-rich fractions and also from the refined vessel-rich fractions, five sheets for each sample. Target grammage of the sheets was 60 g/m².

The handsheets were calendered with a sheet calender. The calendering conditions were as follows: line pressure of 94 kN/m (15 bar), 1 nip. The calendered laboratory sheets were taped to a carrier sheet. The sheets were printed with a 4-colour sheet-fed offset printing press using a commercial printing ink and one back-trap nip. Pick marks were collected from the blanket with adhesive tapes. The tapes were analyzed with an image analyzer to count picking tendency: total number of picks/cm² and picked area µm. As the method is laborious no parallel measurement were done, so the reliability of the method cannot be properly estimated.

Composição de tipos de células

Enriquecimento dos elementos de vasos foi bem-sucedido na fração de rejeito. Ohsawa *et al.* (Ohsawa, 1982) também constataram ser possível separar elementos de vasos pela ação de um hidrociclone e que os elementos de vasos são acumulados à fração de rejeito. A **Tabela 1** e a **Tabela 2** mostram a composição de tipos de células de celuloses de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente.

Quando o processamento em hidrociclone foi realizado em sistema de dois estágios, Tabela 1, foi possível aumentar o teor de vasos da celulose de 0,4% (m/m) para 1,2% (m/m). No sistema de quatro estágios o teor de vasos da celulose aumentou de 0,5% (m/m) para 4,0% (m/m), Tabela 2. Eficiência de separação algo melhor é encontrada na literatura, Ohsawa *et al.* (Ohsawa, 1984). Em seu estudo, os elementos de vasos foram separados com um hidrociclone Centricleaner 600 – que é um hidrociclone mais eficiente do que aquele usado neste estudo – a partir de celulose de eucalipto, tendo conseguido enriquecer a fração de rejeito para aproximadamente 5,7% em peso de vasos.

A Tabela 1 e a Tabela 2 indicam que os conteúdos de células de raio das frações pobres em vasos eram mais altos do que os das frações ricas em vasos. No caso de *Eucalyptus grandis* o teor de células de raio da fração pobre em vasos era até mesmo superior ao da celulose de alimentação. O enriquecimento de células de raio para a fração de aceito foi também visto anteriormente (Panula-Ontto 2002).

O cálculo dos elementos de vasos apresentou valores mais altos após a refinação (**Tabela 3**). Isso devido ao fato de a

Cell type composition

Enrichment of the vessel elements succeeded to the reject fraction. Ohsawa *et al.* (Ohsawa, 1982) had also found that it is possible to separate vessel elements by hydrocycloning, and that the vessel elements are accumulated to the reject fraction. **Table 1** and **Table 2** show the cell type composition of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus grandis*, respectively.

When the hydrocycloning was performed in a two-stage system, Table 1, it was possible to increase the vessel content of the pulp from 0.4% (m/m) to 1.2% (m/m). In the four-stage system the vessel content of the pulp increased from 0.5% (m/m) to 4.0% (m/m), Table 2. Somewhat better separation efficiency is found from the literature, Ohsawa *et al.* (Ohsawa, 1984). In their study, vessel elements were separated with a hydrocyclone Centricleaner 600 - which is more efficient hydrocyclone than the one used in this study -, from eucalyptus pulp and succeeded to enrich about 5.7 weight % of vessels to the reject fraction.

Table 1 and Table 2 show that the ray cells content of the vessel-poor fractions were higher than that of the vessel-rich fractions. In the case of *Eucalyptus grandis* the ray cell content of the vessel-poor fraction was even higher than that of the feed pulp. The enrichment of ray cells to the accept fraction has also been seen earlier (Panula-Ontto 2002).

The calculation of the vessel elements showed higher values after the refining (**Table 3**). This is because in the

Tabela 1. Composição de tipos de células de *Eucalyptus globulus* / **Table 1.** Cell type composition of *Eucalyptus globulus*

m/m, %	Alimentação / Feed	Pobre em vasos / Vessel-poor	Rica em vasos / Vessel-rich
Fibras / Fibers	96,5	97,4	98,4
Vasos / Vessels	0,4	0,2	1,2
Células de raio / Ray cells	3,1	2,4	0,4

Tabela 2. Composição de tipos de células de *Eucalyptus grandis* / **Table 2.** Cell type composition of *Eucalyptus grandis*

m/m, %	Alimentação / Feed	Pobre em vasos / Vessel-poor	Rica em vasos / Vessel-rich
Fibras / Fibers	96,7	95,5	96
Vasos / Vessels	0,5	0,4	4,0
Células de raio / Ray cells	2,8	4,1	traços

Tabela 3. Teor de vasos das celuloses não-refinada e refinada de *Eucalyptus grandis*

Table 3. Vessel content of the unrefined and refined pulps, *Eucalyptus grandis*

m/m, %	Não-refinada rica em vasos / Unrefined vessel-rich	Refinada rica em vasos / Refined vessel-rich
Fibras / Fibers	96	95,1
Vasos / Vessels	4,0	4,9
Células de raio / Ray cells	traços	-

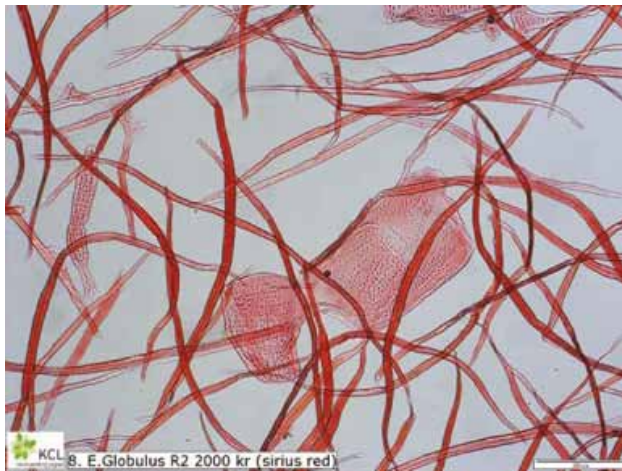


Figura 3. Fração rica em vasos de *Eucalyptus globulus* refinada / **Figure 3.** Refined *Eucalyptus globulus* vessel-rich fraction

refinação romper e dividir os vasos, da forma representada na **Figura 3**.

Ohsawa *et al.* (Ohsawa, 1984) também constataram que refinação a consistência particularmente alta reduz o arrancamento de vasos. Em seu estudo, as celuloses foram refinadas em moinho PFI, com consistência de 10% ou 20%. Segundo eles, celulose refinada a alta consistência continha mais fibras fibriladas e vasos fibrilados. Neste estudo não foi detectada fibrilação de elementos de vasos (Figura 3).

Dimensões dos vasos

A **Tabela 4** e a **Tabela 5** indicam que o hidrociclone separou os vasos segundo seu tamanho. As frações ricas em vasos os tinham mais largos do que as outras celuloses. O comprimento dos vasos era aproximadamente o mesmo em todas as celuloses. Além disso, os vasos das frações ricas

refining the vessels were broken and split as shown in Figure 3.

Ohsawa et al. (Ohsawa, 1984) has also seen that especially high consistency refining decrease vessel picking. In their study the pulps were beaten at PFI mill using consistency of 10% or 20%. According to them, high consistency refined pulp contained more fibrillated fibers and fibrillated vessels. In this study fibrillation of vessel elements was not detected (Figure 3).

Dimension of vessels

Table 4 and Table 5 show that hydrocyclone separated the vessels according to their size. The vessel-rich fractions had wider vessels than the other pulps. The length of the vessels was about the same in all the pulps. In addition, the vessels of the vessel-rich fractions were

Tabela 4. Dimensões dos vasos de *Eucalyptus globulus* / **Table 4.** Vessel dimension of *Eucalyptus globulus*

Dimensões dos vasos, μm Vessel dimension, μm	Alimentação Feed	Pobre em vasos Vessel-poor	Rica em vasos não-refinada Unrefined vessel-rich	Rica em vasos refinada Refined vessel-rich
Comprimento / Length	305	293	307	334
Largura / Width	178	153	190	171
Largura/comprimento / Width/length	0,58	0,52	0,62	0,51

Tabela 5. Dimensões dos vasos de *Eucalyptus grandis* / **Table 5.** Vessel dimension of *Eucalyptus grandis*

Dimensões dos vasos, μm Vessel dimension, μm	Alimentação Feed	Pobre em vasos Vessel-poor	Rica em vasos não-refinada Unrefined vessel-rich	Rica em vasos refinada Refined vessel-rich
Comprimento / Length	357	346	368	394
Largura / Width	179	167	208	220
Largura/comprimento / Width/length	0,50	0,48	0,57	0,56

em vasos apresentavam um formato mais quadrado (largura/comprimento) do que os da celulose de alimentação e da celulose pobre em vasos. A mesma observação tem sido feita também por Mukoyoshi *et al.* (Mukoyoshi, 1986).

A Tabela 4 e a Tabela 5 também mostram que as dimensões e a forma dos elementos de vasos eram diferentes após a refinação, pois os vasos foram rompidos e divididos na refinação. A relação entre largura e comprimento era menor, o que significa que os vasos não apresentavam uma forma tão quadrada quanto antes da refinação.

Composição química das celuloses

A composição dos polissacarídeos e o conteúdo de lignina das diversas celuloses não apresentou quaisquer diferenças, apesar do enriquecimento de vasos. O teor de extrativos estava abaixo do limite de determinação em todos os casos. A única diferença foi vista no teor de ácido hexenurônico. A fração rica em vasos de celulose de *Eucalyptus grandis* continha mais ácido hexenurônico (11 mmol/kg) do que a celulose de alimentação de *Eucalyptus grandis* (7,2 mmol/kg) e a fração pobre em vasos dessa celulose, abaixo do limite de determinação, de 4,5 mmol/kg. Um teor mais alto de xilana da celulose rica em vasos foi revelada anteriormente (Figueiredo Alves *et al.*, 2009), e é conhecido que ácido metilglucurônico, o grupo lateral em xilana nativa, é parcialmente convertido em ácido hexenurônico durante o cozimento kraft (Teleman *et al.*, 1995, Danielson, 2007). Com base nessas informações, é provável que a fração rica em vasos pudesse ter um teor de ácido hexenurônico mais alto do que a fração pobre em vasos. Contudo, é de se ter em mente que essa diferença não se deve necessariamente aos elementos de vasos, porque o teor de vasos da fração rica em vasos, de 4% (m/m), ainda era razoavelmente baixo.

Tendência ao arrancamento de vasos das celuloses

A **Figura 4** apresenta as fotos das folhas impressas, *Eucalyptus grandis*.

Áreas arrancadas são representadas como pontos brancos nas folhas manuais. As fotos das folhas manuais de celulose de alimentação (Figura 4, à esquerda) e da fração pobre em vasos

more square-shaped (width/length) than those of the feed pulp and those of the vessel-poor pulp. The same observation has been made also by Mukoyoshi et al. (Mukoyoshi, 1986).

Table 4 and Table 5 also show that the dimensions and the shape of the vessel elements were different after the refining, because the vessel were broken and split in the refining. Width/length ratio was lower, which means that the vessels were not so much square-shaped than before the refining.

Chemical composition of the pulps

The polysaccharide composition and the lignin content of the various pulps did not show any differences despite the enrichment of the vessels. The content of extractives was below determination limit in all the cases. The only difference was seen in the content of hexenuronic acid. The Eucalyptus grandis vessel-rich pulp contained more hexenuronic acid (11 mmol/kg) than the Eucalyptus grandis feed pulp (7.2 mmol/kg), and the vessel-poor pulp below determination limit, 4.5 mmol/kg. Higher xylan content of vessel rich pulp has earlier been revealed (Figueiredo Alves et al., 2009), and it is known that methylglucuronic acid, the side group in native xylan, is partly converted into hexenuronic acid during kraft cooking (Teleman et al., 1995, Danielson, 2007). Based on this information it is likely that the vessel-rich fraction could have higher hexenuronic acid content than the vessel-poor fraction. However, it should be kept in mind that this difference is not necessarily due to the vessel elements, because the vessel content of the vessel rich fraction was still fairly low, 4 % (m/m).

Vessel picking tendency of the pulps

Figure 4 shows the pictures taken from the printed sheets, Eucalyptus grandis.

Picked areas are shown as white spots in the handsheets. The picture taken from the handsheet made from the feed pulp (Figure 4 on the left) and the vessel-poor

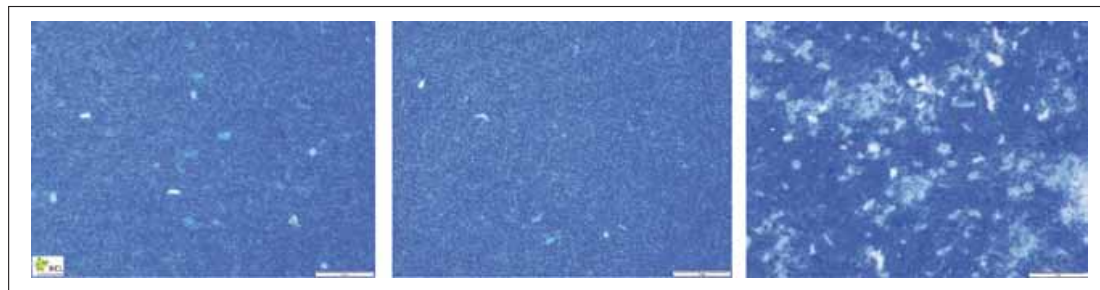


Figura 4. Folha manual impressa de celulose de alimentação (à esquerda), da fração pobre em vasos (no centro) e da fração rica em vasos (à direita), de *Eucalyptus grandis* / **Figure 4.** Printed handsheet of the feed pulp (on the left), of the vessel-poor fraction (in the middle), of the vessel-rich fraction (on the right), *Eucalyptus grandis*

(Figura 4, no centro) são quase idênticas. Em comparação com a folha manual de celulose pobre em vasos, a folha manual de celulose de alimentação continha quantidade um pouco maior de marcas de arrancamento, que também eram um pouco maiores.

A folha feita com a fração rica em vasos (Figura 4, à direita) tinha um número de elementos de vaso tão alto nas folhas impressas que as marcas de arrancamento chegaram a se constituir em áreas grandes, e não em manchas. Quando as marcas de arrancamento eram observadas com lupa era notado que os vasos arrancados tinham arrastado fibras da superfície do papel.

As marcas de arrancamento coletadas da blanda de impressão foram contadas com um analisador de imagens. A quantidade total de arrancamentos/cm² nas celulosas de *Eucalyptus grandis* de alimentação e da fração pobre em vasos foi de 5,3 e 3,6, respectivamente (Tabela 6). A fração de celulose *Eucalyptus grandis* rica em vasos continha número excessivo de arrancamentos para que pudesse ser avaliada com o analisador de imagens. A área arrancada da fração de celulose de *Eucalyptus grandis* pobre em vasos era claramente menor do que aquela da celulose de alimentação, 0,11 µm² contra 0,26 µm².

O número total de arrancamentos/cm² nas celulosas de *Eucalyptus globulus* de alimentação, da fração pobre em vasos e da fração rica em vasos foi de 6,4; 4,7 e 27,0, respectivamente (Tabela 7).

fraction (Figure 4 in the middle) are almost alike. The handsheet made from the feed pulp contained somewhat more, and showed a little greater pick marks than the sheet made from the vessel-poor pulp.

The sheet made from the vessel-rich fraction (Figure 4 on the right) had so high a number of vessel elements in the printed sheets that the pick marks are shown as big areas rather than spots. When the pick marks were observed with a loupe, it was noticed that the picked vessels had also released fibers with them from the paper surface.

The collected pick marks from the printing blanket were counted with an image analyzer. The total number of picks/cm² in the feed and vessel-poor Eucalyptus grandis pulp was 5.3 and 3.6, respectively (Table 6). The vessel-rich Eucalyptus grandis pulp contained too many picks to be analyzed with the image analyzer. The picked area of the vessel-poor Eucalyptus grandis pulp was clearly lower than that of the feed pulp, 0.11 µm² vs. 0.26 µm².

The total number of picks/cm² in the feed, vessel-poor and vessel-rich Eucalyptus globulus pulp was 6.4; 4.7 and 27.0, respectively (Table 7).

Tabela 6. Resultados de arrancamento de vasos para *Eucalyptus grandis* / **Table 6.** Vessel picking results for *Eucalyptus grandis*

Número de arrancamentos/cm ² Number of picks/cm ²	Alimentação Feed	Pobre em vasos Vessel-poor	Rica em vasos Vessel-rich
Tinta Ink	3,2	2,3	Excesso de arrancamentos para contar Too many picks to count
Suporte traseiro Back trap	2,1	1,3	Excesso de arrancamentos para contar Too many picks to count
Total Total	5,3	3,6	Excesso de arrancamentos para contar Too many picks to count
Área arrancada, µm ² / Picked area, µm ²			
Tinta Ink	0,20	0,08	Excesso de arrancamentos para contar Too many picks to count
Suporte traseiro Back trap	0,06	0,03	Excesso de arrancamentos para contar Too many picks to count
Total Total	0,26	0,11	Excesso de arrancamentos para contar Too many picks to count

Tabela 7. Resultados de arrancamento de vasos para *Eucalyptus globulus* / **Table 7.** Vessel picking results for *Eucalyptus globulus*

Número de arrancamentos/cm ² Number of picks/cm ²	Alimentação Feed	Pobre em vasos Vessel-poor	Rica em vasos Vessel-rich
Tinta / Ink	4,1	3,0	16,2
Suporte traseiro / Back trap	2,2	1,7	10,8
Total / Total	6,4	4,7	27,0
Área arrancada, µm ² / Picked area, µm ²			
Tinta / Ink	0,19	0,12	1,09
Suporte traseiro / Back trap	0,04	0,03	0,35
Total / Total	0,23	0,15	1,44

A área arrancada da celulose de *Eucalyptus globulus* rica em vasos era 14 vezes maior do que a da celulose de alimentação. A área arrancada da celulose de *Eucalyptus globulus* pobre em vasos era inferior à da polpa de alimentação, $0,15 \mu\text{m}^2$ contra $0,23 \mu\text{m}^2$.

Efeito da refinação no arrancamento de vasos

A literatura faz saber que refinação a consistência particularmente alta é efetiva na destruição de elementos de vaso, e que pode reduzir consideravelmente o teor de elementos grandes de vaso. Independentemente dos métodos de refino, a destruição de elementos de vaso atinge certo nível com CSF 400 mL (Canadian Standard Freeness), e refinação ulterior causa apenas pequena alteração no tamanho dos elementos de vaso (Nanko, 1988). Neste estudo, as celuloses ricas em vasos foram refinadas em moinho PFI (consistência de refinação de 10%), nível 2000 revoluções, e após essa refinação foi determinada a tendência ao arrancamento.

As **Figuras 7 e 8** reproduzem as fotos de folhas manuais impressas produzidas com fração rica em vasos não-refinada e refinada das celuloses de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente.

Mediante a refinação da fração de *Eucalyptus globulus* rica em vasos, o número de arrancamentos/cm² foi reduzido

The picked area of the vessel-rich Eucalyptus globulus pulp was 14 times greater than that of the feed pulp. The picked area of the vessel-poor Eucalyptus globulus pulp was lower than that of the feed pulp, $0.15 \mu\text{m}^2$ vs. $0.23 \mu\text{m}^2$.

Effect of the refining on the vessel picking

It is known from the literature that especially high consistency refining is effective for vessel element destruction and that it can reduce the content of large vessel elements considerably. Regardless of refining methods, the destruction of vessel elements reaches a certain level at CSF 400 mL, and further refining gives only small change in the size of the vessel element (Nanko, 1988). In this study the vessel-rich pulps were refined in a PFI-mill (refining consistency 10%) for 2000 revolutions and after the refining the picking tendency was determined.

Figures 7 and 8 show the picture taken from the printed handsheets made from the unrefined and the refined vessel-rich fraction, Eucalyptus globulus and Eucalyptus grandis, respectively.

By refining the Eucalyptus globulus vessel-rich frac-

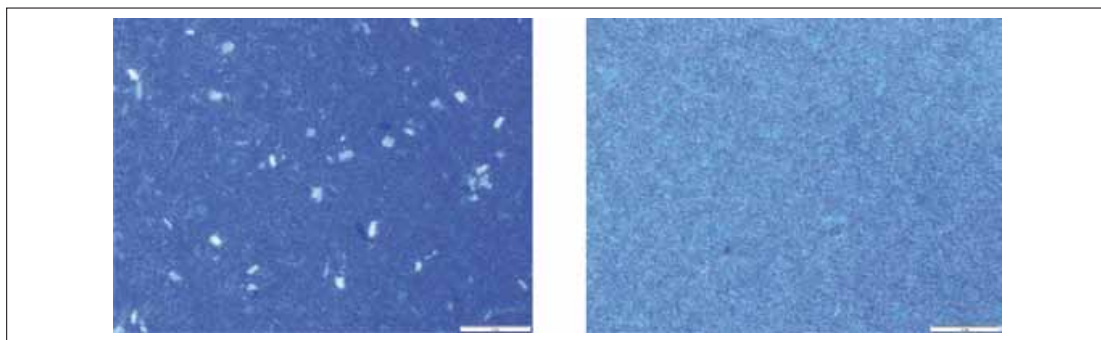


Figura 7. Folha manual impressa produzida com fração rica em vasos não-refinada (à esquerda) e refinada (à direita), de *Eucalyptus globulus*
Figure 7. Printed handsheet made from unrefined (on the left) and refined (on the right) *Eucalyptus globulus* vessel-rich fraction

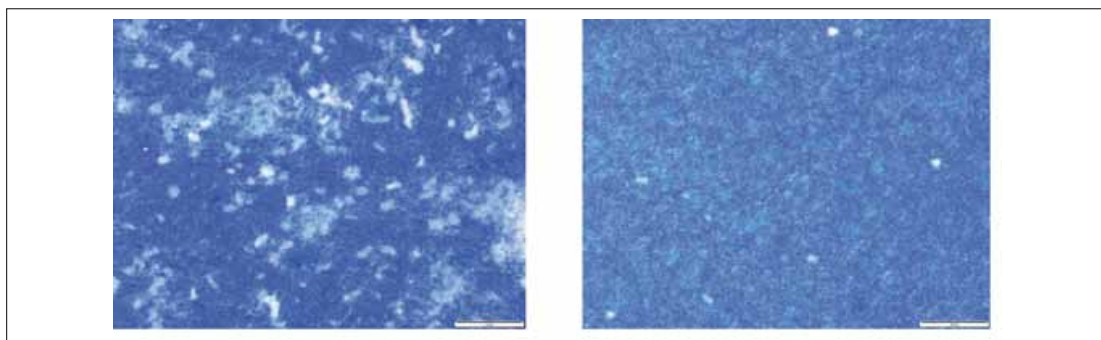


Figura 8. Folha manual impressa produzida com fração rica em vasos não refinada (à esquerda) e refinada (à direita), de *Eucalyptus grandis*
Figure 8. Printed handsheet made from unrefined (on the left) and refined (on the right) *Eucalyptus grandis* vessel-rich fraction

Tabela 8. Resultados de arrancamento de vasos para celuloses de *Eucalyptus globulus* de alimentação, pobre em vasos, rica em vasos não-refinada e refinada / **Table 8.** Vessel picking results for *Eucalyptus globulus* feed pulp, vessel-poor, unrefined and refined vessel-rich fraction

Número de arrancamentos/cm ² Number of picks/cm ²	Alimentação Feed	Pobre em vasos Vessel-poor	Rica em vasos não-refinada Unrefined vessel-rich	Rica em vasos refinada Refined vessel-rich
Tinta	4,1	3,0	16,2	1,2
Suporte traseiro	2,2	1,7	10,8	1,1
Total	6,4	4,7	27,0	2,3
Área arrancada, μm ² / Picked area, μm ²				
Tinta	0,19	0,12	1,09	0,03
Suporte traseiro	0,04	0,03	0,35	0,02
Total	0,23	0,15	1,44	0,05

Tabela 9. Resultados de arrancamento de vasos para celulose de *Eucalyptus grandis* de alimentação e da fração rica em vasos refinada / **Table 9.** Vessel picking results for *Eucalyptus grandis* feed pulp and refined vessel-rich fraction

Número de arrancamentos/cm ² Number of picks/cm ²	Alimentação Feed	Rica em vasos refinada Refined vessel-rich
Tinta	3,2	4,2
Suporte traseiro	2,1	2,8
Total	5,3	7,0
Área arrancada, μm ²		
Tinta	0,20	0,22
Suporte traseiro	0,06	0,10
Total	0,26	0,32

de 27,0 para 2,3 (Tabela 8). Como mostrado anteriormente, os vasos foram rompidos (Figura 3) na refinação e já não se apresentavam num formato tão quadrado quanto antes do refino. Esta foi uma razão para redução na tendência ao arrancamento. Além disso, a conformatividade das fibras aumenta na refinação, assim como aumenta a resistência da ligação entre vasos e fibras (Ohsawa *et al.*, 1984, Ohsawa, 1988, Colley 1975).

Após a refinação, o número de arrancamentos/cm² era inferior ao da celulose de alimentação não-refinada e até mesmo inferior ao da celulose pobre em vasos. O número de arrancamentos/cm² da celulose de alimentação, da fração pobre em vasos e da fração rica em vasos refinada era de 6,4; 4,7 e 2,3, respectivamente. Da mesma forma, a área arrancada diminuiu significativamente na refinação, de 1,44 μm² para 0,05 μm², sendo inferior à da celulose de alimentação (0,23 μm²) e à da celulose pobre em vasos (0,15 μm²).

O número de arrancamentos/cm² e a área arrancada diminuíram na refinação da fração rica em vasos de celulose de *Eucalyptus grandis*. Todavia, a quantidade total de arrancamentos/cm² da fração rica em vasos refinada de celulose de *Eucalyptus grandis* era de 7,0 (Tabela 9). Isso ainda é cerca de 30% superior à da celulose de alimentação. Da mesma forma, a área total arrancada era cerca de 20% superior na fração rica em vasos refinada do que na celulose de alimentação.

*tion, the number of picks/cm² was reduced from 27.0 picks/cm² to 2.3 picks/cm² (Table 8). As shown earlier, the vessels were broken (Figure 3) in the refining and they were not so much square-shaped than before the refining. This was one reason to reduced picking tendency. In addition, the conformability of the fibers is increased in the refining, and also vessel-to-fiber bonding strength is increased (Ohsawa *et al.*, 1984, Ohsawa, 1988, Colley 1975).*

After refining, the number of picks/cm² was lower than that in the unrefined feed pulp and also even lower than that in the vessel-poor pulp. The number of picks/cm² of the feed pulp, vessel-poor pulp and refined vessel-rich fraction was 6.4, 4.7 and 2.3, respectively. Also, the picked area decreased remarkably in the refining, from 1.44 μm² to 0.05 μm², and it was lower than that of the feed pulp (0.23 μm²) and that of the vessel-poor pulp (0.15 μm²).

*The number of picks/cm² and the picked area decreased in the refining of *Eucalyptus grandis* vessel-rich fraction. However, the total number of picks/cm² of the refined *Eucalyptus grandis* vessel-rich fraction was 7.0 (Table 9). This is still about 30% higher than that of the feed pulp. Also, the total picked area was about 20% higher for the refined vessel-rich fraction than that of the feed pulp.*

CONCLUSÕES

Celuloses industriais kraft branqueadas de eucalipto - *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus grandis* -, foram fracionadas utilizando um hidrociclone. A tendência ao arrancamento de vasos foi analisada através da impressão de folhas manuais com impressora offset plana de 4 cores, em escala natural, e utilizando tinta de impressão comercial. O hidrociclone separou os vasos segundo seu tamanho e formato; a fração rica em vasos possuía vasos maiores e de formato mais quadrado do que a fração pobre em vasos. As celuloses ricas em vasos apresentaram um número maior de arrancamentos/cm² e também área arrancada maior do que as celuloses de alimentação e as celuloses pobres em vasos. Na refinação, os vasos foram rompidos e divididos e a resistência da ligação das fibras foi aumentada. Em consequência, a refinação da fração rica em vasos reduziu a tendência ao arrancamento de vasos para o mesmo nível, se não mesmo inferior, ao da polpa não-fracionada. Também a área das marcas de arrancamento diminuiu. Este estudo tem provado que o método desenvolvido no KCL avalia corretamente a tendência ao arrancamento de vasos das diversas celuloses. Também demonstrou que a técnica de fracionamento possibilita o estudo de celuloses com vários conteúdos de vasos, a composição química dessas celuloses e o efeito de um tratamento separado dessas celuloses sobre a tendência ao arrancamento de vasos. ▲

CONCLUSIONS

Bleached Eucalyptus kraft mill pulps - *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus grandis* -, were fractionated using hydrocyclone. The vessel picking tendency was analyzed by printing the handsheets with a full scale printing machine, 4-colour sheet-fed offset printing press, and using a commercial printing ink. Hydrocyclone separated vessels according to their size and shape; the vessel-rich fraction had larger and more square-shaped vessels than the vessel-poor fraction. The vessel-rich pulps had a higher number of picks/cm² and also the picked area was larger than that of the feed pulps and the vessel-poor pulps. In the refining, the vessels were broken and split, and the bonding strength of the fibers was increased. Due to this, the refining of the vessel-rich fraction decreased the vessel picking tendency to the same or even lower level than that of the unfractionated pulp. Also the area of the pick marks decreased. This study proved that the method developed at KCL evaluates properly the vessel picking tendency of the various pulps. It was also shown that fractionation technique enables the study of pulps with various vessel contents: the chemical composition of those pulps, and the effect of separate treatment of those pulps on the vessel picking tendency. ▲

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. de Almeida D. M., Sevrini G. I., Leodoro L. M., Faez M. S., Soto M. R., Kaneco S. Y. (2006): *Mechanical treatment of eucalyptus fiber using refiner plates with higher bar edge crossing length*. 67 (6) 88-94.
2. Blomstedt, M., Panula-Ontto, S., Kontturi E., Vuorinen, T. (2008): *A method to reduce vessel picking of eucalyptus pulp sheets by carboxymethyl cellulose modification?* Papel 69 (1) 35-44. Ohsawa, J. Vessel picking in printing papers. Tropical wood pulp symposium '88, 21.-23.6.1988, Singapore, pp. 220-223.
3. Colley, J. (1975): Factors affecting the vessel picking tendency of hardwood pulps. *Appita* 1975, 28 (6) 392-398.
4. Danielsson S. (2007): *Xylan reactions in kraft cooking: process and product considerations*. Doctoral thesis. TRITA-CHE Report 2007:78, Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology, 119pp.
5. Fardim, P., Lindström, N. (2009): *Chemistry and surface chemistry of vessels in eucalyptus kraft pulps*. 15th International symposium on wood, fiber and pulping chemistry, Proceedings, Oslo, Norway, 15-18 June, O-001, 4pp.
6. Figueiredo Alves, E., Chaves de Oliveira, R., Mendes da Silva, L.H., Colodette, J.L. (2009): *Thermal and spectroscopic analyses on the molecular interaction between eucalyptus kraft pulp components and offset printing inks*. *Braz. arch. biol. technol.* 52 (3). http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132009000300021
7. Foelkel, C. (2007): *Vessel elements and eucalyptus pulps*, http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/ENG04_vessels.pdf
8. Ilvessalo-Pfäffli, M.-S. *Fiber Atlas, Identification of Papermaking Fibers*, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1995, 400 p.
9. Joy, E., Rintamäki, J., Wecroth, R., Tuomelainen, P. (2004): *Ultra-low intensity refining of short fibered pulps*. TAPPSA Technical Association of the Pulp and paper Industry of Southern Africa. African Pulp and Paper Week. <http://www.tappsa.co.za/archive2/>

10. Mukoyoshi, S.-i.; Komatsu, Y.; Ohsawa, J. (1986): *Prevention of vessel picking trouble in tropical hardwood pulps, III Effect of pulp preparation on vessel picking*. Japan Tappi, 40 (5) 51-57.
11. Mukoyoshi, S.-i., Komatsu, Y., Ohsawa, J. (1986): *Prevention of vessel picking trouble in tropical hardwood pulps III Effect of pulp preparation on vessel picking*. Japan Tappi J. 61 (6) 51-57.
12. Mukoyoshi, S.-i.; Ohtake, T.; Ohsawa J. (1986): *Mechanism of vessel separation with hydrocyclone I. Vessel separation with centri-cleaner*. Japan Tappi J. 40 (11) 55-63.
13. Mukoyoshi, S.-i., Ohsawa, J. (1986): *Mechanism of vessel separation with hydrocyclone II Settling velocity of pulp and model particles*. Japan Tappi J. 61 (12) 71-79.
14. Nanko, H.; Mukoyoshi, S.-i.; Ohsawa, J. (1987): *Prevention of vessel picking trouble by stratified sheet formation*. Japan Tappi 1987, 41 (9) 59-66
15. Nanko, H.; Mukoyoshi, S.-i., Ohsawa, J. (1988): *Effect of refining on vessel picking*. Japan Tappi 1988, 42(3)41-48.
16. Ohsawa, J.; Ohtake, T.; Komatsu, Y.; Yoneda, Y. (1982): *Prevention of vessel picking trouble in tropical hardwood pulps, I Effective vessel separation methods*. Japan Tappi 1982, 57 (10) 975-984.
17. Ohsawa, J.; Wakai, M.; Komatsu, Y.; Yoneda, Y.; Nagasawa, T. (1984): *Prevention of vessel picking trouble in tropical hardwood pulps II. Vessel separation and high consistency beating*. J. Jpn Wood Res. Soc 1984, 30(9) 742-749.
18. Ohsawa, J. (1987): *Mechanism of vessel picking and control troubles in printing paper*. Japan Tappi 1987, 41 (1) 42-47.
19. Ohsawa, J., Ohtake, T., Wakai, M., Mukoyoshi, S.-i., Nanko, H. (1986): *Prevention of vessel picking trouble in tropical hardwood pulps IV Bench scale investigation on beating and papermaking*. Japan Tappi J. 61 (7) 67-73.
20. Ohtake, T., Usuda, M., Kadoya, T. (1987): *A fundamental study of hydrocyclones Part 1. Flow pattern in the hydrocyclone*. Japan Tappi J. 41 (2) 60-64.
21. Ohtake, T., Okagawa, A. (1988): *A fundamental study of hydrocyclones Part 2. Measurement of retention time and short pass*. Japan Tappi J. 42 (2) 51-56.
22. Panula-Ontto, S. *Fractionation of unbleached softwood kraft pulp with wedge wire pressure screen and hydrocyclone*, Licentiate thesis, 2002, 91 p.
23. Rakkolainen, M., Kontturi, E., Isogai, E., Enomae, T., Blomstedt, M., Vuorinen, T. (2009): *Carboxymethyl cellulose treatment as a method to inhibit vessel picking tendency in printing of eucalyptus pulp sheets*. Ind. Eng. Chem. Res. 48 (4) 1887-1892.
24. Shallhorn, P.M.; Heintze, H.U. (1997): *Hardwood vessel picking in the offset printing of uncoated fine paper*. Pulp&Paper Can. 98(19) 21-24
25. Teleman A., Harjunpaa V., Tenkanen M., Buchert J., Hausalo T., Drakenberg T., Vuorinen, T. (1995): *Characterization of 4-deoxy-beta-L-threo-hex-4-enopyranosyluronic acid attached to xylan in pine kraft pulp and pulping liquor by 1 H and 13 C NMR spectroscopy*. Carbohydr. Res. 272 (1) 55-71.
26. Uchimoto, I., Endo, K., Yamagishi, Y. (1988): *Improvement of deciduous tree pulp*, Japanese patent. 135, 597/88, 1988. Ref. Jeffries, T., W. Enzymatic treatments of pulps: Opportunities for the enzyme industry in pulp and paper manufacture.
27. Watanabe Y., Kojima Y., Ona T., Asada T., Sano Y., Fukazawa K., Funada R. (2004): *Histochemical study on heterogeneity of lignin in Eucalyptus species. Part 2: the distribution of lignins and polyphenols in the walls of various cell types*. IAWA J. 25 (3) 283-295.