

Influência do Teor de Finos nas Propriedades Papeleiras de Pasta Kraft de *Eucalyptus globulus*^(*)

Influence of fines content in the paper properties of Eucalyptus globulus kraft pulp

Influencia del contenido de finos en las propiedades papeleiras de pasta kraft de Eucalyptus globulus

Autores: Isabel Luís¹, Margarida Figueiredo², Alexandre Martins³, Graça Carvalho⁴

Palavras-chave: *Eucalyptus globulus*, finos, comprimento de fibras, propriedades papeleiras.

Resumo

O presente trabalho visa ao estudo da influência dos finos nas propriedades papeleiras de uma pasta kraft de eucalipto. Para tal, utilizou-se uma pasta branca comercial fracionada no classificador Bauer-McNett de diferentes formas, de modo a variar a quantidade de finos retida na pasta. Nas pastas obtidas, determinou-se o comprimento médio das fibras e o teor de finos e avaliou-se o desempenho papeleiro antes e após refinação (2000 revoluções PFI). A análise dos resultados obtidos, quando se variou o teor da fração de finos que passa a teia de 200 mesh (P200) ou o teor da que é retida nessa tela (R200), revelou que não só a quantidade, mas também o tamanho dos finos condicionam as propriedades papeleiras. Os finos P200 afetaram principalmente a drenabilidade e as propriedades estruturais e óticas, potencializando o efeito da refinação no que diz respeito ao CEDL e à resistência ao ar. A variação do teor dos finos R200, pelo contrário, não afeta as propriedades papeleiras, mas a sua presença é fundamental para o refino da pasta.

ABSTRACT

The aim of this work is to study the influence of the fraction of fines of the pulp on the handsheet properties of eucalypt kraft pulps. A fully bleached market pulp was screened in the Bauer-McNett fractionator, using different screening times in order to get different amounts of fines retained in the pulp. Fibre length, fines content and papermaking properties were evaluated before and after beating at 2000 rev PFI. The results indicate that not only the quantity of fines, but also their dimensions can influence the sheet properties depending on the amount that passes through or is retained at the 200 mesh screen (P200 and R200, respectively). The fraction P200 affects mainly the drainability and the structural and optical properties, and enhances the beating effect on the air permeability and light scattering properties of the sheet. Different contents of the R200 fraction in the pulp do not affect the sheet properties but strongly influence the pulp beatability.

Key-words: *Eucalyptus globulus*, pulp fines, fibre length, sheet properties.

REFERÊNCIAS DOS AUTORES:

* - Comunicação oral no XVIII Encontro Nacional da TECNICELPA, Figueira da Foz, Portugal, 2001.

¹ - Eng.^a Química, Estagiária da Dir. de Prod. Papel, Soporcel, e-mail: iluis@soporcel.pt

² - Prof. Catedrática, Dep.Eng. Química, Universidade Coimbra, e-mail: mmf@eq.uc.pt

³ - Engenheiro Químico, Master Eng., Consultor, e-mail: alexmartins@netc.pt

⁴ - Prof. Auxiliar, Dep.Eng. Química, Universidade de Coimbra, e-mail: mge@eq.uc.pt

Introdução

Na observação microscópica de uma suspensão de fibras de eucalipto podem identificar-se células de diferentes tamanhos, cuja distribuição numérica apresenta uma forma idêntica à da **figura 1**. Como se vê nesta figura, na gama de comprimentos inferiores a cerca de 200 μm aparece um pico na curva de distribuição que corresponde ao que se denomina genericamente de finos. Estes correspondem a células de parênquima, fibras cortadas ou curtas e pedaços de vasos e são provenientes da matéria-prima, do destroçamento da madeira e do processo de produção (cozimento e branqueamento).

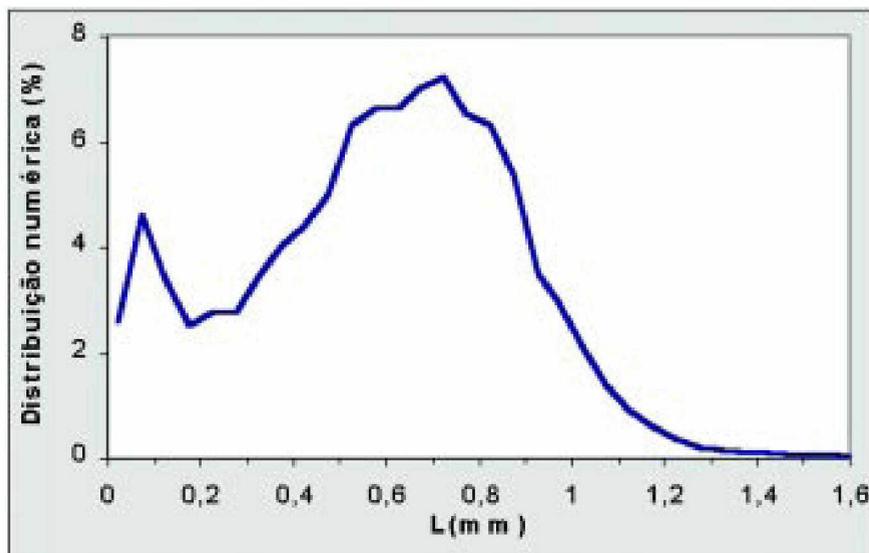


Figura 1 - Distribuição numérica de comprimentos de fibras de eucalipto (pasta branqueada comercial) – dados retirados de Carvalho et al. (1997)

Para além destes finos, designados por finos ‘primários’, as pastas refinadas apresentam ainda finos ‘secundários’, resultantes da ação de refinação sobre as fibras, e que são constituídos por fragmentos lamelares, extremidades de fibras e material fibrilar.

Esta diversidade de tamanhos forma a estrutura dos finos e torna difícil a sua definição, estando normalmente relacionada com o modo utilizado para a sua separação. Não obstante não haver consenso quanto à sua definição (segundo

alguns autores, é material fibroso que passa através do peneiro de 200 (ou 100) mesh; segundo outros, têm dimensões inferiores a 100 μm (Liu, et al., 2001; Paavilainen, 1990)), é reconhecido que os finos assumem uma especial importância na estrutura e nas propriedades físico-mecânicas da pasta e do papel (Ferreira et al., 2000; Carvalho et al., 1997; Karnis, 1995; Paavilainen, 1990; Giertz, 1980).

Os finos não se limitam a promover as ligações entre fibras, influenciando os índices de tração, arrebentamento e rasgo, mas também têm um efeito direto na densidade aparente, na opacidade e na permea-

zona úmida, influenciando também as propriedades mecânicas, óticas e estruturais do papel.

O presente trabalho tem por objetivo o estudo do teor e do tamanho dos finos nas propriedades de uma pasta comercial de eucalipto, produzida pelo processo *kraft* e branqueada com uma seqüência ECF. A metodologia seguida para concretizar estes objetivos envolveu a obtenção de pastas com diferentes teores de finos por fracionamento no classificador Bauer-McNett durante diferentes intervalos de tempo.

As pastas assim obtidas foram caracterizadas do ponto de vista biométrico, medido o seu teor de finos, tendo sido feitas folhas laboratoriais antes e após refinação, nas quais se avaliaram a drenabilidade e as principais propriedades papeleiras. De forma a tornar este estudo ainda mais completo, foram ainda estudadas pastas com diferentes teores de finos de maiores dimensões (*coarse fines* - Liu, et al., 2001), as quais foram igualmente testadas em termos de propriedades físico-mecânicas.

Procedimento Experimental

A pasta sobre a qual incidiu o presente estudo foi, conforme referido, uma pasta branca comercial, sob a forma de folhas, contendo fibras majoritariamente de *Eucalyptus globulus*. Após desintegração (ISO 5263), a suspensão de pasta foi diluída e sujeita a fracionamento no classificador Bauer-McNett, segundo a norma T233 cm-82, na qual se recomenda um tempo de operação de 20 minutos. Este equipamento é formado por quatro tanques dispostos em cascata, sendo a suspensão de pasta introduzida no primeiro e passando para os outros, através de peneiras, por ação da gravidade.

Para esse tipo de fibra, utilizaram-se as peneiras de 28, 48, 100 e 200 mesh, com as quais se obtêm respectivamente as frações R28, R48, R100 e R200 (R significa retidas), que são posteriormente recolhidas. A fração que passa na peneira de 200 mesh, denominada P200, não pode ser recuperada (é enviada diretamente para o esgoto), sendo a sua massa calculada por diferença. A fim de estudar o efeito das partículas menores, isto é, que passam na peneira de 200 mesh (fração P200), e na impossibilidade de as recolher, foram efetuadas separações durante 5, 10 e 20 minutos, no pressuposto de que um menor tempo de separação implica, em princípio, em uma maior quantidade da fração P200 retida na pasta.

No final do fracionamento, as diferentes frações de pasta foram misturadas (R28+R48+R100+R200), uma vez que não se pretendia propriamente "fracionar" a pasta, mas tão somente separar os finos. Para estudar, adicionalmente, a influência dos finos de maiores dimensões, manipulou-se o teor da fração R200 na mistura das frações obtidas após 20 minutos de separação, isto é, recolheram-se as frações (R28+R48+R100) ao fim de 20 minutos e adicionou-se a fração R200 em diferentes percentagens (0 a 8% m/m). (É de notar que estas pastas não continham a fração P200). As pastas resultantes dos fracionamentos anteriores, bem como a pasta comercial tal e qual (isto é, correspondendo a 0 minutos de separação no Bauer) foram sujeitas a nova desintegração (a 400 rpm) e divididas em dois lotes: um que sofreu refinação, a 2.000 revoluções num refinador laboratorial PFI (ISO 5264/2), e outro que foi usado como base de comparação.

Em ambos os casos, foram determinados o grau Schöpfer-Riegler (°SR, ISO 5267/1), tendo sido feitas folhas laboratoriais (ISO 5269/1-79). Estas foram, após secagem, condicio-

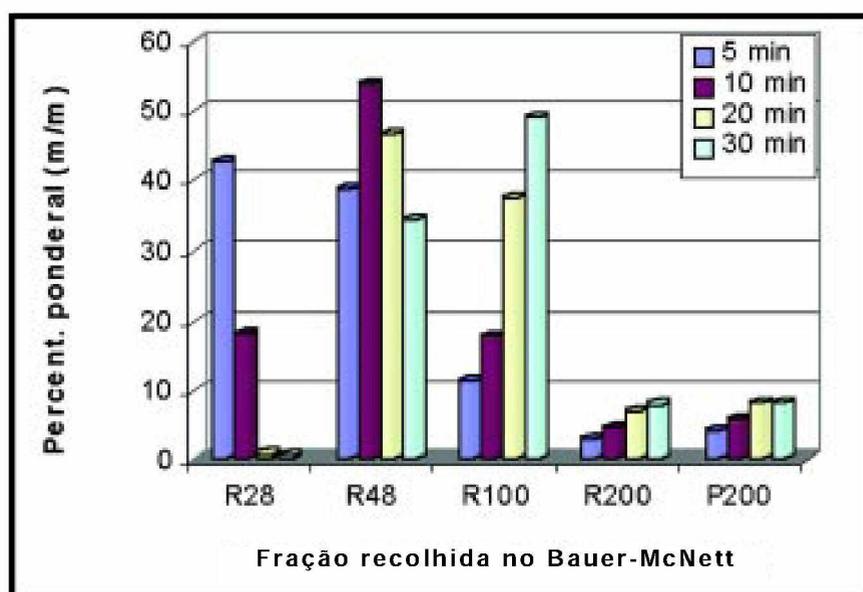


Figura 2 - Comparação entre as várias percentagens das frações obtidas com diferentes tempos de separação no Bauer-McNett

nadas e sujeitas a testes físico-mecânicos, designadamente ensaios de resistências à tração (ISO 1924/2), ao arrebentamento (ISO 2758) e ao rasgo (ISO 1924/6), óticos (C.E.D.L., ISO 2469) e de resistência ao ar Gurley (ISO 5636/5) e também foram ensaiadas para efeitos de comparação.

A fim de determinar o comprimento médio das fibras, as várias pastas foram analisadas no FQA (Fiber Quality Analyser). Este equipamento mede fibras com comprimentos até 10 mm, tendo-se considerado finos as fibras com comprimentos inferiores a 0,15 mm, cuja percentagem numérica foi igualmente medida.

Resultados e Discussão

Influência do tempo de separação nas percentagens das frações de pasta

A figura 2 apresenta a variação, com o tempo de separação no Bauer-McNett, das percentagens mássicas

das diversas frações. Como se constata nesta figura, estas percentagens variam consideravelmente com o tempo de separação, notando-se que a fração R28 diminui drasticamente nos primeiros 10 minutos (as fibras inicialmente na peneira de 28 mesh passam a ser retidas essencialmente nas peneiras de 48 e 100 mesh). As percentagens das partículas menores (quer a retida quer a que passa na peneira de 200 mesh, respectivamente R200 e P200) vão aumentando gradualmente com o tempo de operação (mesmo ao fim de 30 minutos não se atinge "estado estacionário"), embora varie pouco a partir dos 20 minutos. A grande maioria das fibras se distribui pelas frações R48 e R100. O aumento do tempo de operação para além do recomendado na norma, isto é, de 20 para 30 minutos, deu origem a uma redistribuição das

	Pasta Global	Fração após 20 min de separação				
		R28	R48	R100	R200	P200
Percentagem mássica (%)	100	0.77	46.6	37.5	6.9	8.2
L_L (mm)	0.71	----	0.89	0.72	0.45	0.20

Tabela 1 - Percentagens mássicas e comprimento médio pesado em comprimento (L_L) das frações de pasta obtidas após 20 minutos de fracionamento no Bauer-McNett

fibras nas peneiras intermediárias (R48 e R100) e apenas um ligeiro acréscimo nas quantidades de finos (R200 e P200).

A distribuição das fibras pelas várias frações, ao fim de 20 minutos, e o respectivo comprimento médio estão apresentados na **Tabela 1**. Como se pode ver nesta tabela, os finos P200 correspondem à cerca de 8% das fibras na pasta comercial e têm um comprimento médio pesado em comprimento de 200mm; no caso dos finos maiores (R200), estes valores correspondem a 7% e 450 mm, respectivamente. Como já foi mostrado por Carvalho *et al.* (1997), através de microscopia eletrônica, estes ‘finos maiores’, no caso de pastas *kraft* branqueadas de eucalipto, são constituídos por fibras majoritariamente colapsadas.

A **figura 3** mostra a distribuição numérica de comprimentos das referidas frações de pasta ($t=20$ min). Esta figura comprova que grande parte da fração P200 é constituída por partículas inferiores a 200mm e que as frações R48 e R100 têm distribuições relativamente estreitas e isentas de finos P200.

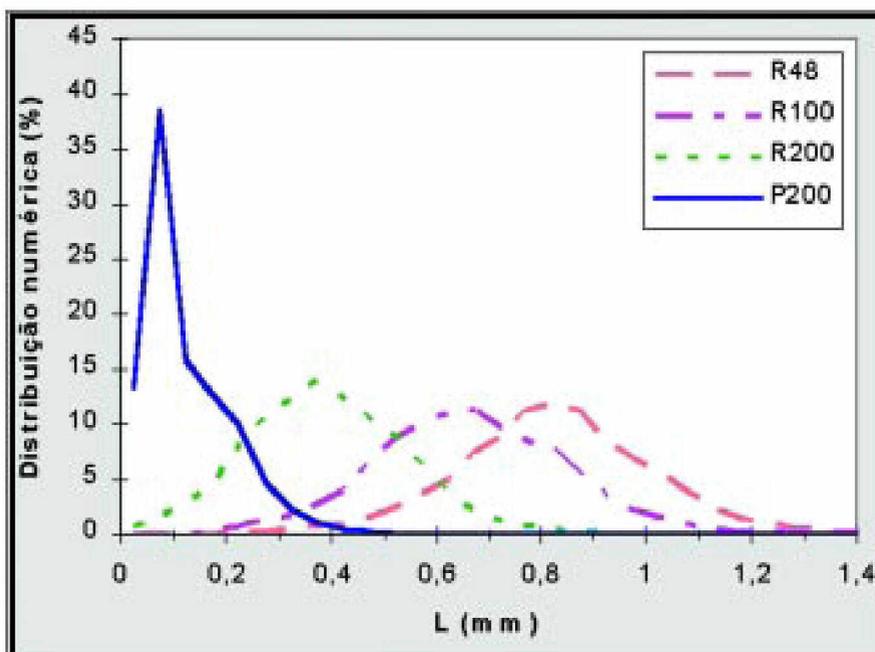


Figura 3 - Distribuição numérica de comprimentos das várias frações de pasta recolhidas ao fim de 20 minutos de separação no Bauer McNett

Tempo de separação no Bauer-McNett (min)	L_L (mm)		Percentagem numérica de finos <0.15mm (%)	
	Refinadas	Não Refinadas	Não Refinadas	Refinadas
0 (Global)	0.707	0.710	10.4	11.7
5	0.713	0.712	5.1	7.2
10	0.718	0.717	3.0	5.5
20	0.724	0.725	2.4	3.8

(*) os desvios-padrão são inferiores a 0.003 mm e 0.2%, respectivamente

Tabela 2 – Valores médios dos comprimentos das fibras (pesados em comprimento), L_L , das pastas não refinadas e refinadas e respectiva percentagem numérica de finos (<0.15mm)*

Influência do tempo de separação no comprimento médio das fibras e no teor de finos

Nas pastas com diferentes teores de finos P200 resultantes do fracionamento (recolha de R28+R48+R100+R200 ao fim de 5, 10 ou 20 minutos), determinou-se a distribuição de comprimentos das fibras, utilizando o FQA. Na **Tabela 2** encontram-se os valores médios dos tamanhos das fibras que compõem as pastas analisadas, bem como a percentagem de finos (<0,15mm), determinada no mesmo analisador, para os vários tempos de separação.

De um modo geral, verifica-se que, com o aumento do tempo de separação, o comprimento médio das fibras aumenta ligeiramente, e o teor de finos diminui significativamente, tanto nas pastas não refinadas como nas refinadas. A pequena variação em L_L deve-se, por um lado, ao fato de este ser um comprimento médio pesado em comprimento e, portanto, a fração de finos ser pouco relevante para o cálculo desta média, e, por outro, ao fato do limite mínimo do FQA, para efeitos de medição de comprimentos, ter sido de 0,15 mm.

A diminuição do teor de finos com o aumento do tempo de separação confirma a opção tomada de fazer variar este tempo para obter, de modo expedito, pastas com diferentes percentagens de finos. Como se vê, o teor de finos diminui 50% ao fim de 5 minutos de separação. No entanto, é de salientar que, mesmo ao fim de 20 minutos de separação no Bauer, a pasta retém ainda alguma quantidade de finos de dimensões inferiores a 0,15mm. O efeito da refinação manifesta-se, na **Tabela 2**, essencialmente no aumento do teor de finos: as pastas ‘ganham’ cerca de 2% de finos (secundários).

Influência do tempo de separação nas propriedades físico-mecânicas: efeito dos finos da fração P200

Uma vez obtidas pastas com diferentes teores de finos (fração P200), procedeu-se ao estudo da relevância destes no desempenho

papeleiro. Para tal, representou-se, na **figura 4**, a variação do grau Shopper-Riegler, do índice de mão, dos índices de tração e rasgo, bem como da resistência ao ar Gurley e do coeficiente específico de dispersão de luz (C.E.D.L.) com o tempo de separação no Bauer, tanto para as pastas refinadas como para as não refinadas.

No que se refere à drenabilidade da pasta, o aumento do tempo de separação implica um acréscimo da drenabilidade, ou seja, um decréscimo de °SR, o qual é devido à diminuição do teor de finos. Esta ocorre predominantemente nos primeiros minutos de separação e daí que, a partir de aproximadamente 10 minutos, a curva tenda para um patamar. Idêntico comportamento se observa para as pastas refinadas,

sendo que estas correspondem a valores de °SR mais elevados, devido fundamentalmente à formação de finos secundários durante a operação de refinação (Ferreira *et al.*, 2000).

A evolução do índice de mão está em concordância com o fato, já referido, dos finos funcionarem como "enchimento", logo originarem folhas com maiores volumes específicos à medida que os mesmos vão sendo retirados da pasta. Os efeitos da refinação (fibrilação) traduzem-se, como é bem conhecido, em uma maior conformabilidade das fibras, dando origem a folhas mais densas (menores índices de mão). À semelhança da drenabilidade, obtiveram-se curvas aproximadamente paralelas antes e após a refinação, o que indica que os finos P200 têm pouco efeito na refi-

nabilidade, medida em termos da evolução destas propriedades.

Quanto às resistências mecânicas, tração, arrebentamento (dados não mostrados por serem idênticos aos da tração) e rasgamento, verifica-se, para todas elas, um comportamento semelhante: uma diminuição correspondente aos primeiros 5 minutos de separação (período em que são retirados praticamente metade dos finos (P200) existentes na pasta – ver **figura 2**), mantendo-se depois quase invariável.

Como é reconhecido (Moss e Retulainen, 1997 e Karnis, 1995), o número e a força das ligações entre fibras são favorecidos com o aumento do teor de finos e, conseqüentemente, a sua diminuição implica o enfraquecimento das resistências mecânicas. As pastas refinadas exibem, como era esperado, valores bastante superiores de resistência mecânica, devido fundamentalmente à fibrilação, mas a tendência de variação com o teor de finos é paralela a das pastas não refinadas.

A resistência à passagem do ar (Gurley) diminui obviamente com o decréscimo do teor de finos, por estes preencherem os espaços interfibrilares, tomando valores muito mais elevados nas pastas refinadas, uma vez que o efeito combinado da fibrilação com a presença de finos dá origem a folhas muito mais consolidadas. Além disso, verifica-se, nestas pastas, um comportamento exponencial com a variação do teor de finos, em oposição a pouca variabilidade detectada para as não refinadas, o que indicia que a presença da fração P200 em teores mais elevados é essencial para o desenvolvimento do Gurley com a refinação.

No que se refere à dispersão da luz, esta característica não é significativamente afetada pelo

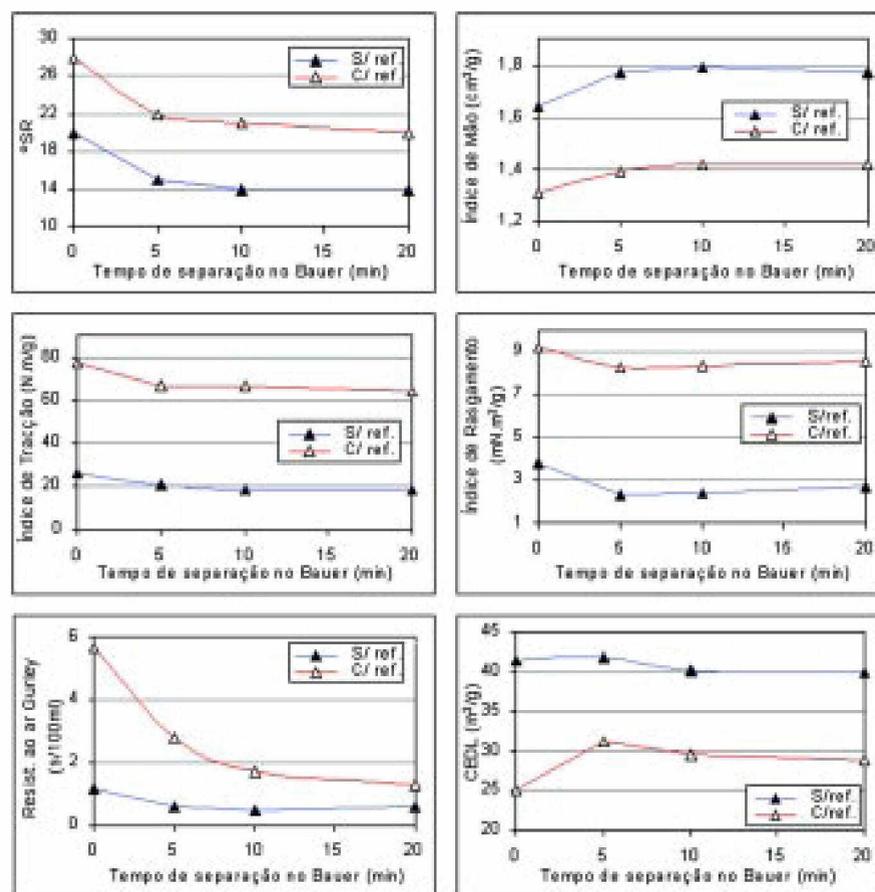


Figura 4 - Evolução das propriedades físico-mecânicas das pastas (com e sem refinação) com o tempo de separação no Bauer-McNett (maior tempo de separação implica menor teor de finos P200). t = 0min corresponde à pasta comercial tal e qual (ou global)

teor de finos, no caso das pastas não refinadas, ao contrário do que ocorre nas pastas termomecânicas (Moss e Retulainen, 1997). Ao contrário, nas pastas refinadas verifica-se uma diferença acentuada no valor do C.E.D.L. entre a pasta com finos (0 minutos no Bauer) e a pasta após 5 minutos de separação. Os efeitos da fibrilação no aumento da área de ligação entre as fibras justificam a diferença de valores entre as pastas não refinadas e refinadas, a qual é potenciada, nestas últimas, pelo incremento do teor de finos. A discussão mais exaustiva do efeito dos finos (primários e secundários) na refinação foi objeto de outros trabalhos (Ferreira et al., 2001; Ferreira *et al.*, 2000).

Efeito da fração R200 nas propriedades físico-mecânicas das pastas

Uma vez que alguns autores consideram finos todos os materiais que passam na peneira de 100 mesh, isto é, o correspondente às frações R200 e P200, julgou-se interessante estudar também o efeito destas frações. Contudo, e para esta gama de tamanhos, o funcionamento do Bauer só permite a recolha da fração, que é retida na peneira de 200 mesh (R200), pois a que passa nesta peneira (P200) vai diretamente para o esgoto. Assim, uma vez completado o estudo da fração P200, foi decidido variar a quantidade da fração R200 (cujo comprimento médio é 0.45mm – ver **Tabela 1**) e avaliar o efeito desta variação no desempenho papelero. Para tal, efetuaram-se vários fracionamentos no Bauer durante 20 minutos, misturaram-se as frações R28, R48 e R100 retidas no classificador e adicionaram-se, em quantidades variáveis, a fração R200. Desta forma, foram obtidas

pastas "compostas" com teores da fração R200 que variaram entre 0 (pasta composta só com R28+R48+R100) e cerca de 8% (pasta composta com R28+R48+R100+R200 correspondente aos 20 minutos dos gráficos da **figura 4**).

Na **figura 5** encontra-se ilustrado o comportamento das pastas compostas, conforme descrito, em função do respectivo teor da fração R200. A análise dos gráficos da **figura 5** e a sua comparação com os correspondentes da **figura 4** permite concluir o seguinte:

- a influência da fração R200, quer na drenabilidade, quer nas propriedades papeleras das pastas não refinadas é muito menos nítida que a detectada para a fração P200;
- nas pastas refinadas é significativa a diferença de

comportamento, no que diz respeito ao volume específico, às resistências mecânicas e à dispersão da luz, entre as pastas nas quais se retirou completamente a fração R200 (0%) e as que incluem esta fração; de fato a presença dos finos "maiores", mesmo em pequenas quantidades, é fundamental para desenvolver estas propriedades com a refinação. São exceção a este comportamento a drenabilidade e a resistência ao ar Gurley que são praticamente independentes do teor da fração R200;

- a pouca influência da fração R200 na resistência ao ar Gurley das pastas refinadas contrasta com o que sucede com a fração P200 (**figura 4**), cuja variação tem um efeito assinalável nestas pastas;

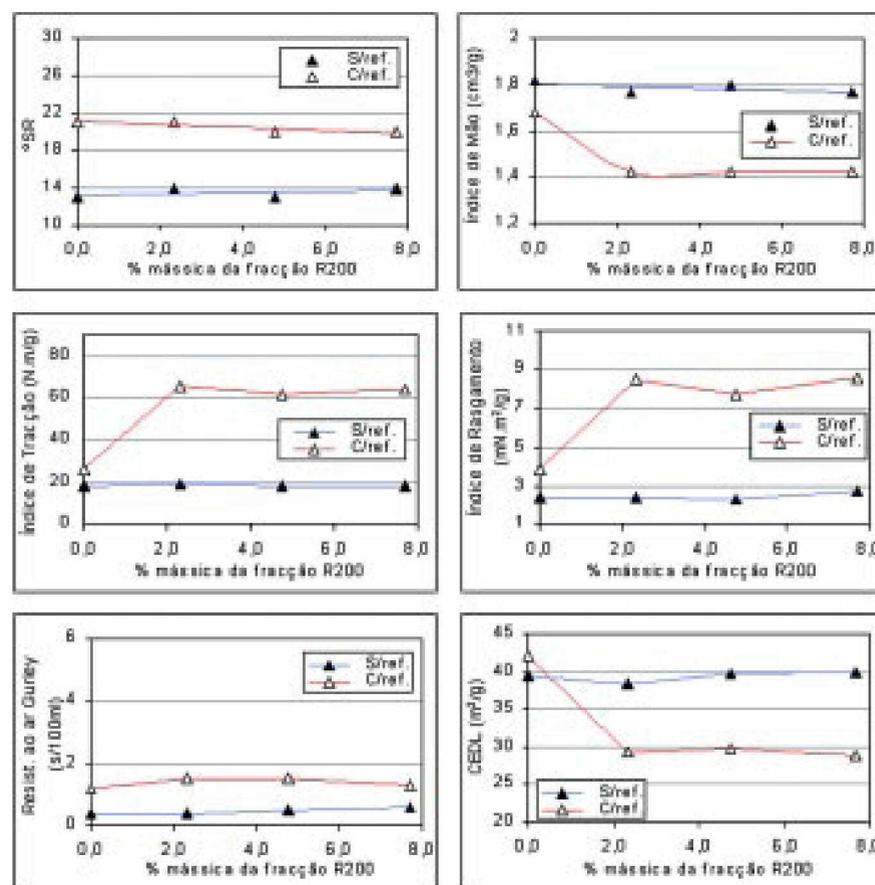


Figura 5 - Evolução das propriedades físico-mecânicas com o teor da fração R200: C - pasta composta, r - significa pasta refinada. Os pontos referentes a 8% da fração R200 correspondem às mesmas pastas representadas na figura 4 para 20 min de separação

• a pasta global, isto é, não sujeita a fracionamento (que corresponde à pasta com 0 minutos de separação no Bauer, apresentada na **figura 4**), apresenta, em relação às pastas compostas com idêntico teor de R200 (~8%), valores superiores para as propriedades que são positivamente afetadas pela presença dos finos da fração P200 (°SR e resistências mecânicas e ao ar Gurley) e inferiores para aquelas que são negativamente influenciadas pela sua presença (índice de mão e C.E.D.L.). Todavia, este afastamento varia consoante à propriedade estudada, em conformidade com o que se discutiu quando da análise da **figura 4**.

Conclusões

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar as conseqüências, no nível das propriedades físico-mecânicas, da variação do teor da fração de finos. A utilização do Bauer Mcnett para esse efeito levou a que o estudo desta fração fosse dividido em duas partes: uma que diz respeito aos finos "menores", que passam na teia de 200 mesh (P200), e à outra, que contempla os que ficam retidos nessa tela (R200). Os ensaios realizados mostraram que a variação do tempo de fracionamento origina efetivamente diferentes quantidades de finos nas pastas.

A progressiva eliminação dos finos da fração P200 originou pastas que apresentam menores resistências mecânicas e ao ar Gurley e maiores drenabilidades, dispersão da luz e índice de mão, especialmente após refinação, e quando se eliminam os primeiros 50% dos finos inicialmente existentes na pasta de partida. Além disso, observaram-se, em geral, comportamentos paralelos nas pastas refinadas e não refinadas, o que indicia que a

refinabilidade das pastas é pouco afetada por esta fração de finos (pelo menos nas quantidades testadas). As exceções foram a resistência ao ar Gurley e o C.E.D.L., para os quais a presença destes finos parece potenciar o efeito do refino.

Em contrapartida, no que diz respeito aos finos "maiores" (R200), observou-se um comportamento distinto nas pastas "compostas" não refinadas e refinadas com a diminuição do teor de R200. Nas pastas não refinadas a influência da variação do teor desta fração é praticamente irrelevante. Embora o decréscimo desta fração, de 8% para 2%, não tenha qualquer efeito nas propriedades da pasta refinada, a sua eliminação completa (0%) tem, à exceção do Gurley e do Schopper, um efeito significativo na diminuição da refinabilidade da pasta, aproximando-se a pasta refinada do nível da pasta não refinada.

Resta por último referir que, não só diferenças de quantidade e de tamanho, mas muito provavelmente também de estrutura e de composição química, podem estar na origem dos comportamentos distintos exibidos pela variação do teor das frações P200 e R200.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao RAIZ (Instituto de Investigação da Floresta e Papel) – Aveiro, Portugal – as facilidades concedidas na utilização dos equipamentos.

Referências bibliográficas

1. Carvalho, M.G., Martins, A.A. e Figueiredo, M.M., (1997) 'Fracionamento da Pasta Kraft de Eucalipto: Caracterização Físico-química e Desempenho Papeleiro', *O Papel*, 58(7):83-86.

2. Ferreira, P.J., Henriques, R.A., Figueiredo, M.M. (2001) 'Influência dos finos da refinação nas propriedades de pastas kraft de E. globulus', XVIII Encontro Nacional da Tecnicelpa, Figueira da Foz, 41-49.

3. Ferreira, P.J., Martins, A.A., Figueiredo, M.M. (2000) 'Primary and secondary fines from Eucalyptus globulus kraft pulps. Characterization and influence', *Paperi ja Puu – Paper and Timber*, 82(6):403-408.

4. Giertz, H.W., (1980) 'Understanding the role of fines' *Int. Symp. on Fund. Concepts of Refining*, Institute of Paper Chemistry, Appleton, 324-330.

5. Karnis, A. (1995) 'The role of latent and delatent mechanical pulp fines in sheet structure and pulp properties', *Paperi ja Puu – Paper and Timber*, 77(8):491-497.

6. Liu, X.A., Whiting, P., Pande, H., Roy, D.N. (2001) 'The contribution of different fractions of fines to pulp drainage in mechanical pulps', *J. Pulp Paper Science*, 27(4):139-143.

7. Moss, P.A., Retulainen, E. (1997) 'The effect of fines on fiber bonding: cross-sectional dimensions of TMP fibers at potential bonding sites', *J. Pulp Paper Science*, 23(8):382-387.

8. Paavilainen, L. (1990) 'Importance of particle size – fibre length and fines – for the characterization of softwood kraft pulp', *Paperi ja Puu – Paper and Timber*, 72(5):516-526.

9. Phillip, P., D'Almeida, M.L.O. (1988) 'Celulose e papel, Vol. II – Tecnologia de fabricação do papel' 2ª ed., SENAI, São Paulo.