

Efeito da secagem no potencial papeleiro de pastas kraft de eucalipto – uma experiência industrial

The effect of drying on the papermaking potential of eucalyptus kraft pulps - an industrial experiment

Autores: M. Graça Carvalho¹, João R. Fernandes¹, Luís A. Ferreira¹, Carlos A. Van Zeller², João Pinho Ferreira², Paulo J. T. Ferreira¹

Palavras-chave: Pastas kraft de eucalipto, secagem industrial, propriedades papeleiras

RESUMO

O objectivo deste trabalho foi o de estudar, à escala industrial, a influência da secagem nas propriedades de pastas kraft de *Eucalyptus globulus*, avaliando igualmente o reflexo da modificação de algumas variáveis de cozimento nessas propriedades. Para o efeito, foram realizados cozimentos num digestor industrial manipulando algumas das condições de operação, os quais permitiram, por isso, obter um conjunto de pastas kraft com propriedades distintas. Estas foram depois submetidas ao mesmo processo de branqueamento e de secagem. O trabalho experimental envolveu a comparação das características das pastas cruas com as das pastas acabadas, analisando-se assim o efeito conjunto do branqueamento e da secagem, bem como a comparação das características das pastas branqueadas com as das

Abstract

This work aims at studying, in a pulp mill, the influence of the drying stage on the properties of Eucalyptus globulus kraft pulps. In addition, the effect of the variation of some cooking parameters on these properties is also evaluated. For that, kraft pulps with different characteristics were produced in a continuous pulp digester by changing some cooking operating conditions. All these pulps were subsequently bleached and dried in identical process conditions. The effect of both bleaching and drying, together, was assessed by comparing the unbleached and the dried pulps, whereas the effect of drying alone was assessed by comparing the bleached pulps before and after the drying stage. The dried pulps were beaten in a PFI laboratory mill, at distinct beating degrees, and handsheets were prepared and tested against the most common physical, mechanical and optical ISO standards, in order to evaluate their papermaking potential. The results reveal that the differences between the unbleached pulps, originated by the distinct cooking conditions, are moderately attenuated after bleaching and much reduced after drying. This operation also causes the decrease of the mechanical resistances and the increase of the bulk and of the light scattering ability of the corresponding handsheets.

Keywords: Eucalyptus kraft pulps, industrial drying, papermaking properties.

Referências dos autores:

¹Departamento de Engenharia Química, Universidade de Coimbra, Pólo II, Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra, Portugal
Tel:(+351) 239798700. Fax:(+351) 239798703. mgc@eq.uc.pt

²StoraEnso Celbi, Leirosa, 3081-853 Figueira da Foz, Portugal Tel:(+351) 233955600.

pastas acabadas, para estudar apenas a influência da secagem. Para a caracterização das pastas foram preparadas folhas laboratoriais com distribuição isotrópica de fibras, a diferentes níveis de refinação. Os resultados obtidos permitem concluir que as diferenças existentes entre as várias pastas cruas são atenuadas com o branqueamento e a secagem, sendo porém esta última operação a que mais contribui para suprimir a variabilidade encontrada nas pastas cruas e resultante das alterações processuais no cozimento. Além disso, confirmou-se que, com a secagem, ocorre uma diminuição das resistências mecânicas das folhas de pasta, que se tornam menos densas e com maior capacidade de dispersar a luz.

INTRODUÇÃO

É conhecido o efeito crucial da matéria-prima na aptidão papelreira de pastas celulósicas. Contudo, esta aptidão depende também do processo de obtenção das pastas, o qual confere às fibras características distintas que definem e influenciam a aplicabilidade das mesmas na produção dos diversos tipos de papéis. Adicionalmente, a alteração das condições operatórias nas várias etapas do processo pode ser também uma fonte de variabilidade na qualidade papelreira dos papéis produzidos.

Uma das etapas determinantes para a qualidade das pastas de mercado é a secagem. De fato, após a formação da folha e a subsequente prensagem, existe ainda uma quantidade significativa de água retida na matriz fibrosa, a qual deve ser removida até se atingirem níveis de secura de cerca de 10%. Essa água encontra-se na forma de “água ligada”, quando se estabelecem ligações por pontes de hidrogénio entre a molécula de água e os grupos hidroxilo e carboxilo presentes à superfície, na parede e nos poros das fibras, e também na forma de “água livre”, quando está adsorvida à superfície das fibras ou retida por forças capilares nos poros e no lúmen (Salmén e Berthold 1997). A

remoção da água, sobretudo da que se encontra no interior das fibras, só é possível, em tempo útil, por secagem com energia térmica. Este processo, todavia, acentua as alterações irreversíveis na estrutura das fibras e, conseqüentemente, na sua aptidão papelreira, que ocorrem com a remoção de água, mesmo por secagem livre (Zhang *et al.* 2004, Juppi e Kaihovirta 2003, Weise 1998, Oksanen *et al.* 1997, Clark 1985, Lindström e Carlsson 1982). Essas alterações, às quais se associa o termo de “*hornification*”, explicam as diferenças acentuadas entre as propriedades estruturais, ópticas e de resistência mecânica dos papéis produzidos a partir de pastas de mercado (secas e posteriormente remolhadas) e dos papéis produzidos a partir de pastas em suspensão (pastas nunca secas).

PARTE EXPERIMENTAL

Neste estudo foram utilizados dois conjuntos de pastas *kraft* industriais de *E. globulus*: o conjunto 1, constituído por 8 pastas (P11 a P18) analisadas antes do branqueamento (pasta crua) e após a secagem (pasta acabada); o conjunto 2, constituído por 5 pastas (P21 a P25) analisadas antes e após a secagem (pasta branqueada e pasta acabada, respectivamente). As diferentes pastas correspondem a ensaios efetuados em diferentes condições do processo de cozimento *kraft* industrial, designadamente em termos de perfil de carga alcalina ao longo do digestor, consistência da pasta à saída e distribuição de caudais de lavagem e ainda para a obtenção de diferentes níveis de índice kappa. Após a estabilização das condições operatórias, recolheram-se amostras de 3 em 3 horas, durante vinte e quatro horas, de forma a obter amostras compostas. As pastas cruas e branqueadas foram ainda sujeitas a uma lavagem final em laboratório. As pastas acabadas, retiradas aleatoriamente de fardos de pasta seca, foram desintegradas de acordo com procedimentos padrão. Com o intuito

de analisar a influência das diferentes condições de cozimento e do processo de secagem na aptidão papelreira da pasta produzida, foram preparadas em laboratório folhas retangulares com distribuição isotrópica das fibras (ISO 5269/1), a diferentes níveis de refinação (0, 1500 e 2500 revoluções, num refinador PFI laboratorial), nas quais se mediram as propriedades ópticas, estruturais e de resistência mecânica mais freqüentemente utilizadas para quantificar as características de uso final do papel. Foi também efetuada a caracterização morfológica das fibras (largura, comprimento, espessura, curvatura, *coarseness* e teor de finos) e química da pasta (viscosidade intrínseca, índice kappa, metais, extrativos, cinzas, teor de ácidos hexenurónicos e teor de lignina na pasta crua). A gramagem situou-se nos 65 ± 2 g/m², quando medida em ambiente condicionado (humidade relativa de $50 \pm 2\%$ e temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$). Tendo em conta o número de provetes necessários para a realização de todos os ensaios físicos, incluindo as repetições, fizeram-se, pelo menos, 36 folhas de cada pasta analisada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das 8 pastas do conjunto 1 (P11 a P18), submetidas ao mesmo processo de branqueamento e de secagem, permite avaliar o efeito simultâneo do branqueamento e da secagem. Já a análise das 5 pastas do conjunto 2 (P21 a P25), sujeitas às mesmas condições de secagem, permite estudar a influência isolada desta operação.

Pastas do conjunto 1 - caracterização química das pastas não refinadas. A alteração das condições de cozimento permitiu obter pastas com diferentes índices kappa como se pode verificar na Figura 1A. Na mesma figura encontra-se representado o índice kappa corrigido (indicador do teor de lignina), uma vez que os ácidos hexenurónicos (HexA), resultantes da degradação dos ácidos urónicos presentes

originalmente nas xilanas, também consomem permanganato de potássio contribuindo para o valor do índice kappa: $IK(\text{corrigido}) = IK(\text{experimental}) - 0,09 \times \text{HexA}(\text{mmol/kg})$ (Pedroso e Carvalho 2003). A semelhança das duas distribuições indicia que a variabilidade entre os ensaios se deveu fundamentalmente a alterações no teor de lignina residual. De fato, a variação do teor de HexA não foi significativa para a maioria dos ensaios, como se pode constatar na Figura 1B. Esta figura mostra também que os HexA são, na sua maioria, consumidos durante o branqueamento. Na verdade, tal como os extrativos e a lignina, estes ácidos levam a um maior consumo de alguns

reagentes de branqueamento – no caso, o dióxido de cloro – e podem aumentar a reversão de brancura. O mesmo acontece com as cinzas – Figura 2A –, sendo de referir que, na pasta crua, o seu teor está correlacionado com o teor de casca nas aparas de madeira alimentadas ao digestor – Figura 2B. O efeito do branqueamento na remoção dos extrativos é mais modesto – Figura 2A –, não sendo clara a relação do seu teor na pasta crua com a percentagem de casca – Figura 2B. Quanto aos metais de transição, que prejudicam a ação de branqueamento de certos reagentes, como o peróxido de hidrogênio usado na sequência fabril, e potenciam a reversão de brancura nas pastas com ele-

vada afinidade, pode observar-se na Figura 3 que a remoção do manganês é quase total, enquanto a remoção do ferro, mais inacessível, é pouco efectiva. O cálcio, que tem o inconveniente de originar incrustações no equipamento, também é extensamente removido.

Na Figura 4 estão representados os valores da viscosidade intrínseca das diferentes pastas, antes do branqueamento e após a secagem, normalizados relativamente à pasta crua de referência (P11). A viscosidade das pastas diminui ao longo do processo, sendo de realçar que, de um modo geral, a relação entre a viscosidade das pastas cruas se mantém nas pastas acabadas (as curvas seguem a mesma tendência).

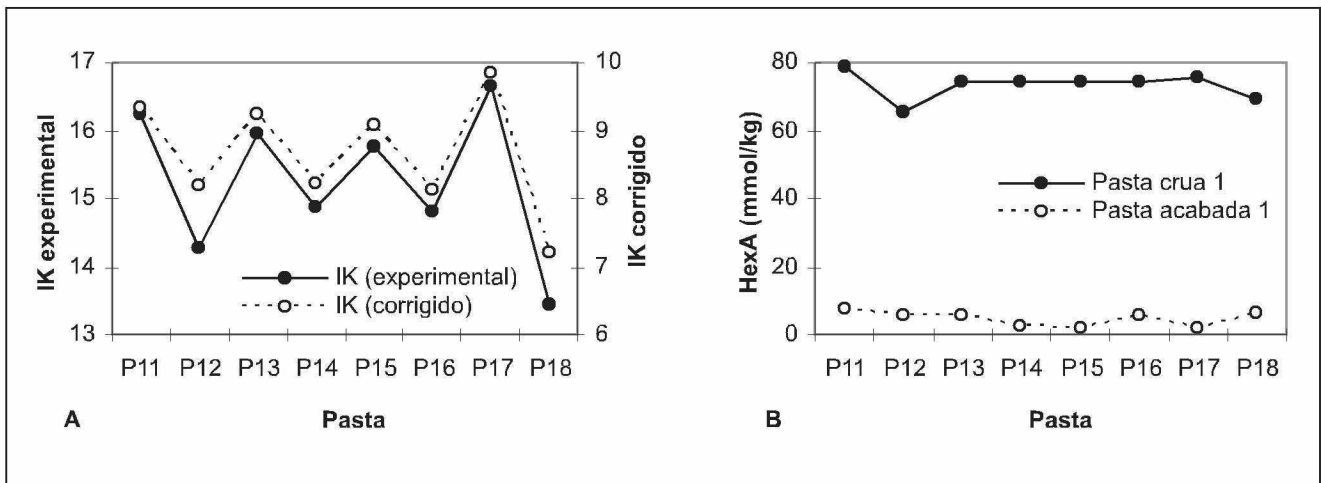


Figura 1 – Caracterização química das pastas do conjunto 1 não refinadas: índice kappa (experimental e corrigido) das pastas cruas (A) e teor de ácidos hexenurónicos (HexA) nas pastas cruas e acabadas (B).

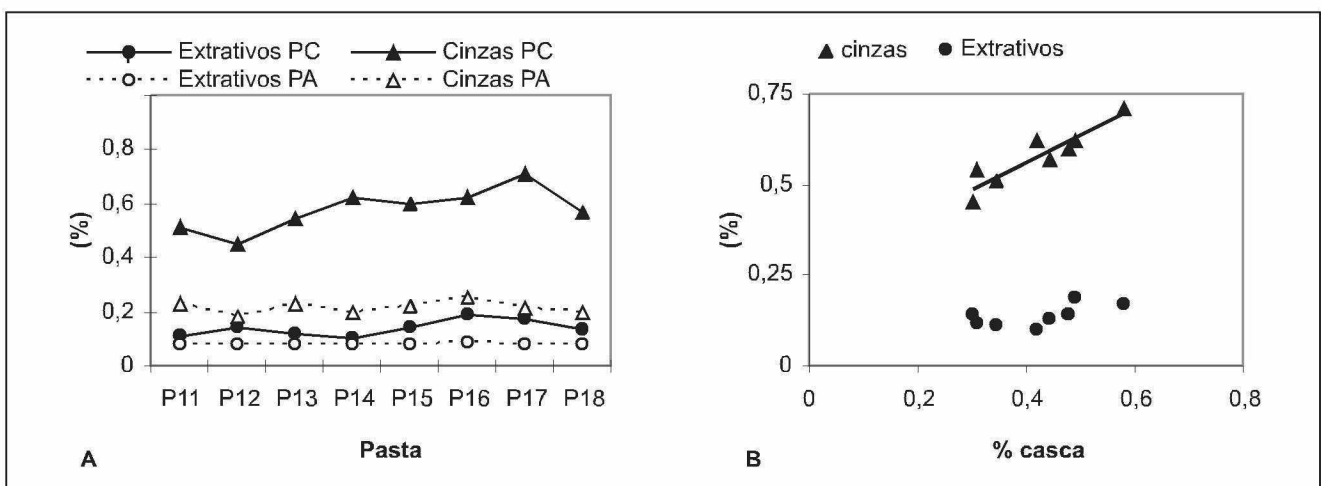


Figura 2 – A: Teores de extrativos e cinzas das pastas cruas (PC) e acabadas (PA) do conjunto 1; B: relação entre os teores de cinzas e de extrativos e a percentagem de casca nas aparas alimentadas ao digestor.

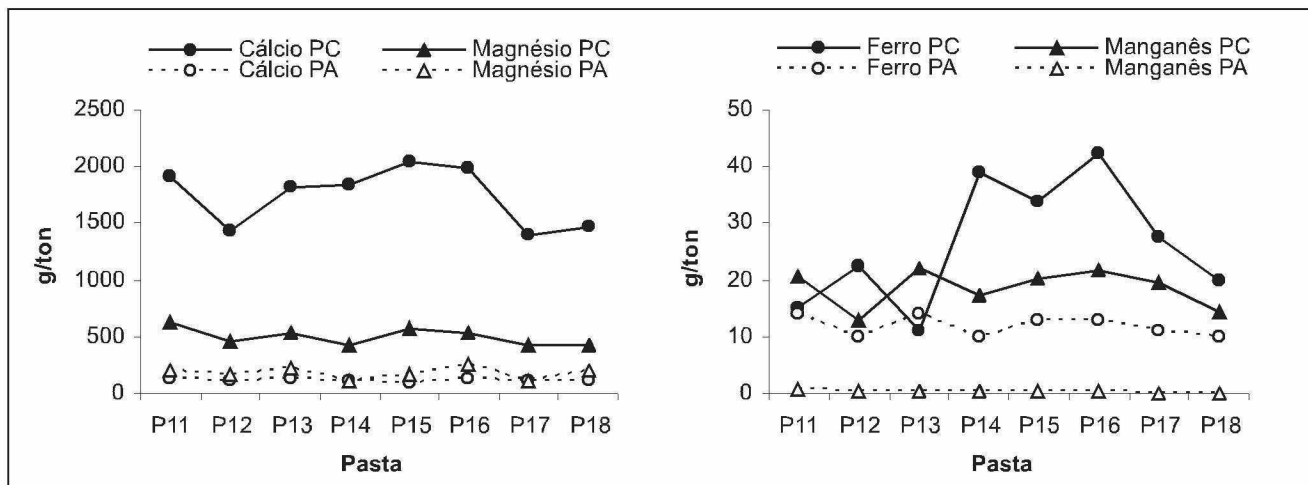


Figura 3 – Teor de metais presentes nas pastas cruas (PC) e acabadas (PA).

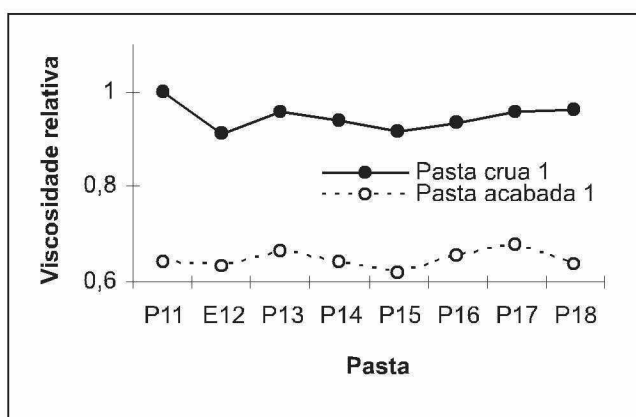


Figura 4 – Viscosidade intrínseca relativa das pastas do conjunto 1, cruas e acabadas, tendo como referência o valor da pasta P11 crua.

Pastas do conjunto 1 - avaliação do potencial papelero. As propriedades estruturais, ópticas e mecânicas foram avaliadas em pastas não refinadas e para dois níveis de refinação, 1500 e 2500 revoluções PFI. As curvas de refinação de algumas dessas propriedades estão apresentadas nas Figuras 5 a 8, nas quais os valores das propriedades representadas no eixo dos yy foram normalizados relativamente à pasta crua de referência não refinada (P11). Como se pode observar, as curvas seguem o padrão normal e nas pastas cruas são detectadas diferenças consideráveis que decorreram das alterações processuais no digestor fabril. (Pode adiantar-se, por exemplo, que a utilização de maior carga alcalina no digestor provocou uma menor refinabilidade da pasta crua.) Contudo, essas diferenças são atenuadas nas pastas acabadas correspondentes, que têm também uma menor refinabilidade, em concordância com os resultados de outros trabalhos (Weise 1998, Clark 1985). De fato, a secagem provoca uma perda irreversível da capacidade de absorção de água pelas fibras (*hornification*), a qual também dificulta a desagregação do material. Por isso, a refi-

nação nas gamas de energia utilizada não permite recuperar as características iniciais da suspensão de pasta. Assim, a resistência à tração e a resistência ao ar diminuem após a operação de secagem, sendo que, no caso da primeira, não se consegue sequer atingir os valores iniciais mesmo para os níveis de refinação mais elevados. Por sua vez, o CEDL aumenta, reflexo da menor capacidade das fibras para se ligarem, formando estruturas mais abertas.

Como as pastas do conjunto 1 permitem apenas uma análise dos efeitos conjugados do branqueamento e da secagem, optou-se por comparar, numa segunda fase, pastas antes e após a secagem (pastas do conjunto 2) para avaliar a influência da operação de secagem. Tal como para as pastas do conjunto 1, nos gráficos das Figuras 9 a 17 os valores das propriedades dos eixos dos yy estão normalizados relativamente à pasta branqueada de referência não refinada (P21).

Pastas do conjunto 2 - caracterização morfológica das fibras não refinadas. Dos resultados obtidos, e representados nas Figuras 9 e 10, verifica-se que ocorre uma perda evidente na espessura da parede da fibra com a secagem, enquanto o efeito na largura é mais modesto. Como consequência, e associado ao colapso do lúmen, a área da secção reta da fibra (CSA) diminui. Assim, estes resultados indicam que, após a secagem, a parede da fibra não adquire o mesmo grau de intumescimento que tinha antes desta operação, como referido noutros trabalhos (Weise e Paulapuro 1999, Weise 1998, Oksanen *et al.* 1997). Por sua vez, é também evidente a diminuição da curvatura da fibra com a secagem. Além disso, as diferenças observadas para os vários ensaios na pasta em suspensão são atenuadas após a secagem.

Pastas do conjunto 2 - caracterização química das pastas não refinadas. O efeito da secagem na viscosidade das pastas pode ser avaliado na Figura 11, na qual se con-

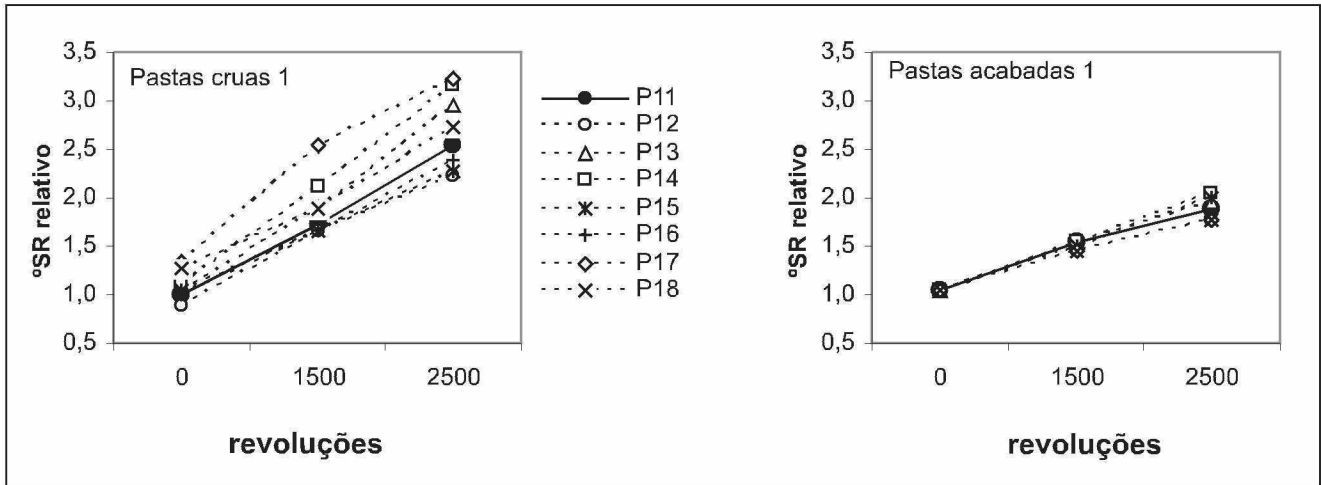


Figura 5 - Evolução do grau Schöpper-Riegler (°SR) relativo com o nível de refinação PFI, correspondente às pastas do conjunto 1, cruas e acabadas, tendo como referência o valor da pasta P11 crua não refinada.

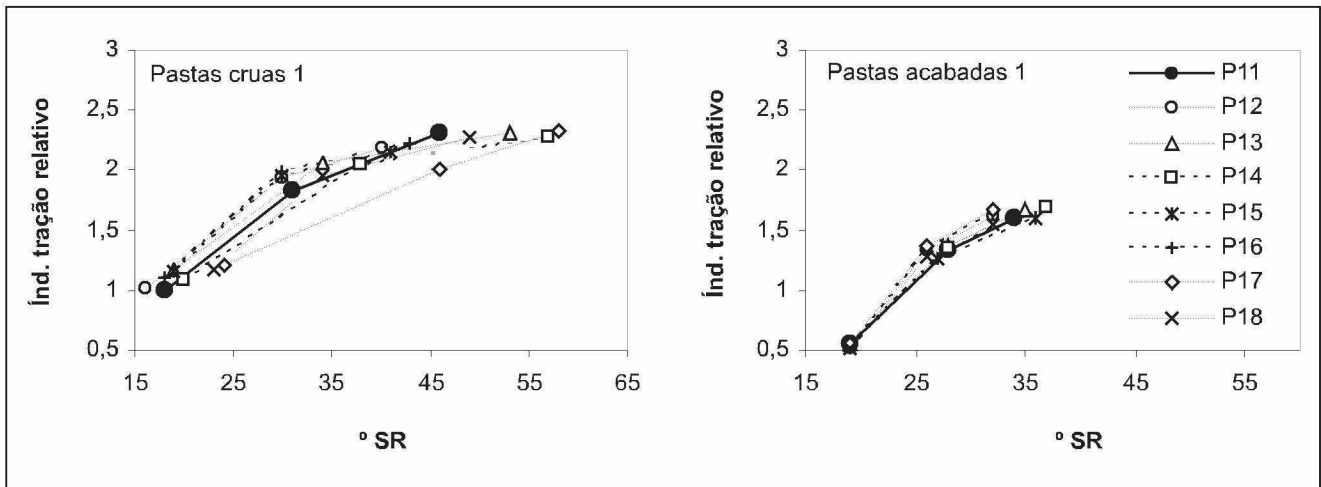


Figura 6 - Evolução com o °SR do Índice de tração relativo das pastas do conjunto 1, tendo como referência o valor da pasta P11 crua não refinada.

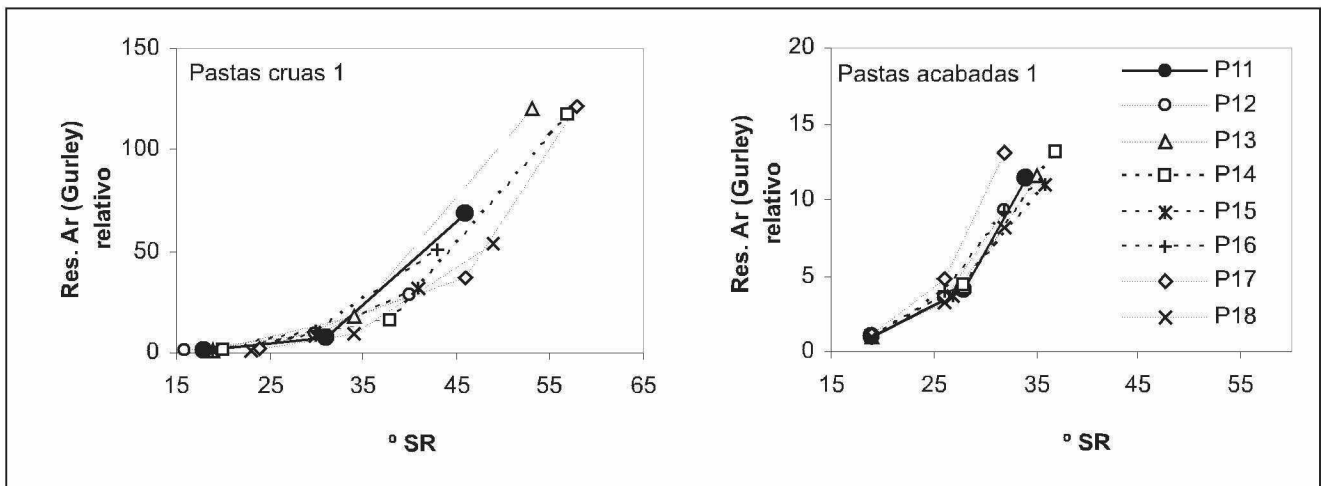


Figura 7 - Evolução com o °SR da Resistência ao ar (Gurley) relativa das pastas do conjunto 1, tendo como referência o valor da pasta P11 crua não refinada.

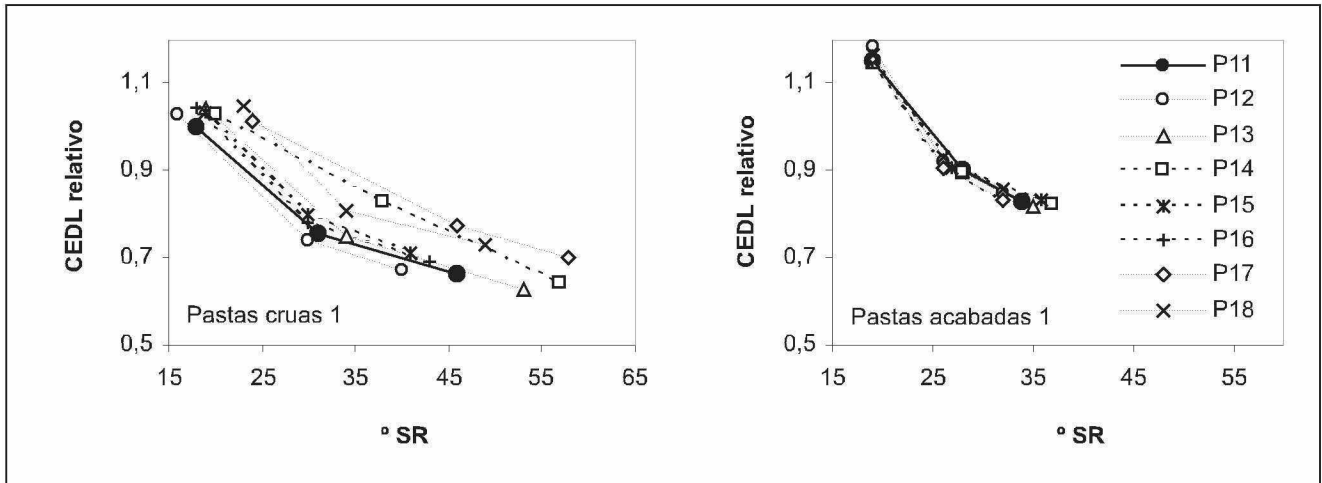


Figura 8 - Evolução com o °SR do Coeficiente Específico de Dispersão de Luz (CEDL) relativo das pastas do conjunto 1, tendo como referência o valor da pasta P11 crua não refinada.

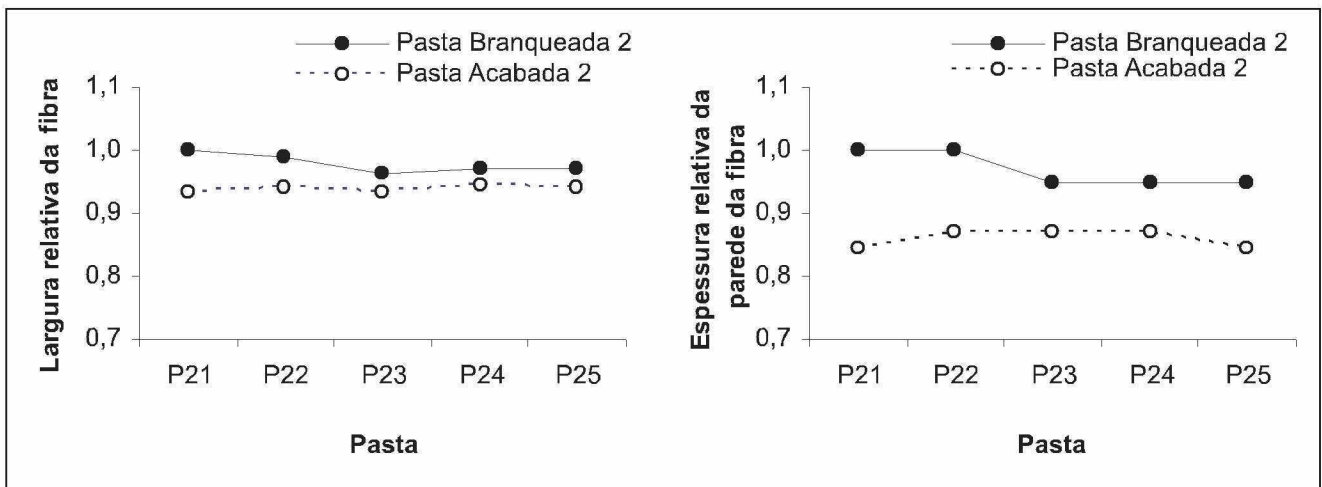


Figura 9 – Largura e espessura relativas da fibra nas pastas do conjunto 2 antes e após secagem, tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada.

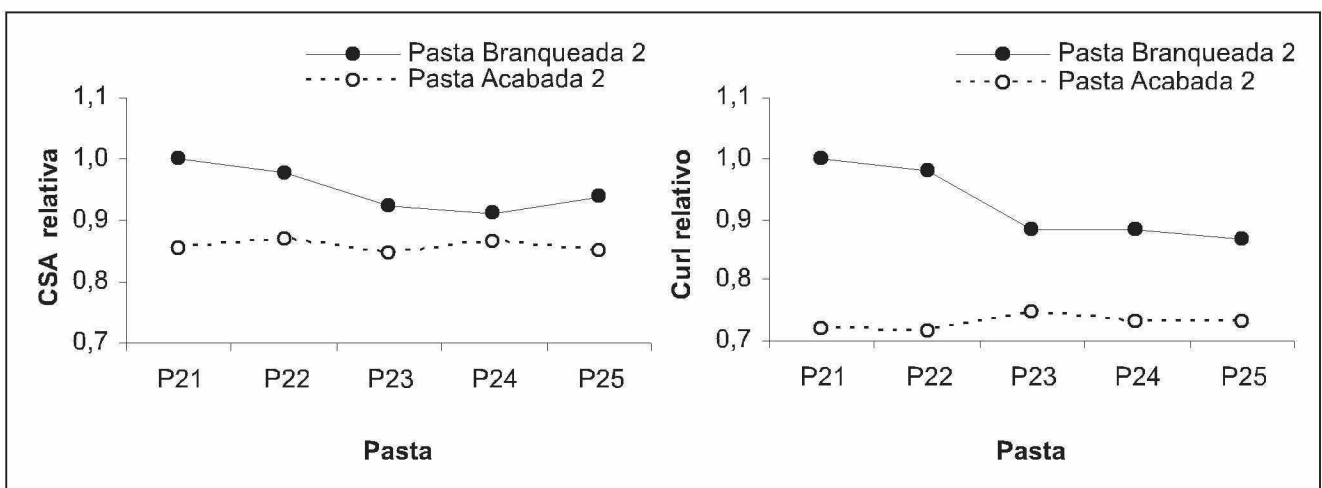


Figura 10 – Área da secção reta (CSA) e *curl* relativos das fibras nas pastas do conjunto 2 antes e após secagem, tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada.

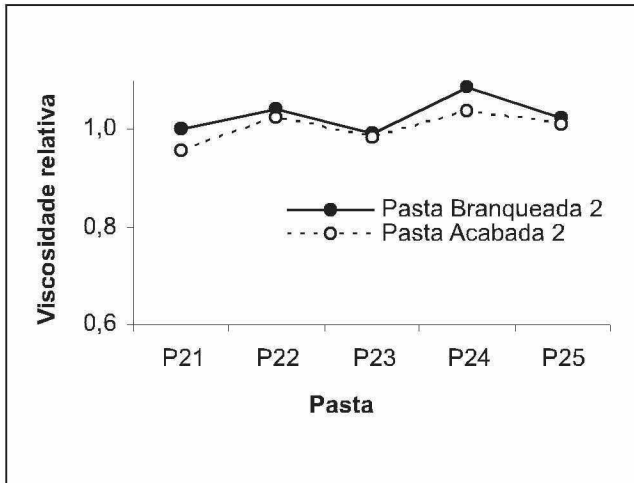


Figura 11 – Viscosidade intrínseca relativa das pastas do conjunto 2 antes e após secagem, tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada.

firma que, tal como para as pastas do conjunto 1 (Figura 4), as diferenças ao nível das condições de cozimento não se traduzem em diferentes respostas à secagem (as duas curvas seguem a mesma tendência). Por sua vez, comparando a Figura 11 com a Figura 4, constata-se que a redução da viscosidade, que ocorre desde o final do cozimento (pasta crua) até ao final do processo (pasta acabada), se deve essencialmente ao branqueamento, uma vez que, apenas com a secagem, essa redução é pouco relevante. De fato, o branqueamento provoca uma degradação significativa da celulose, enquanto a secagem apenas tornará mais difícil a solubilização das pastas.

**Pastas do conjunto 2 - avaliação do potencial pa-
peleiro.** No que diz respeito à drenabilidade (Figura 12) e à resistência à tração e ao ar (Figuras 13 e 14) das pastas do conjunto 2, verifica-se que os gráficos refe-

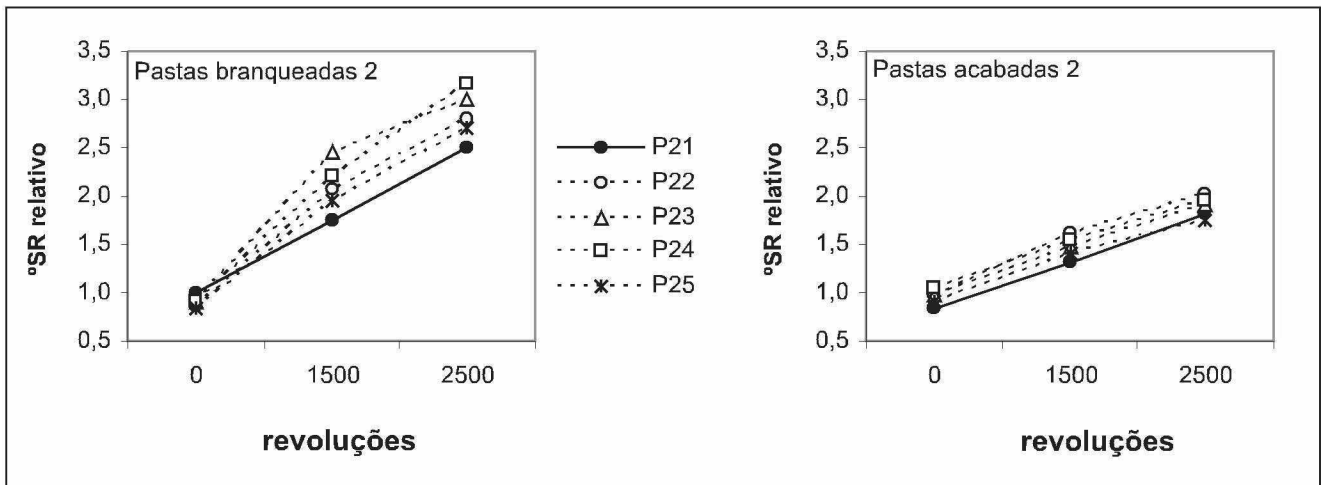


Figura 12 – Evolução do grau Schöpper-Riegler (°SR) relativo com o nível de refinação PFI, correspondente às pastas do conjunto 2 antes e após secagem, tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada não refinada.

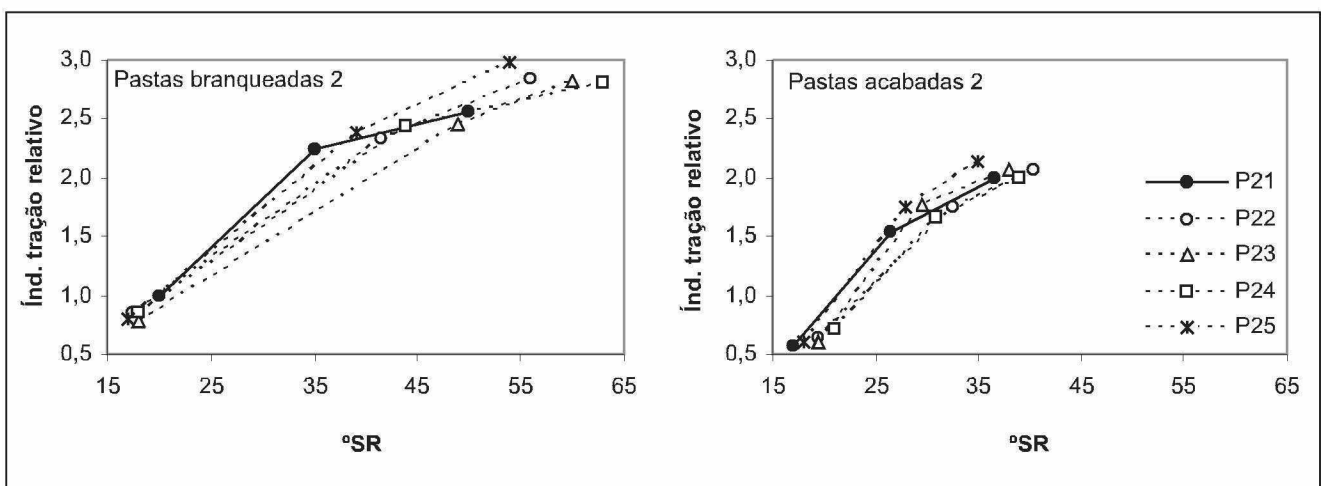


Figura 13 – Evolução com o °SR do Índice de tração relativo das pastas do conjunto 2, tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada não refinada.

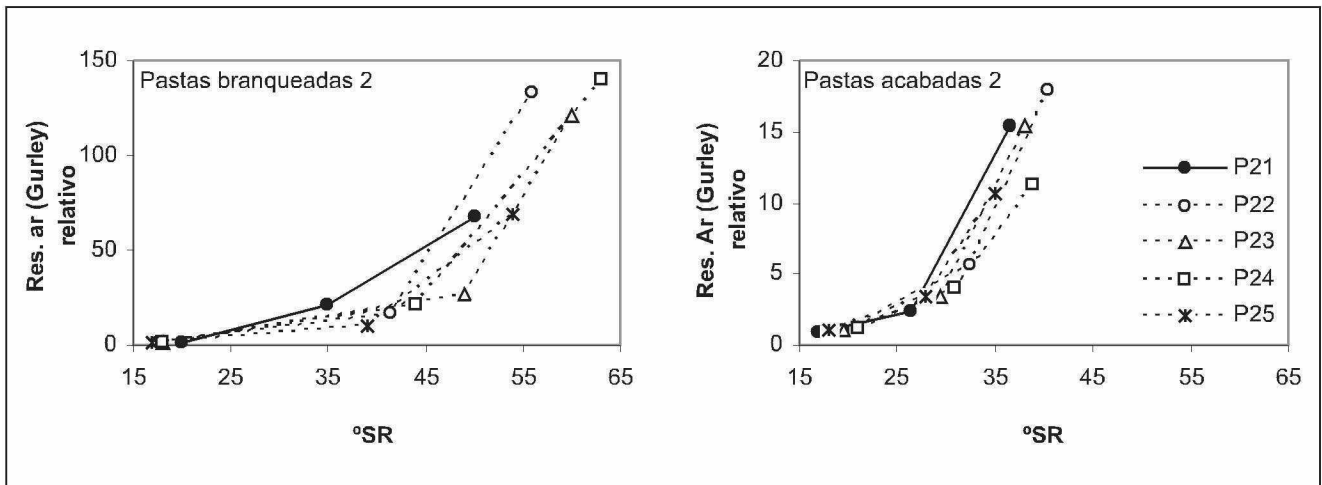


Figura 14 – Evolução com o °SR da Resistência ao ar (Gurley) relativa das pastas do conjunto 2, tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada não refinada.

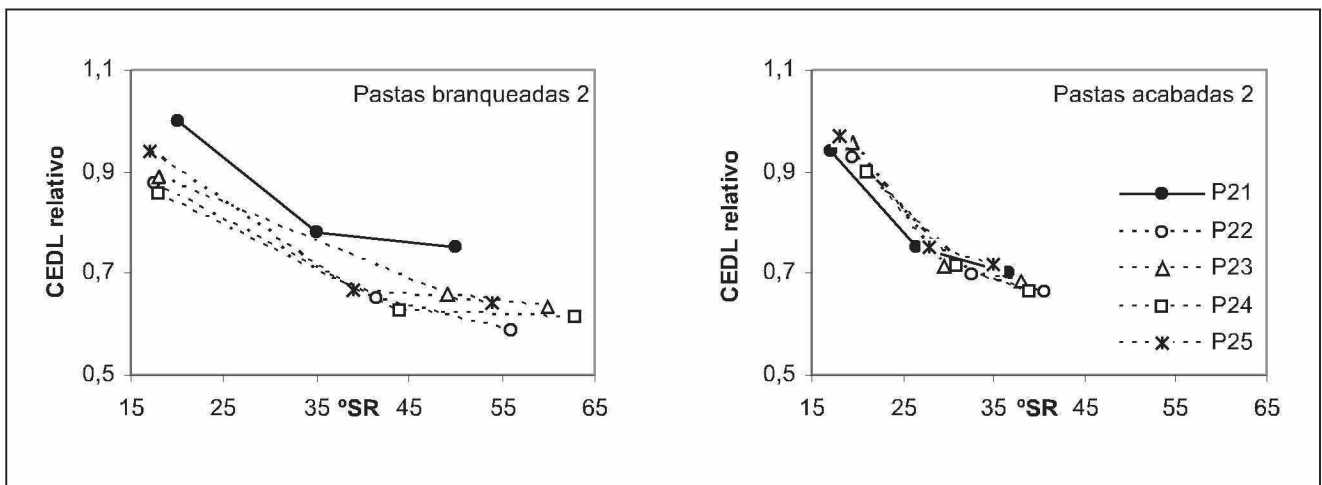


Figura 15 - Evolução com o °SR do Coeficiente Específico de Dispersão de Luz (CEDL) relativo das pastas do conjunto 2, tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada não refinada.

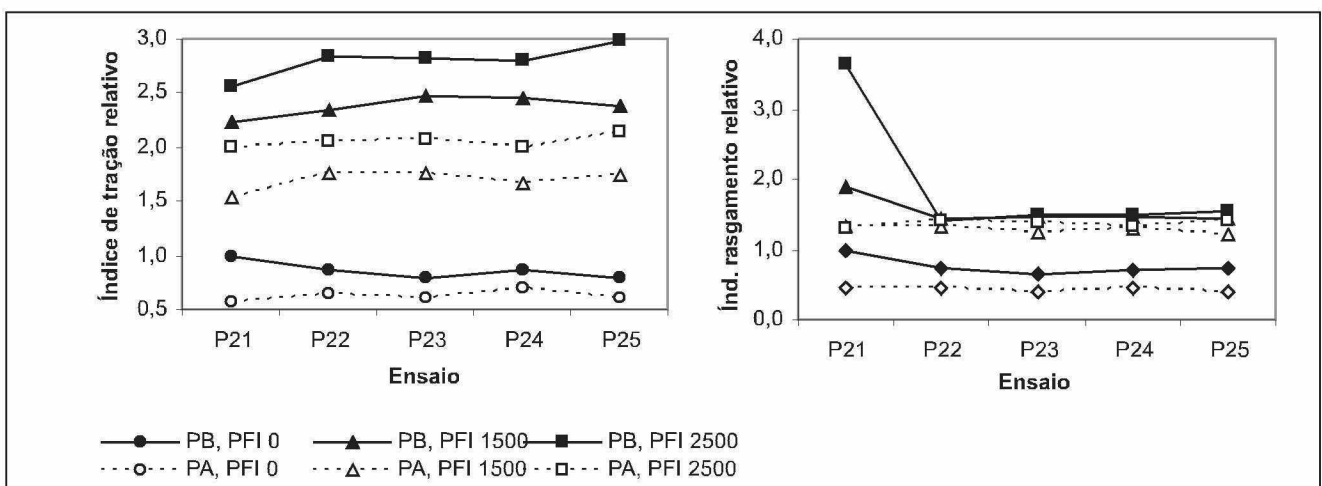


Figura 16 – Índices de tração e de rasgamento relativos das pastas do conjunto 2 (tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada não refinada).

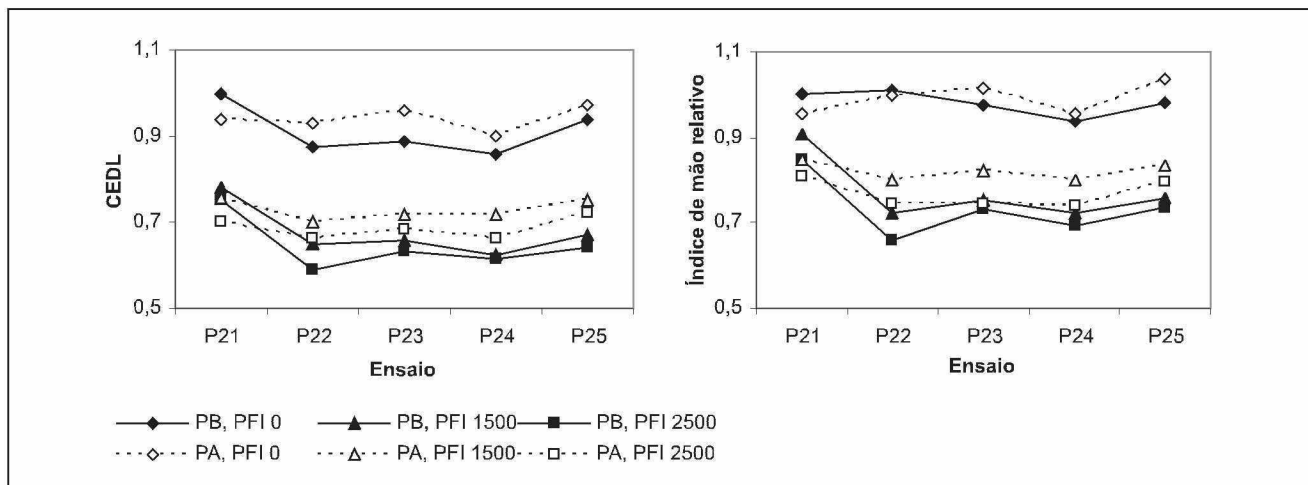


Figura 17 – CEDL e Índice de mão relativos das pastas do conjunto 2 (tendo como referência o valor da pasta P21 branqueada não refinada)

rentes às pastas antes da secagem (branqueadas) e após a secagem (acabadas) são semelhantes aos obtidos para as pastas do conjunto 1, respectivamente antes do branqueamento (cruas) e após a secagem (acabadas). Confrontando os resultados dos dois conjuntos de pastas, pode ainda concluir-se que o aumento da drenabilidade, a redução da resistência à tração e ao ar e a atenuação da variabilidade entre pastas, quando se comparam as pastas cruas com as pastas acabadas, são sobretudo devidos à secagem.

Nas Figuras 16 e 17 estão representados os valores de algumas das propriedades papelarias medidas nos três níveis de refinação estudados. Estas figuras tornam mais evidente que, com a secagem, a variabilidade entre as pastas sofre uma atenuação e que as resistências mecânicas também diminuem. Em conformidade, exceção a pasta P21, o índice de mão e o CEDL aumentam. O efeito acentuado da secagem na atenuação da variabilidade das pastas torna claro que as conclusões que resultam da comparação do potencial papelero de pastas laboratoriais devem ser extrapoladas com alguma reserva para pastas já submetidas a secagem industrial, como referido em outros estudos (Zhang *et al.* 2004).

CONCLUSÕES

Este trabalho incidiu no estudo da influência de algumas condições operatórias de um digestor industrial para produção de pasta *kraft* de eucalipto em determinados parâmetros de qualidade das pastas branqueadas. Adicionalmente, pretendeu-se avaliar a modificação das propriedades papelarias introduzida pela etapa de secagem. Para concretizar estes objectivos, foi realizado um conjunto de ensaios industriais onde se manipularam algumas variáveis processuais.

Deste trabalho concluiu-se que os caudais de lavagem, a distribuição de carga alcalina e a velocidade do raspador são fulcrais para a obtenção de pastas com boa aptidão papelaria, nomeadamente em termos de resistência à tração e volume específico. Os resultados obtidos permitem ainda concluir que as diferenças induzidas nas pastas cruas por alterações ao nível do processo de cozimento são atenuadas com o branqueamento e a secagem, sendo porém esta última operação a que mais contribui para suprimir essa variabilidade. Além disso, confirmou-se que, com a secagem, ocorre uma diminuição das resistências mecânicas das pastas e a formação de folhas com maior volume específico e maior CEDL. O efeito acentuado da secagem na atenuação da variabilidade das pas-

tas torna claro que as conclusões que resultam da comparação do potencial papelero de pastas laboratoriais devem ser extrapoladas com alguma reserva para pastas já submetidas a secagem industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLARK, J. d'A. (1985) «Pulp Technology and treatment for paper». 2nd ed, Miller Freeman Pub., San Francisco, USA.
- JUPPI, K., KAIHOVIRTA, J. (2003). *Pulp & Paper Canada*. **104**(5):T131-T134.
- LINDSTRÖM, T., CARLSSON, G. (1982). *Svensk papperst.* **85**:R146-R151.
- OKSANEN, T., BUCHERT, J., VIIKARI, L. (1997). *Holforschung* **51**(4):355-360.
- PEDROSO, A.I., CARVALHO, M.G. (2003). *J. Pulp Paper Sci.* **29**(5): 150 – 154.
- SALMÉN, L., BERTHOLD, J. (1997). Proc. 11th Fundamental Research Symp. Vol. 2:683-701.
- WEISE, U., PAULAPURO, H. (1999). *J. Pulp Paper Sci.* **25**(5): 163-166.
- WEISE, U. (1998). *Paperi ja Puu – Paper and Timber* **80**(2):110-115.
- ZHANG, G., KERÄNEN, J., NISKANEN, K. (2004). *Paperi ja Puu – Paper and Timber* **86**(3):164-168. ▲