

# Ações de refino em moinho PFI e em refinador industrial de disco

## *Refining actions in PFI mill and in industrial disc refiners*

**Autores/Authors\*:** Patrícia Kaji Yasumura<sup>1</sup>  
Maria Luiza Otero d'Almeida<sup>1</sup>  
Song Won Park<sup>2</sup>

**Palavras-chave:** Celulose e papel, moinho PFI, refinação de polpas celulósicas, refinadores de disco

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho é entender, quantitativa e qualitativamente, a diferença entre o refinador industrial e o moinho PFI, entender melhor a ação de refino neste tipo de moinho, e comparar os dados de propriedades físicas medidas como decorrentes deste tratamento mecânico. Este trabalho foi motivado pelos resultados obtidos no programa interlaboratorial para ensaios em pasta celulósica gerenciados pelo IPT. Com os dados obtidos neste programa foi possível verificar a variação das propriedades físicas das pastas refinadas em diversos moinhos PFI. Assim, realizam-se experimentos a partir de uma pasta celulósica em diversos tempos de refino em moinho PFI e em refinador de discos para que as respostas em características da pasta celulósica refinada em PFI possam ser mais bem entendidas. Finalmente, estas diferenças são analisadas e discutidas para cada propriedade física.

### INTRODUÇÃO

As propriedades do papel são influenciadas pelo tipo de fibra utilizado e pelo tratamento ao que as fibras foram submetidas até a formação da folha. Os tratamentos a que as fibras podem ser submetidas vão de químicos, como a polpação e o branqueamento, a mecânicos, como a refinação.

**Keywords:** *Disc refiners, PFI mill, pulp and paper, pulp refining*

### ABSTRACT

*The main goal of the present work is to understand, quantitatively and qualitatively, the difference in action between the industrial refiner and the PFI mill, and attain a better understanding of the refining action in this type of equipments. For this purpose, the physical properties of handsheets of pulp refined by both classes of refiners were compared. This work was motivated by the results obtained in the interlaboratorial pulps tests program managed by the IPT. With the data obtained in this program it was possible to perceive variation in pulp physical properties when refined in different PFI mills. Experiments with a pulp in different lengths of refining in PFI mill and disc refiner were made, so that the characteristics response of PFI mill refined pulp could be better understood. Finally, these differences are analyzed and discussed for each of the physical property.*

### INTRODUCTION

*Paper properties are influenced by type of fibers used and by the treatment to which they have been submitted up to the sheet formation. Treatments to which they can be submitted could be either chemical, as the pulping and bleaching stages, or mechanical, as the refining action.*

### \*Referências dos Autores / Authors' references:

- 1 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) – Telefone 11 3767-4407  
*Technological Research Institute of The State of São Paulo – (IPT) – Phone +55 11 3767-4407*  
E-mail: pkaji@ipt.br
- 2 - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Av. Luciano Gualberto, 380 trv3 – Telefone 11 3091-1171  
*Polytechnical School of the São Paulo University - Av. Luciano Gualberto, 380 trv3 – Phone +55 11 3091-1171*  
E-mail: songwon.park@poli.usp.br

O refino possui uma grande influência sobre as propriedades do papel e é uma parte essencial na análise das propriedades, já que a seleção do procedimento de refino pode alterá-las significativamente. O objetivo do refino em escala laboratorial é obter uma curva que descreva a evolução das propriedades do papel em função do refino aplicado. Isso é feito refinando a pasta celulósica durante tempos diferentes e analisando as propriedades finais. O refinador de laboratório mais utilizado ainda é o moinho PFI. É normalmente aceito que a curva de refinação do moinho PFI não reproduz a curva de refinadores industriais. Entretanto, o moinho PFI tem a capacidade de discriminar diferentes fibras, possibilitando resultados comparativos, ou seja, consegue prever com sucesso diferenças em propriedades finais relativamente a diferenças do tipo de fibras utilizado e do tratamento a que as fibras foram submetidas até a formação da folha. Além disso, o crescente entendimento do mecanismo de refino ao qual uma fibra é submetida em moinho PFI, que é diferente do mecanismo de refinadores industriais, permite aos pesquisadores a utilização do moinho PFI como instrumento de procedimento laboratorial com maior segurança.

Desde a criação do moinho PFI em 1962 muitos trabalhos têm surgido avaliando-o ou utilizando-o nos seus estudos sobre refino. Já em 1966, Ebeling e Balac (1966) mostram a influência da consistência do refino, em moinhos PFI e Valley, nas propriedades finais das folhas formadas. Outros, como Keays, McDowell e Hatton (1977), desenvolveram um método de avaliação por um único ponto de refinação em moinho PFI, estimando o número de revoluções através do histórico do moinho. Hughes (1970) comparou o desempenho dos moinhos PFI e Valley para vários tipos de pasta celulósica.

Cowan (1995a) procurou utilizar os resultados obtidos mediante o equipamento Pulmac de qualidade de fibras para explicar os resultados de resistência obtidos por meio de folhas formadas em laboratório, previamente refinadas em moinho PFI. Para isto utilizou os números de qualidade de fibras FS (resistência da fibra), L (comprimento da fibra) e B (ligação de fibras) obtidos pelo equipamento de análise de qualidade de fibras fabricado pelo Pulmac. Com estes dados Cowan (1995a) afirma que, com os parâmetros FS, L e B, é possível obter uma base confiável para avaliação da resposta da pasta ao refino. No entanto, em trabalho posterior Cowan (1995b) comparou as propriedades físicas de folhas formadas a partir de polpas refinadas em PFI e no moinho Kady, fabricado pela Pulmac. O moinho Kady é modificação de uma unidade de dispersão de pigmentos e partículas usada nas indústrias de tintas, revestimentos e alimentos. Segundo ele, a conclusão é que os resultados obtidos para o moinho PFI não são aqueles obtidos para refinadores comerciais, e que a interpretação de dados obtidos pelo refino em PFI não oferece mais do que uma

*Refining exerts a great influence on paper properties. It is an essential part on characteristic analysis, since fibers can be significantly modified by the related refining procedure. The aim of the refining, in laboratory-scale, is to obtain a curve outlining the evolution of paper properties as a function of the applied refining method. This is performed by refining the wood pulp during different lengths of time and then analyzing its end characteristics. The most common laboratory refiner is, even now, the PFI mill. It is quite accepted that a PFI mill refining curve does not replicate the industrial refiners curve. However, on one hand, the PFI mill is able to differentiate dissimilar fibers, thus allowing comparative results, i.e., it achieves to successfully foresee differences in final properties with relation to differences that exist in types of fibers under use and the treatment these fibers were submitted till the sheet formation. Furthermore, the increasing understanding of the refining mechanism to which the fibers undergo in a PFI mill - which is quite different from the industrial refiner one -, allows researchers to more confidently make use of the PFI mill as a laboratory experiments device.*

*Since the PFI mill conception in 1962, many works have come into sight for its evaluation or because its use in refining studies. Already in 1966, Ebeling and Balac (1966) gave evidence to the consistency of the refining - in PFI and Valley mills -, in connection with the final properties of the formed sheets. Others, like Keays, McDowell and Hatton (1977), achieved to develop an evaluation method through just one PFI mill refining point, assessing the revolutions number by means of the historical of the mill. Hugues (1970) compared the performance of the PFI and Valley mills when running different types of pulps.*

*Cowan (1995a) made attempt to use results derived from the Pulmac quality fiber measurement equipment for explaining strength results attained in laboratory formed sheets, which pulp was previously refined in a PFI mill. For the purpose, Cowan made use of the quality fiber values FS (fiber strength), L (fiber length) and B (fiber bonding) given by the Pulmac quality analysis equipment. With support of these data, Cowan (1995a) asserts that with parameters FS, L and B is feasible to achieve a consistent support for evaluating pulp response to the refining. However, in subsequent work Cowan (1995b) compared the physical properties of sheet formed with pulps refined in a PFI and in Kady mills, being this last a Pulmac device. The Kady mill is a modification of a unit designed for the dispersion of pigments and particles used in coating, paint and food industries. According to Cowan, conclusion is that results obtained by the PFI mill are not same as the obtained by commercial refiners and that interpretation of data coming from the PFI mill refining are only suitable for offering*

direção de como uma dada polpa irá se comportar em um ambiente industrial.

Seth (1999) comparou as respostas de polpas celulósicas de fibra longa ao refino em PFI e em refinador de laboratório Escher-Wyss, que afirma possuir efeitos mais próximos aos de refinadores comerciais. Segundo ele, os resultados obtidos pelo refino em PFI permitem concluir que este tipo de refinador não consegue prever com precisão a resposta de polpas celulósicas ao refino comercial. Stoere, Nazhad e Kerekes (2001) também utilizaram estes dois tipos de refinadores para estudar o efeito do refino na formação da folha. Os resultados se apresentam novamente diferentes para os dois refinadores. Segundo os autores isto ocorre devido aos efeitos dos refinadores serem diferentes: no caso do refinador Escher-Wyss ocorre maior fibrilação externa, e no caso do PFI, maior fibrilação interna.

Vários autores propuseram modificações no desenho do moinho PFI para atingir melhores desempenhos. Bovin (1978) introduziu placas de metal de 52 mm por 2 mm, com 1 mm de espessura. Estas placas foram afixadas na parede interna da panela de refinação. A finalidade desta modificação foi simular a refinação industrial utilizando um PFI modificado. Bovin (1978) afirma que não é sempre possível caracterizar diferentes pastas celulósicas de uma maneira relevante após refinação laboratorial, e que o PFI modificado oferece modo de simular a refinação industrial usando uma quantidade menor de amostra.

Para Ghosh (2002), o moinho PFI, apesar de ser tradicionalmente usado nos estudos do impacto do refino na qualidade das fibras em escala laboratorial, fornece poucas informações quanto à definição de parâmetros de refino como carga específica, energia específica, fluxo e recirculação, juntamente com as outras variáveis de operação.

Welch e Kerekes (1994) procuraram desenvolver uma base de comparação entre o moinho PFI e os demais refinadores através do fator  $C$ , que possibilita a estimativa dos valores representativos  $N$  (número de impactos) e  $I$  (intensidade dos impactos). O fator  $C$  é definido como sendo um parâmetro que relaciona a energia líquida de entrada  $P$  e a vazão mássica  $F$ , para um dado refinador, com o número  $N$  e a intensidade de impactos  $I$  imposta às fibras. O estudo de Kerekes *et al.* (1993) comparou diversos refinadores de disco com o refinador Escher-Wyss para demonstrar a utilidade deste método. Mudanças semelhantes nas propriedades da polpa são obtidas a valores iguais de  $N$  e  $I$  apesar da grande diferença de desenho e operação entre refinadores. Em 2005, Kerekes (2005) publicou uma comparação entre refino em moinho PFI e um refinador cônico.

O presente trabalho reporta-se a Yasumura (2006) apresentado no *IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel – CIADICYP 2006*.

*no more than a trend of how a certain pulp is expected to perform in an industrial process.*

*Seth (1999) compared responses of softwood fibers to the refining in a PFI mill and in an Escher-Wyss laboratory refiner, which is said to produce effects closer to those of commercial equipments. According to Seth, results achieved by the PFI refining allow to conclude that this kind of refiner is not apt to accurately forecast the response of pulps in industrial processes. Stoere, Nazhad and Kerekes (2001) also made use of these two types of refiners for studying the refining effect on the sheet formation. Results are also dissimilar for the two refiners. As per the authors, this is due to the different effects yielded by these equipments: in the Escher-Wyss refiner case there is more external fibrillation, whereas in the PFI case, there is more internal fibrillation.*

*Several authors have proposed remake of the PFI design so as to achieve a better performance. Bovin (1978) put in metal plates of 52 mm x 2 mm, and 1 mm in thickness. These plates were fastened to the internal wall of the mill's bowl. The aim of this modification was to simulate industrial refining via a modified PFI. Bovin (1978) states as not always feasible to characterize different pulps in a relevant form after a laboratory refining, and adds that the modified PFI provides a way to simulate the industrial refining with much less sample demand.*

*According to Ghosh (2002), the PFI mill, although traditionally used in studies of the laboratory-scale refining impact on fiber quality, provides few information about definition of refining parameters, as, for instance, specific load, specific energy, flow and recirculation, as well as the remainder operation variables.*

*Welch and Kerekes (1994) attempted to develop a comparative reference between the PFI mill and others refiners by means of the factor  $C$ , which allows to assess the representative values  $N$  (impacts number) and  $I$  (impacts intensity). Factor  $C$  is defined as a parameter which relates the net energy input  $P$  and the massic flow  $F$ , for a definite refiner, with the number  $N$  and the impact intensity  $I$  put on the fibers. The study of Kerekes *et al.* (1993) compared several disc refiners with the Escher-Wyss refiner to demonstrate the effectiveness of this method. Similar changes in pulp characteristics are accomplished at equal values of  $N$  and  $I$  in spite of the huge difference between design and operation of the refiners. In 2005, Kerekes (2005) issued a comparison between the refining in a PFI mill and in a conical refiner.*

*This work refers to Yasumura (2006) presented at the IV Iberoamerican Congress on Pulp and Paper Research – CIADICYP 2006.*

## MATERIAIS E MÉTODO

Utilizou-se uma pasta celulósica industrial de eucalipto branqueada, produzida industrialmente. Para a refinação a polpa foi rasgada manualmente, desagregada e homogeneizada no próprio tanque. As principais etapas de um ensaio tradicional de uma pasta celulósica são:

- Desintegrar a polpa em água;
- Refinar a polpa em refinador de escala laboratorial;
- Ensaio para determinação das propriedades da polpa (por exemplo, drenabilidade);
- Preparação de folhas;
- Prensagem e secagem das folhas;
- Condicionamento das folhas em condições padronizadas de temperatura e umidade;
- Ensaio das propriedades físicas das folhas.

Para este estudo foi utilizado um moinho PFI, segundo procedimento de refino conforme norma NBR 14345:1999. Para a comparação do efeito de refino em moinho PFI e em refinador de maior intensidade, foi utilizado um refinador de discos.

Este refinador é uma máquina robusta de funcionamento simples, equipada com dois discos refinadores, sendo um deles rotativo e montado no porta-disco do eixo principal e o outro estacionário, fixado na tampa. O corpo principal é fabricado em ferro fundido, alojando o conjunto rotativo e a tampa. A comparação foi feita através do refinador de discos simples, com 300 mm de diâmetro e discos com lâminas de: 3 mm de largura, espaçamento de 3 mm e inclinação de 5°. Este tipo de disco é o mais indicado para o refino de pastas celulósicas de fibras curtas. O refinador foi acoplado a um variador de velocidade e montado em um circuito de refinação.

A alimentação foi feita por meio de bomba centrífuga, mantendo-se constantes a vazão e a rotação. A refinação foi feita por meio de passagem contínua através do equipamento, recolhendo-se amostras em tempos determinados na saída para o tanque. A vazão foi mantida constante em 5 m<sup>3</sup>/h.

Seguindo esta ordem para avaliar o processo de refinação nestes dois tipos de refinadores, efetuou-se inicialmente a determinação da resistência à drenagem pelo aparelho Schopper-Riegler, formação de folhas e determinação de características físicas destas folhas. Os métodos utilizados para a polpa celulósica foram:

- Refinação em laboratório – Método PFI – NBR 14345:1999;
- Desagregação a úmido em laboratório – NBR 14030:1998;
- Resistência à drenagem pelo aparelho Schopper-Riegler – NBR 14031:1998;
- Preparação de folhas em laboratório para ensaios físicos – Método convencional – NBR 14479:2000;
- Determinação das propriedades físicas em folhas formadas em laboratório – NBR 14527:2002.

## MATERIALS AND METHOD

*The used pulp was a bleached industrial eucalyptus kraft pulp. For the refining, the pulp was manually tear up, slushed and homogenized, all in the same chest. Traditional main steps of a pulp testing procedure are:*

- *Pulp defibering in water;*
- *Pulp refining in a laboratory-scale refiner;*
- *Tests for the determination of pulp characteristics (for instance: drainability, or freeness);*
- *Sheets preparation;*
- *Sheets pressing and drying;*
- *Sheets conditioning in standard temperature and moisture conditions;*
- *Testing of sheets physical properties.*

*For this study the PFI mill was used, and the refining operation performed in conformity with the NBR 14345:1999 standard. For comparing the refining effects of the PFI mill and that of another more intensive refiner, a disc refiner was selected.*

*This refiner is a steady machine, simple in operation, equipped with two refining discs, one of which rotating and assembled on the main shaft rotating head, and the second one stationary, fastened to the sliding machine head. Housing of the machine accommodating the rotating set and sliding cover is cast iron made. The comparison was carried out through the single disc style refiner, equipped with disc fillings of 300 mm diameter having 3 mm bars width, 3 mm grooves width and bars angle of 5°. This disc pattern is the best suited for the short fiber pulps refining. The refiner was coupled to a speed variable gear and set up in a pulp refining circuit.*

*Stock feeding was made through a stock centrifugal pump, with constant flow and rotating speed. Refining was performed with constant pulp flow through the equipment, collecting samples at defined intervals at the pulp discharge on the chest. The constant flow regime was of 5 m<sup>3</sup>/h.*

*Following this sequence for evaluating the refining process of the two types of refiners, first thing was to turn out the drainage resistance (freeness) test by the Schopper-Riegler device; the sheets formation and the physical characteristics of the sheets. Methods adopted for the pulp were:*

- *Laboratory refining – PFI method – NBR 14345:1999;*
- *Laboratory wet defibering – NBR 14030:1998;*
- *Drainage resistance (freeness) by the Schopper-Riegler device – NBR 14031:1998;*
- *Laboratory sheets formation for physical testing – Conventional method – NBR 14479:2000;*
- *Determination of physical properties of the laboratory formed sheets – NBR 14527:2002.*

As folhas formadas foram condicionadas a  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 2)\%$  de umidade relativa, previamente à determinação das suas propriedades físicas. Para avaliar o efeito do refino em moinho PFI e no refinador de discos foram tiradas fotografias da superfície de algumas das folhas com o auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca JEOL, modelo JSM 5200, no modo SEI (*secondary electron image*) e em aumentos de 350 e 1000 vezes. As amostras foram preparadas através de recobrimento com fina camada de material condutor, no caso, ouro, no equipamento marca JEOL, modelo JFC – 1100 (*ion sputter*). As fotos foram obtidas no Laboratório de Equipamentos Mecânicos e Estruturas do Centro de Integridade de Estruturas e Equipamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

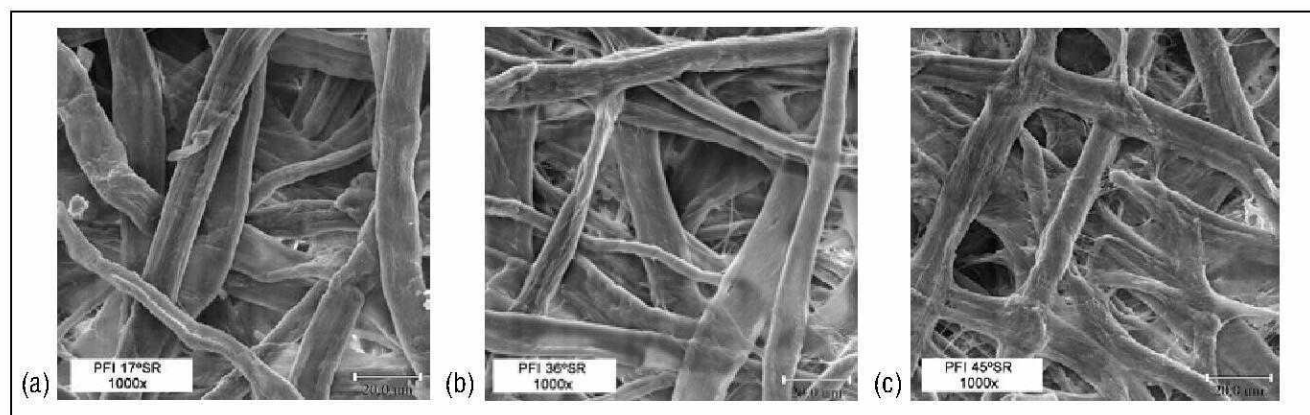
### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentadas fotografias da superfície de folhas de laboratório tiradas mediante microscópio eletrônico de varredura, para alguns pontos de refinamentos com moinho PFI e refinador de discos. Comparando as micrografias das Figuras 1 e 2 note-se que o moinho PFI produz fibras com maior fibrilação interna, ou seja, com maior conformidade, devido ao aumento de sua flexibilidade. Mesmo em grau de refino

*Laboratory formed sheets were conditioned at  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  and  $(50 \pm 2)\%$  relative moisture, previous to the determination of their physical characteristics. For the evaluation of the PFI mill and disc refiners' effects, pictures of some sheets surface were taken with a scanning electron microscope (SEM), JEOL manufacturing, model JSM 5200, expressed as secondary electron image (SEI) and with amplification of  $\times 350$  and  $\times 1000$ . Samples preparation consisted in its coating with a very thin conductive layer, gold in this case, in the JEOL equipment, model JFC-1100 (ion sputter). Pictures were taken at the Structure and Mechanic Equipments Laboratory of the Technological Equipments and Structure Integrity Center; of the Technological Research Institute of The State of São Paulo (IPT).*

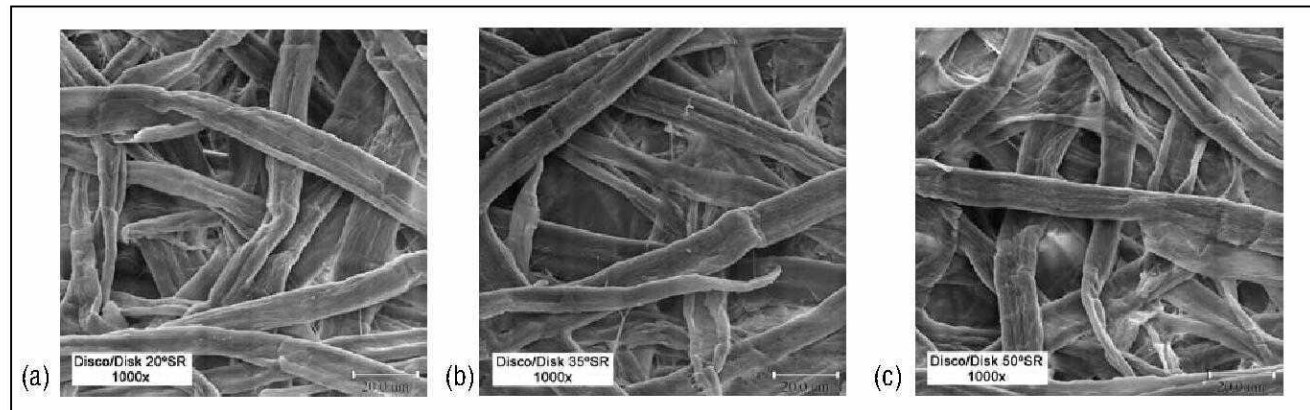
### RESULTS AND DISCUSSION

*Pictures of sheets surfaces taken with the scanning electron microscope, and referred to some refining points of both the PFI mill and the disc refiner, are thereafter presented. Comparing micrographs shown in Figures 1 and 2, it comes out that the PFI mill produces fiber with higher internal fibrillation, i.e., with higher conformability due to its increased flexibility. Even at a freeness value of  $50^\circ\text{SR}$ ,*



**Figura 1.** Micrografias ( $\times 1000$ ) de fibras refinadas com moinho PFI: (a)  $17^\circ\text{SR}$ ; (b)  $36^\circ\text{SR}$ ; (c)  $45^\circ\text{SR}$

**Figure 1.** Micrographs ( $\times 1000$ ) of PFI mill processed fibers: (a)  $17^\circ\text{SR}$ ; (b)  $36^\circ\text{SR}$ ; (c)  $45^\circ\text{SR}$



**Figura 2.** Micrografias ( $\times 1000$ ) de fibras refinadas com refinador de discos: (a)  $20^\circ\text{SR}$ ; (b)  $35^\circ\text{SR}$ ; (c)  $50^\circ\text{SR}$ .

**Figure 2.** Micrographs ( $\times 1000$ ) of disc refiner processed fibers: (a)  $20^\circ\text{SR}$ ; (b)  $35^\circ\text{SR}$ ; (c)  $50^\circ\text{SR}$

de 50°SR, as fibras refinadas em discos apresentam-se menos colapsadas, mas com maior grau de torção (*fiber curl*). Mohlin, Molin e Puisseau (2003) afirmam que o refino em laboratório causa um “endireitamento” das fibras. Nas medições de *zero-span* o “endireitamento” das fibras causa aumento nos valores obtidos tanto para as medições a seco quanto a úmido. Para se medir a resistência da fibra com o teste *zero-span* é sugerido que o ensaio seja realizado em folhas formadas a partir de fibras “endireitadas”, por exemplo, após refino em moinho PFI por 4 000 rotações. Portanto, as micrografias concordam com esta afirmação, apresentando fibras mais alinhadas para o PFI e mais “curvadas” para o refinador de discos.

De uma maneira geral, pode-se perceber que os resultados possuem valores maiores para os índices de rasgo, tração, arrebatamento e para a permeância ao ar, Gurley. Para o volume específico e a opacidade, o refinador de discos apresenta valores maiores. Isto indica que o moinho PFI produz folhas mais resistentes, mas o refinador tipo discos apresenta mais corpo, ou *bulk*. Kerekes (2002) obteve para uma polpa kraft de fibra longa branqueada, na comparação entre o PFI e o refinador Escher-Wyss, resultados semelhantes. Antes de comparar os efeitos produzidos por refinadores diferentes deve-se ter em mente que as lâminas dos discos e o tempo de residência nos refinadores podem ter grande influência nos resultados.

Stoere, Nazhad e Kerekes (2001) explicam que, para moinho PFI e refinador Escher-Wyss, esta diferença de resultados é explicada pela diferença do efeito destes sobre as fibras. O PFI causa maior fibrilação interna que o refinador de disco, ao passo que este apresenta maior fibrilação externa que o PFI. A fibrilação interna aumenta a flexibilidade. Esta informação explicaria o menor volume específico para o caso do PFI.

Os resultados das propriedades físicas do refino estão de acordo com as observações realizadas para as micrografias. As propriedades de resistência da polpa obtida por refino em refinador de discos apresentam valores menores, devido, provavelmente, ao formato mais tubular das suas fibras.

O PFI é um refinador de baixa intensidade, possui cerca de um décimo da intensidade de refino de refinadores industriais. Um valor representativo da intensidade de refino para o refinador PFI apresentado por Kerekes (2002) é de  $S = 1$  kJ/kg/impacto e para os refinadores industriais a intensidade é da ordem de 10 a 50 kJ/kg/impacto, para polpas celulósicas de fibra longa.

Para Seth (1999), enquanto a energia específica de refino em um moinho PFI é muito alta, a intensidade do tratamento é menor do que é praticado em refinadores industriais. Em estudos com o refinador Escher-Wyss (EW), os resultados obtidos por Seth (1999) mostram que aumento na densidade do papel ou diminuição no coeficiente de espalhamento da luz ao longo da curva de refino é um índice do aumento da área de ligação entre as fibras. Em um dado valor de energia

*disc refined fibers show a less collapsed form, but a more heavily curled (twisted) shape. Mohlin, Molin and Puisseau (2003) assert that laboratory refining is to cause a certain straightening to the fibers. In zero-span fiber testing, the straightening effect brings about increased values in dry and in wet testing conditions. For the measurement of the fiber strength through the zero-span testing, it is suggested to perform the assay on sheets composed by straightened fibers, for instance, fibers after a 4000 rpm PFI mill refining. Thus, micrographs agreed with this assertion, presenting more straightened fibers by the PFI mill and more curled fibers by the disc refiner.*

*In general, it can be perceived that results hold higher values if accounting for tearing index, tensile strength, bursting and the Gurley air permeance. As per specific bulk volume and opacity, disc refining offers higher values. This is to point out that the PFI mill gives raise to more resistant sheets, but the disc refiner produces a better bulk. Kerekes (2002) attained, for a long fibers bleached kraft pulp, when comparing the PFI mill with the Escher-Wyss refiner, similar results. Before comparing effects obtained from different refiners it is to remember that refiner disc bars and pulp residence time in refiner do play a significant influence on results.*

*Stoere, Nazhad and Kerekes (2001) explain that, for the PFI mill and the Escher-Wyss refiner, this diversity in results is given by the difference in effects they have caused to the fibers. PFI produces an internal fibrillation higher than that of the disc refiner, while this last one produces higher external fibrillation. Internal fibrillation increases flexibility. This information could enlighten the lower specific bulk volume in the PFI case.*

*Results of physical characteristics set off by the refining are in agreement with the micrographs observations. The strength characteristics of the pulp obtained from the disc refining presents lower values, probably due to the more tubular shape of its fibers.*

*The PFI mill is a low intensity refiner, with just about one tenth of the commercial refining intensity. A representative value of the PFI mill refining intensity issued by Kerekes (2002) point out an impact of  $S = 1$  kJ/kg, and for industrial refiners the impact intensity, for long fibers pulp, is in the order of 10 to 50 kJ/kg.*

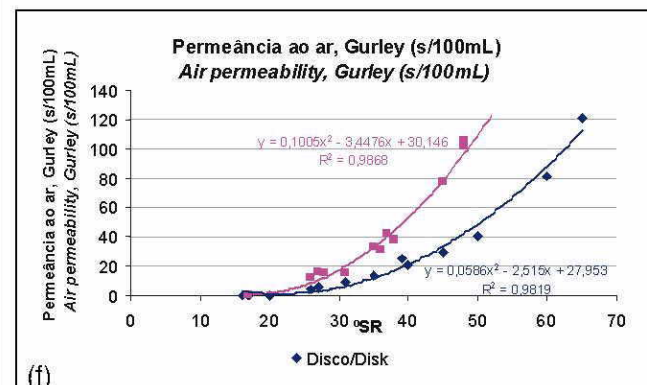
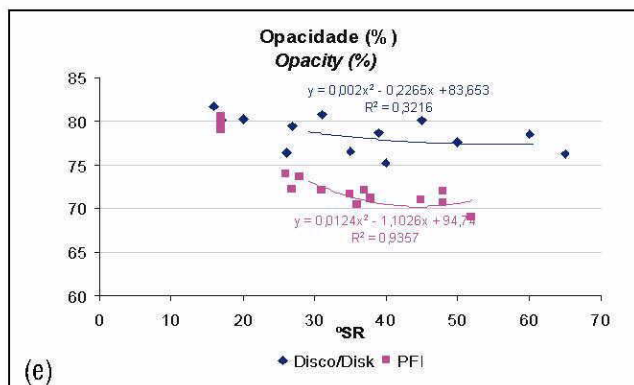
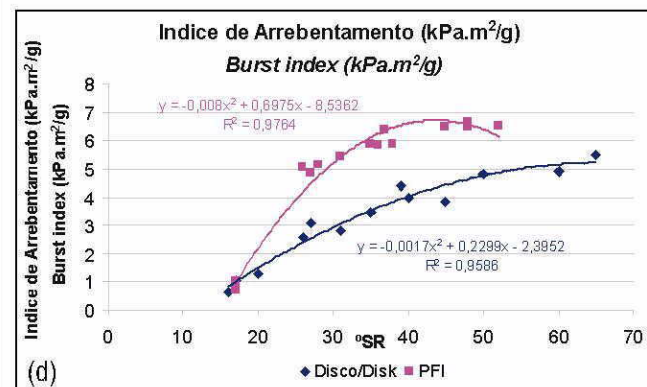
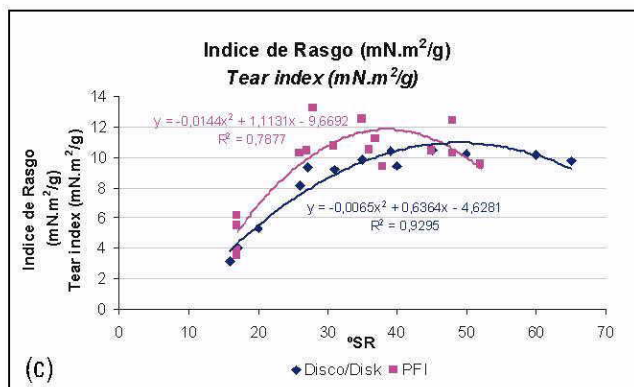
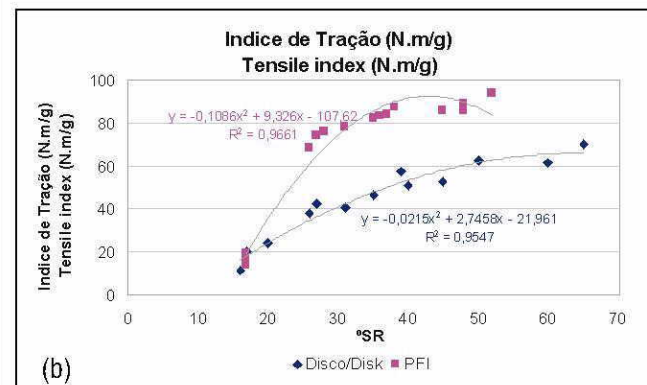
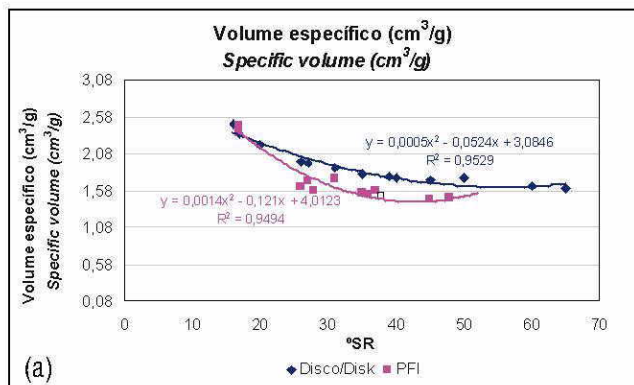
*According to Seth (1999), whereas the specific refining energy in a PFI mill is very high, the treatment intensity is lower than the one performed in industrial refiners. In studies carried out with the Escher-Wyss refiner (EW), results attained by Seth (1999) show that an increase in paper density or a decrease in light scattering coefficient alongside the refining curve is an indication of increased bonding area among fibers. At a given specific energy*

específica, o coeficiente de espalhamento de luz é maior para valores maiores de energia específica. Logo, as fibras refinadas em refinadores que aplicam alta intensidade formam folhas com menos ligações entre as fibras. Seth (1999), em seus estudos, também utilizou um moinho PFI, que apresentou folhas com melhor ligação entre as fibras.

Uma possível explicação para estes resultados seria que, com menor intensidade de refino, as fibras sofrem um maior número de impactos, que são mais suaves. Assim, o tratamento é homogêneo e as fibras apresentam maior fibrilação interna e, conseqüentemente, maior conformidade, gerando papéis com maior resistência e menor opacidade. Em refinadores de maior intensidade de refino, o tratamento é heterogêneo e as fibras recebem menor número de impactos, mas cada impacto é mais forte.

value, the light scattering coefficient is higher for higher specific energy values. Therefore, fibers refined in equipments applying high intensity generate sheets with less interfiber bonding. Seth (1999) in his studies also made use of a PFI mill, which turned out sheets with better interfiber bonding.

A reasonable explanation for the mentioned results could be that with a lesser refining intensity fibers go through a higher number of impacts, which are milder. Thus, there is a homogeneous treatment, with fibers holding better internal fibrillation and, as a result, better conformance, which generates paper with higher strength and lower opacity. In refiners with higher refining intensity, treatment comes out heterogeneous and fibers go through a lower number of impacts, but much heavier.



**Figura 3.** Comparação entre o efeito do refino em moinho PFI e em refinador de discos  
**Figure 3.** Comparison between refining effect in a PFI mill and in a disc refiner

Para auxiliar no entendimento dos efeitos dos refinamentos na polpa celulósica, realizou-se a análise das fibras para ambos os refinamentos, em quatro pontos distintos. Estes resultados estão em acordo com as discussões realizadas acima. Apesar de não se poder quantificar a diferença entre os efeitos dos refinadores, pode-se afirmar qualitativamente que, como esperado, o moinho PFI apresentou fibras com comprimento médio maior, pois o refinador de discos, que tem intensidade de refino maior, possui tratamento mais agressivo, causando a diminuição do comprimento médio das fibras. Em relação ao *coarseness*, ou seja, a massa de fibras por unidade de comprimento, observa-se que o refinador de discos produz fibras com menor *coarseness* devido à fibrilação externa, que causa o arrancamento das camadas externas das fibras. O PFI com menor intensidade de refino produz fibras com maior fibrilação interna.

Os gráficos da Figura 3 mostram que o moinho PFI produz polpas celulósicas com maior resistência, mas com menor *bulk* e menor opacidade que as pastas refinadas em refinador de discos, para um dado grau de refino ( $^{\circ}\text{SR}$ ), o que concorda com as conclusões de Kerekes (2005).

Em Kerekes (2005), é comparado o efeito do refino em moinho PFI e em refinador Escher-Wyss (EW) em uma polpa celulósica kraft de fibra longa branqueada. Inicialmente, foi considerada uma comparação de pares de propriedades, como resistência à tração em um dado *freeness*. Neste caso, a pasta refinada em moinho PFI apresenta maior resistência em um dado *freeness*. No entanto, Kerekes (2005) mostra que os resultados são reversos quando comparados na mesma energia. Em nível de energia específica comum, o refinador EW produz uma polpa com maior resistência que um moinho PFI. Este fato é também verdadeiro para refinadores industriais. A resistência ao rasgo após o refino no EW diminui em grau mais acentuado

*To assist the understanding of refining effects on pulp, analysis of fibers from both the refining treatments at four different points of the treatment curve was performed. These results are in agreement with the exposition on the theme made above. Although impossible to quantify the difference between refiners effect, it comes out qualitatively possible to say that, as expected, the PFI mill produced fibers with better length average, since the disc refiner, running heavier refining intensity, exerts a harder treatment, giving raise to a lower fibers length average. With relation to coarseness, i.e., fiber mass per unit of length, it comes out that disc refiner yields fibers with lower coarseness due to the external fibrillation, which is cause of the fibers external layer pull out. The PFI with less refining intensity generate fibers with superior internal fibrillation.*

*Graphs of Figure 3 put evidence on the fact that the PFI mill produces pulp with superior strength, but with lesser bulk and opacity than pulps treated in disc refiner, for a certain degree of freeness ( $^{\circ}\text{SR}$ ), condition in agreement with Kerekes' (2005) conclusions.*

*In Kerekes' (2005) paper, refining effects of a PFI mill and of an Escher-Wyss (EW) refiner on a long fibers bleached kraft pulp are compared. At first, a comparison of pairs of sheets properties, as tensile strength at a defined freeness, was considered. In this case, PFI refined pulp detains, at a defined freeness, higher strength. However, Kerekes (2005) put on view that results are the reverse when compared at the same energy level. At an equal specific energy, the EW refiner yields a pulp with higher strength than the PFI mill. This is also factual about industrial refiners. Tear strength after the EW*

**Tabela 1:** Resultados da análise de fibras para o refino em moinho PFI e em refinador de discos

**Table 1.** Fibers analysis results for the refining in a PFI mill and in a disc refiner

Refinador <i>Refiner</i>	$^{\circ}\text{SR}$	Comprimento médio das fibras (mm) <i>Average fiber length (mm)</i>	Coarseness (mg/100m)	Número de fibras por grama ( $10^6/\text{g}$ ) <i>Number of fibers per gram (<math>10^6/\text{g}</math>)</i>
PFI	17	0,71	8,53	19,72
	26	0,71	9,14	19,75
	36	0,73	8,87	20,15
	45	0,70	8,67	20,99
Discos <i>Disc</i>	26	0,69	8,18	22,23
	35	0,68	7,87	23,33
	40	0,68	8,11	23,26
	50	0,65	7,45	26,07



à mesma energia. As diferenças entre as comparações baseadas no *freeness* e na energia são explicadas, em parte, pela mudança significativamente maior em *freeness* produzida pelo refinador EW em uma dada energia.

Mais recentemente Lossada, Formento e Maximino (2006) mostraram um estudo do efeito da velocidade de cisalhamento entre o rotor e a panela de um refinador PFI nas propriedades físicas de folhas formadas em laboratório. Neste estudo com polpa celulósica branqueada de pinus, a velocidade de deslizamento entre o rotor e a panela foi variada para 6 m/s e 12 m/s, enquanto os demais parâmetros foram mantidos constantes. Resumindo as conclusões obtidas, tem-se que maiores níveis de velocidade de cisalhamento parecem aumentar alguns efeitos indesejáveis inerentes às forças de cisalhamento no refino como, por exemplo, menor drenabilidade, comprimento de fibra, capacidade de ligação, resistência da fibra e maior geração de finos.

## CONCLUSÕES

Os trabalhos de Kerekes (2005) e Lossada, Formento e Maximino (2006) procuram entender melhor a ação de refino dos refinadores PFI. Estes trabalhos apontam que a ação de refino do PFI é diferente daquela dos refinadores industriais de discos.

Assim, os resultados dos ensaios físicos em folhas formadas a partir de polpas celulósicas refinadas em moinho PFI não podem ser usadas diretamente para análise de polpas celulósicas de refinadores industriais.

Apesar das ações de refino de um refinador serem diferente de outro, pode-se obter curvas como as levantadas na Figura 3, com as quais cada laboratório pode fazer comparação entre o moinho PFI e seus refinadores industriais. A partir destas curvas os laboratórios podem, por exemplo, com um novo ponto de refino em moinho PFI, estimar a resposta da pasta celulósica no refinador industrial, considerando que as características das pastas celulósicas utilizadas sejam similares. Assim, pode-se estimar o grau de refino necessário para atingir uma propriedade física determinada realizando apenas um refino em moinho PFI.

Contudo, os dados apresentados neste trabalho não podem ser generalizados para qualquer moinho PFI. Cada laboratório deve realizar a comparação em seus próprios equipamentos, já que a diferença entre as condições de operação de cada moinho PFI é grande.

Realizada a caracterização da ação de refino dos refinadores, os laboratórios podem então obter as características em termos de energia de seus refinadores e, assim, obter uma estimativa para ajustes do controle de seus refinadores industriais. ▲

*refining decreases in a more pronounced way at same energy application. Differences between comparisons based on freeness and energy are partially explained by the more intensive freeness change induced by the EW refiner at a defined energy level.*

*More recently, Lossada, Formento and Maximino (2006) issued a study related to the shearing effect of the speed between rotor and bowl of the PFI mill on physical characteristics of laboratory formed sheets. In this study, carried out with pinus bleached pulp, the slipping speed between rotor and bowl was set to 6 m/s and 12 m/s, whereas remainder parameters were kept constant. Putting conclusions in short words, results were that the higher shearing speed levels seem to increase some undesirable effects related to shearing forces in refining, as, for instance, lower drainability, fiber length, bonding ability, fiber strength, and a higher fines formation.*

## CONCLUSIONS

*Kereke (2005) and Lossada, Formento and Maximino's (2006) works seek for a better understanding of the PFI mills refining action. These works assert that the PFI refining action differs from that of the industrial disc refiners.*

*Therefore, results of physical tests performed on sheets formed with PFI mills refined pulps cannot be used as a direct reference for the analysis of industrial refined pulps.*

*Despite the fact that the refining action is singular to each refiner, curves as those shown in figure 3 can be worked out, and through them laboratories can make the due comparison between the PFI mill and its industrial refiners. With the assistance of this curves, laboratories will be able, for instance, with a new PFI refining point, to assess the response of a pulp from an industrial refiner, admitted be similar the pulp characteristics. Hence, the needed refining degree for attaining a defined physical characteristic can be estimated by means of just one PFI refining trial.*

*However, data presented in this paper are not to be generalized to every PFI mill. Each laboratory is to perform the comparison with its own equipments, since differences in operating conditions of different PFI mill are critical.*

*After the characterization of the refining action has been done, laboratories can thereby attain information about energy of their refiners and, in such way, achieve assessment for the tuning of their refiners control.* ▲

## REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. Bovin, A. (1978). *Laboratory beating in paper pulp characterization*. Svensk Papperstid., 11 359-364.
2. Cowan, W.F. (1995a). *Explaining handsheet tensile and tear in terms of fiber-quality numbers*. Tappi Journal, 78 (1) 101-106.
3. Cowan, W.F. (1995b). *High-shear laboratory beating and fiber-quality testing offer new insights into pulp evaluation*. Tappi Journal, 78 (3) 133-137.
4. Ebeling, K.; Balac, J-P. (1966). *High Consistency Refining*. Paperi ja Puu, Specialnummer 4a, 121-123; 125-128.
5. Ghosh, A.K. (2002). *Use of a pilot refiner and screening system to improve stock quality*. Appita Journal, 55 (2) 112-117, 122.
6. Hughes, F.P. (1970). *A Comparison of the performance of the Valley and PFI laboratory Beaters*, Pulp and Paper Magazine of Canada, 71 (16).
7. Keays, J.L.; McDowell, P.F.; Hatton, J.V. (1977). *Single-point procedure for PFI-mill evaluation of softwood kraft pulps*. Tappi Journal, 60 (6) 81-83.
8. Kerekes, R.J. (2005). *Characterizing refining action in PFI mills*. Tappi Journal, 4 (3) 9-14.
9. Kerekes, R.J. (2002). *Characterizing refining action in PFI mills*. Tappi Paper Summit.
10. Kerekes, R.J.; Clara, M.; Dharni, S.; Martinez, M. (1993). *Application of the C-factor to characterize pulp refiners*. Journal of Pulp and Paper Science, 19 (3).
11. Lossada, A.A., Formento, J.C., Maximino, M.G., (2006). *Efecto de la velocidad de cizallamiento en el refinado de pulpa química*. In: –IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel – CIADICYP 2006, Santiago y Valdivia, Chile, Anais.
12. Mohlin, U-B; Molin, U.; Puisseau, M.W. (2003). *Some aspects of using zero-span tensile index as a measure of fiber strength*. In: International Paper Physics Conference, Victoria Bc, Canadá, Anais.
13. Seth, R.S. (1999). *Beating and refining response of some reinforcement pulps*. Tappi Journal, 82 (3) 147-155.
14. Stoere, P.; Nazhad, M.; Kerekes, R. (2001). *An Experimental study of the effect of refining on paper formation*. Tappi Journal Peer Reviewed Paper, 84 (7).
15. Welch, L.V.; Kerekes, R.J. (1994). *Characterization of the PFI mill by the C-factor*. Appita Journal, 47 (5) 387-390.
16. Yasumura, P.K. (2006). *Avaliação de propriedades físicas de pastas celulósicas refinadas em moinho PFI*. In: –IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel – CIADICYP 2006, Santiago y Valdivia, Chile, Anais.