

Anunciante do
Grupo Voith e
o vencedor do prêmio

vendas e desafio de recuperar preços este ano

ABICP

O PAPEL

REVISTA MENSAL DE TECNOLOGIA EM CELULOSE E PAPEL

ANO LXII nº01 JANEIRO 01

Todo cuidado é pouco.

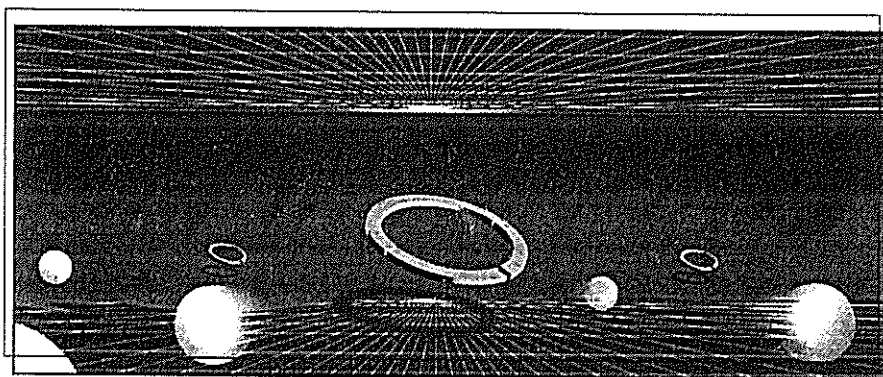
Para não cometer erros do passado, setor decide controlar de perto o ritmo da produção de celulose e está disposto até a parar as máquinas, se necessário



Chega de impostos! Bracelpa contrata consultoria para avaliar o peso da carga tributária incidente sobre os investimentos do setor

Efeito do Cozimento e da Refinação nas Dimensões Transversais de Fibras de *E.globulus*

Pulping and Beating Effects in E.globulus Fiber cross-section Dimensions
Efecto de la Cocción y de la Refinación en las Dimensiones Transversales de Fibras de *E.globulus*



*P.J. Ferreira¹

**M.M. Figueiredo²

Palavras-chave: *E. globulus*, microscopia confocal, microscopia óptica convencional, parâmetros transversais de fibras, cozimento, refinação.

O presente trabalho visa à avaliação, por meio da técnica de microscopia confocal, das alterações nas dimensões da secção reta das fibras que ocorrem com o cozimento e com a refinação, bem como à análise da influência dessas alterações em algumas propriedades das pastas e das correspondentes folhas. Os resultados obtidos são interpretados, considerando o efeito daquelas operações na parede e no lúmen das fibras, e levando ainda em conta as diferenças na compo-

sição química destas. O estudo confirma que em condições mais drásticas de tempo e temperatura de cozimento as fibras perdem mais material, e a sua resistência intrínseca diminui, o que não se reflete substancialmente no comprimento, mas afeta a secção reta, reduzindo a espessura da parede e aumentando o grau de colapso das fibras. Como consequência destas modificações em nível físico-químico, a ligação entre as fibras é prejudicada, e as respectivas folhas

Abstract

The present work aims at the comparison of the fibre cross-section dimensions of *E. globulus* kraft pulps obtained with different cooking conditions and at the study of the changes of these dimensions with beating, using confocal laser scanning microscopy. The unbeaten and beaten (2000 rev. PFI) pulps were evaluated in terms of drainability and content of fines, and handsheets were made in order to measure the corresponding optical and mechanical properties. The differences found were interpreted in terms of the distinct morphological and chemical characteristics of the pulps. For the unbeaten pulps, the results show that although more drastic cooking conditions (temperature and time) lead to larger losses of wall material, with the consequent decrease in fibre wall thickness and increase in collapsibility, no relevant effects were detected in fibre length. However significant changes were observed in the pulps beatability and also in the handsheet properties.

Key words: *E. globulus*, confocal laser scanning microscopy, optical microscopy, fibre cross-section dimensions, pulping, beating

¹ PhD., Professor Auxiliar no Dep. Eng. Química - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; PORTUGAL; E-mail: paulo@eq.uc.pt.

² PhD., Professora Catedrática no Dep. Eng. Química - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; PORTUGAL; E-mail: mmf@eq.uc.pt.

Tabela 1- Condições operacionais de cozimento e características das pastas obtidas

Cozimento		1	2
Condições operacionais de cozimento	Índice de Sulfureto (%)	30,0	0
	Carga Alcalina (%)	15,0	15,0
	Temperatura (°C)	170	181
	Tempo (min.)	40	90
Rendimento em pasta (%)		51,7	48,7
Pastas		1	2
Caracterização das pastas	Índice kappa	14,9	14,5
	Viscosidade (dm ³ /kg)	1208	696
	Pentosanas (% madeira)	8,5	7,3

O processo de obtenção das pastas e de preparação das fibras, quer para as medições por microscopia ótica direta, quer para as medições por microscopia confocal são descritos em detalhe em uma outra publicação (13). Aí são também apresentados os princípios da microscopia confocal e a metodologia seguida para medição das dimensões transversais e para o cálculo de alguns parâmetros morfológicos das fibras, como o *aspect-ratio* ou o índice de colapso, entre outros.

É de acentuar o fato de que, dentre as muitas pastas produzidas em diversas condições de cozimento, neste estudo foram apenas duas as estudadas, ambas obtidas a partir de licores com a mesma carga alcalina (15%) e a mesma atividade (90%): uma a 170°C durante 40 minutos e outra a 181°C durante 90 minutos. Estas pastas têm praticamente o mesmo teor de lignina residual, o que foi conseguido compensando as condições mais drásticas de temperatura e de tempo do segundo cozimento com recurso a um licor isento de sulfureto de sódio, como indicado na tabela 1.

Foram estas duas as pastas selecionadas e não outras, pois tendo idêntico grau de designificação correspondem no entanto a cozimentos realizados em condições muito distintas, o que mais facilmente permite avaliar o efeito destas condições na morfologia das fibras (um dos objetivos principais do presente trabalho). Após

cada cozimento, as pastas foram caracterizadas em termos de índice kappa (NP 3186/95), viscosidade intrínseca (SCAN-CM15:88) e teor de pentosanas (T223 cm-84). Na tabela 1 são também apresentados os valores destas variáveis.

No final do ciclo de cozimento e refinação, foi medida a drenabilidade das pastas não-refinadas e refinadas, segundo o método Schöpper-Riegler (ISO 5267/1); o correspondente teor de finos, usando uma malha de 200 mesh no Dynamic Drainage Jar (DDJ) para separar os finos (Tappi T261 cm-94); e ainda os parâmetros transversais das fibras, por microscopia confocal. Com recurso ao Fiber Quality Analyzer (FQA)(14) determinou-se também a distribuição e a média do comprimento das fibras e do respectivo índice de curl, o qual é definido por(15):

$$I_{curl} = L/L' - 1 \quad (1)$$

onde L é o comprimento das fibras, e L', a distância entre as suas extremidades.

Finalmente, foram feitas folhas la-

boratoriais (ISO 5269/1) para avaliar a evolução das propriedades papeleiras à luz das variáveis de cozimento e da qualidade das fibras (características químicas e variáveis dimensionais). Seguindo os procedimentos-padrão, foram medidas as propriedades físico-mecânicas mais usuais na indústria papeleira e, neste tipo de estudos, designadamente o coeficiente específico de dispersão de luz, CEDL (ISO 2471); a resistência ao ar pelo método Gurley (ISO 5636/5); e as resistências à tração (ISO 1924/2), ao arrebentamento (ISO 2758) e ao rasgo (ISO 1974).

Resultados e discussão

Efeitos do cozimento

Nos cortes da madeira de cada um dos provetes realizaram-se medições em número suficiente para obter um valor médio da espessura da parede com um desvio não superior a 5%, com 95% de confiança (entre 100 a 150 leituras). Na tabela 2 são apresentados os resultados para cada um dos cinco provetes considerados, bem como a média ponderada, usando o raio como fator de ponderação(16).

Conforme se verifica, ocorre um aumento da espessura da parede das fibras na direção radial, em consonância com outros trabalhos (2,17,18). Este aumento é devido ao fato de que, com o crescimento da árvore, as células do câmbio se tornam mais maduras e originam traqueídeos de maiores dimensões e, portanto, de parede gradualmente mais espessa (18).

Tabela 2 - Variação radial da espessura da parede das fibras na madeira*, medida por microscopia ótica direta, e correspondente média ponderada no raio

Espessura da parede, e±0,05e (µm)**					Média Ponderada, (µm)
Centro				Periferia	
1,86	1,96	2,14	2,45	2,79	2,41

* À altura do peito.

** Com um nível de confiança de 95%

A média dos valores das medições na madeira apresentada na tabela 2 é ligeiramente superior às médias das medições de ambas as pastas, indicadas na tabela 3. Apesar da técnica de análise ser a mesma (microscopia ótica convencional e medição linear da espessura), há de atender às diferenças inerentes às leituras (em cortes histológicos na madeira e em elementos dissociados na pasta), ao fato de no primeiro caso estar também a ser quantificada a lamela média (figura 1), e ao decréscimo real da espessura da parede que ocorre com o cozimento (também referido por outros autores^(1,2)). Tal decréscimo está associado à remoção de material orgânico das paredes primária e secundária da fibra principalmente material amorfo (em especial lignina e também hemiceluloses), e ainda eventualmente algumas microfibrilas de celulose da camada secundária, remoção essa que depende da relação carga-alcalina/índice de sulfureto do licor e também a temperatura e o tempo de cozimento.

Naturalmente que a comparação direta entre os valores da espessura da parede das fibras na madeira e na pasta é agravada, se não tiver sido utilizada nos dois casos a mesma técnica de análise, o que se confirma neste estudo, na medida em que, se, em vez dos valores da tabela 3, considerarem-se os da tabela 4 (obtidos por microscopia confocal), obtém-se para as

fibras da pasta 1 maior espessura do que para as da madeira, passando-se o inverso com a outra pasta. De qualquer forma, independentemente das técnicas envolvidas, os valores da espessura da parede das fibras na madeira e na pasta nem sempre são correlacionáveis (12).

Na tabela 4 são apresentados os valores das dimensões transversais e de alguns índices morfológicos das duas pastas em análise, obtidos por microscopia confocal. A largura das fibras é quantificada por meio do diâmetro de Feret médio da sua secção reta, sendo a metodologia seguida para a medição e/ou cálculo dos restantes parâmetros, como já foi referido, detalhadamente em uma publicação anterior (13).

As diferenças nos valores da tabela 4 entre as pastas não-refinadas refletem o efeito das condições de cozimento na parede das fibras, verificando-se que as fibras da pasta 2 têm parede mais fina e menor área transversal. Isto significa que durante o cozimento que originou esta pasta a remoção de material da parede dos traqueídeos foi, em princípio,

mais extensa, do que resultaram fibras com estrutura menos rígida e, portanto, mais flexíveis e mais colapsáveis (2,10). Por isso também o índice de colapso das fibras da pasta 2 é maior, e a área do lúmen menor.

Analisando os valores da tabela 1, constata-se que o rendimento do cozimento 2 é o menor, o que realmente confirma que durante este ocorreu perda mais acentuada de polissacarídeos, nomeadamente de hemiceluloses, o que também se reflete em um valor mais baixo do teor de pentosanas. Além disso, apesar de se ter procurado produzir pastas com o mesmo teor de lignina residual (balanceando a temperatura e tempo de cozimento com a sulfidez do licor), o valor do índice kappa da pasta 2 é ligeiramente inferior ao da pasta 1, o que significa que durante o cozimento foi eliminado um pouco mais de lignina.

Por outro lado, ainda, o fato do valor da viscosidade intrínseca da pasta 2 ser bastante baixo indica que, além de as suas fibras terem realmente perdido mais material, o grau de despolimeri-

Tabela 3 - Média da espessura da parede das fibras nas pastas não-refinadas (medições por microscopia ótica direta)(13)

Espessura da parede, $\pm 0,01e$ (μm)*	
Pasta 1	2,32
Pasta 2	2,34

* Com um nível de confiança de 95%.

Tabela 4 - Alguns parâmetros morfológicos da secção transversal das fibras das pastas 1 e 2 (tabela 1), não-refinadas e refinadas (medições por microscopia confocal)

	Pasta 1			Pasta 2		
	Não refinada	Refinada	Δ (%)*	Não refinada	Refinada	Δ (%)*
Largura da fibra (μm)	10,8 \pm 0,08	10,6 \pm 0,07	-1,8	10,6 \pm 0,05	9,9 \pm 0,05	-6,6
Espessura da Parede (μm)	2,42 \pm 0,02	2,52 \pm 0,02	+4,1	2,24 \pm 0,02	2,38 \pm 0,02	+6,2
Área da parede (μm^2)	58,1 \pm 0,6	57,1 \pm 0,7	-1,7	53,8 \pm 0,6	48,8 \pm 0,4	-9,2
Área do lúmen (μm^2)	22,5 \pm 0,4	18,0 \pm 0,4	-19,7	20,6 \pm 0,3	16,8 \pm 0,3	-18,8
Aspect ratio da fibra	0,70 \pm 0,01	0,70 \pm 0,01	0	0,68 \pm 0,01	0,67 \pm 0,00	-1,5
Índice de colapso	0,16 \pm 0,01	0,21 \pm 0,01	+31,0	0,20 \pm 0,01	0,15 \pm 0,01	-25,0

* - Variação com a refinação tomando por base a pasta não refinada

zação das respectivas cadeias de celulose é também superior ao da pasta 1. No geral, pode-se afirmar que as condições em que se efetuou o cozimento 2 provocaram mais alterações nas fibras, nomeadamente em nível da sua secção reta.

Apesar da complexidade, quer da interação entre as diversas variáveis de cozimento, quer das reações decorrentes durante o cozimento *kraft*, os resultados de diferentes estudos permitem afirmar que o índice de sulfureto tem um papel determinante em nível de reação de deslignificação (19-21), mas praticamente não influencia nem a degradação dos polissacarídeos a qual é fundamentalmente devido à ação da carga alcalina, do tempo e da temperatura do cozimento (19,20,22), nem propriedades das fibras, como a flexibilidade ou a resistência à tração (19).

Assim, como a carga alcalina usada nos dois cozimentos é a mesma, as diferenças no teor de pentosanas e na viscosidade das duas pastas, que se refletem

nas correspondentes dimensões transversais, são então apenas função das distintas condições de tempo e temperatura de cozimento, significativamente mais drásticas no cozimento 2. De igual modo, e porque neste cozimento não se usou sulfureto de sódio, são aqueles fatores (tempo e temperatura) os responsáveis pelo ligeiro aumento do grau de deslignificação da pasta 2.

Além disso, há também que considerar o fato de que, tendo a pasta 1 mais hemiceluloses (e conseqüentemente mais grupos hidrofílicos), o grau de entumescimento das suas fibras é superior ao da pasta 2 (19,23,24), o que, conforme se discutirá mais adiante neste texto, contribui também para que, mesmo após secagem, a espessura da parede seja superior. Os valores da tabela 4 mostram ainda que o *aspect ratio* das fibras não foi praticamente afetado pelas condições de cozimento.

Na tabela 5 apresentam-se os valores de algumas propriedades das pastas,

das fibras e das correspondentes propriedades papeleras, antes e após a refinação laboratorial.

Comparando novamente as pastas não-refinadas, verifica-se que a drenabilidade de ambas, medida através do grau de Schöpfer-Riegler ($^{\circ}$ SR), é praticamente idêntica, apesar do conteúdo de hemiceluloses, que, como se indicou, favorece a retenção de água a ser superior na pasta 1. Em compensação, o fato do teor de finos da pasta 2 ser um pouco maior pode explicar a sua pior drenabilidade, pois é reconhecido que os finos desempenham um papel muito importante na retenção de água na polpa e influenciam significativamente o teste de Schöpfer-Riegler (24-26). A diferença na quantidade de finos pode estar eventualmente relacionada com a remoção mais acentuada (e já referida) de material orgânico da parede das fibras durante o cozimento 2.

No que diz respeito ao comprimento médio das fibras, a diferença entre as duas

Tabela 5 - Características das pastas, propriedades das fibras e propriedades papeleras para as pastas 1 e 2 (tabela 1), não-refinadas e refinadas

	Pasta 1 (tabela 1)			Pasta 2 (tabela 2)		
	Não refinada	Refinada	Δ (%)*	Não refinada	Refinada	Δ (%)*
Grau Schöpfer-Riegler ($^{\circ}$ SR)	28,3	48,8	72,4	29,2	37,6	28,8
Teor finos (% w/w)	7,1	12,1	72,2	9,0	11,9	32,9
Comprimento das fibras** (μ m, ± 5)	840	810	-3,6	850	830	-2,4
Índice de Curl das fibras (Eq. 1, $\pm 0,004$)	0,036	0,039	6,9	0,032	0,036	14,3
CEDL*** (m ² /kg)	34,9	28,3	-18,9	39,1	28,7	-26,5
Resistência ao ar Gurley (s/100 ml)	10,3	31,6	207,8	6,1	24,6	301,1
Densidade (kg/m ³)	673,6	735,2	9,1	626,1	756,1	20,8
Índice de tração (N m/g)	73,2	92,7	26,5	64,9	88,9	36,9
Índice de rebentamento (kPa m ² /g)	4,1	6,7	62,0	3,2	6,1	93,1
Índice de rasgamento (mN m ² /g)	7,5	10,4	39,2	7,6	7,0	-7,5
Zero-Span (húmido, km)	16,8	21,7	29,2	12,5	13,2	5,7

* - Variação com a refinação tomando por base a pasta não refinada.

** - Comprimento pesado em comprimento da fracção isenta de finos.

*** - Coeficiente específico de dispersão de luz.

pastas é irrelevante, o que confirma que a dissolução de lignina e de hemiceluloses, bem como a despolimerização da celulose alteram significativamente a secção transversal das fibras, mas não interferem, porém, com o seu comprimento (2). Quanto ao índice de curl, a diferença entre os valores médios é superior ao desvio de cada um, pelo que os resultados não permitem antecipar conclusões definitivas.

Adicionalmente, fibras de parede mais fina, como as da pasta 2, com maior flexibilidade e maior grau de colapso, são mais confortáveis, o que em princípio deveria favorecer a ligação entre elas e a formação da folha, promovendo as resistências do papel (como foi avançado na introdução deste artigo). No entanto, as mais drásticas condições de tempo e temperatura do cozimento 2 danificaram a estrutura da parede das fibras, diminuindo substancialmente a viscosidade e o teor de hemiceluloses, e afetando, portanto, quer a sua resistência intrínseca, quer a capacidade de estabelecerem ligações (esta muito dependente do balanço de cargas iônicas à superfície das fibras e do conseqüente entumescimento (19, 24)).

Pelo contrário, no caso da pasta 1, a conformabilidade das fibras será menor por terem parede mais espessa e estarem menos danificadas, mas também por isso a sua resistência intrínseca é maior, o que é confirmado tanto pela viscosidade da pasta como pelo valor do comprimento de ruptura das fibras (o zero-span, com aquela relacionado (22,27)). Em conseqüência, as fibras da pasta 1 suportam melhor as tensões a que são submetidas. Por outro lado, como têm mais grupos hidrofílicos, a afinidade à água é maior e estabelecem-se mais ligações fibra-a-fibra, do que resulta um arranjo espacial com mais resistência à tração, ao arrebentamento e ao rasgo (para este último é também preponderante o fato das paredes das fibras serem mais espessas (28)).

O maior número de ligações na pasta 1 torna ainda as folhas mais densas e conseqüentemente com menor permeabilidade ao ar (maior resistência Gurley). Simultaneamente, como diminui o número de interfaces fibra-ar, o respectivo coeficiente específico de dispersão de luz (CEDL) é também menor.

Efeitos da refinação

Considerando agora os efeitos da refinação na estrutura das fibras, conclui-se, da tabela 4, que esta operação provocou em ambas as pastas um aumento da espessura da parede, acompanhado por um decréscimo ligeiro da largura das fibras e da área da parede e por uma redução relevante da área do lúmen. Estas tendências estão em consonância com as encontradas por outros autores para pastas químicas sujeitas a níveis moderados de refinação (2,3,11) e refletem o efeito conjugado das diversas forças a que as fibras estão sujeitas e que alteram a sua secção reta, nomeadamente forças de tração, compressão e torção associadas à ação das lâminas do refinador e ao contato (fricção) das fibras entre si.

Assim, nas fases iniciais da refinação ocorre a delaminação parcial das camadas primária e secundária da parede das fibras, antes da sua remoção, o que juntamente com a fibrilação interna, torna a estrutura da parede mais porosa e menos rígida, facilitando a entrada de água e o inchamento das fibras (2,3). O desarranjo da matriz fibrilar da parede mantém-se mesmo após a saída da maior parte da água e, por isso, a sua espessura aumenta em relação ao estado inicial (só para níveis de refinação mais acentuados é que a fibrilação externa e o *peeling* de fragmentos da parede primária e das camadas S1 e S2 da parede secundária conduzem a um decréscimo real da espessura da parede (3,11)).

O fato de, nas duas pastas, com a refinação, a redução da área do lúmen ser

sempre superior à da área da parede e o decréscimo global da largura da fibra ser apenas ligeiro, significa que a "expansão" da parede das fibras decorre para o interior do lúmen, conforme também verificado em outros estudos (3). A tabela 4 revela ainda que o *aspect-ratio* das fibras variou pouco com a refinação e que o aumento do grau de colapso aconteceu apenas para as fibras de parede mais espessa, notando-se nas fibras da pasta 2 uma diminuição difícil de explicar.

Quanto aos valores da tabela 5, verifica-se, conforme o esperado, que o comprimento das fibras diminuiu com a refinação como conseqüência de um dos efeitos primários desta operação, o corte das fibras, e que o teor de finos das pastas aumentou devido à formação de finos secundários associada, não só ao corte das fibras, mas também à remoção de fragmentos da parede (27). Apesar da incerteza associada aos valores do índice de curl, é possível também antecipar que o grau de encurvamento das fibras refinadas é maior do que o das não-refinadas, como resultado do ganho de flexibilidade e de colapsabilidade inerente à diminuição da rigidez da parede (no entanto, o aumento não é significativo, porque a consistência da pasta na operação (10%) não é elevada (27)).

Relativamente, quer à drenabilidade das pastas, quer às respectivas propriedades papeleiras, as variações detectadas com a refinação são igualmente as esperadas, observando-se notoriamente um aumento geral das resistências mecânicas, da resistência ao ar e da densidade das folhas, e uma diminuição do coeficiente específico de dispersão de luz (2,7,11,26-28). Todavia, a resistência da pasta 2 ao rasgo é menor após a refinação, o que pode estar relacionado com o valor demasiado baixo da viscosidade (28) e com o fato da parede das fibras ser mais fina do que as da pasta 1. Também o aumento do valor do zero-span com a

refinação é concordante com o aumento da resistência intrínseca das fibras para níveis moderados de refinação, o qual é explicado em termos de uma mais uniforme distribuição das tensões no interior das fibras refinadas (27).

A refinabilidade das pastas, isto é, a facilidade com que são refinadas e a variação que as suas propriedades sofrem durante a refinação, é função da estrutura e da constituição das fibras (27), o que pode explicar as diferenças encontradas na resposta das duas pastas em análise à refinação. Na verdade, os valores das tabelas 4 e 5 são, de modo geral, em valor absoluto, superiores para a pasta 2, indicando que esta incorpora mais intensamente as alterações induzidas por aquela operação, o que provavelmente está relacionado em grande parte com o fato de as suas fibras terem paredes mais finas e serem menos rígidas. No caso das dimensões transversais da pasta 2 (tabela 4), seria no entanto de antever uma diminuição mais acentuada da área do lúmen relativamente à pasta 1 e, como já se adiantou e contrariamente ao que acontece, um acréscimo do índice de colapso, como consequência do fato de terem parede mais fina.

Considerando apenas a viscosidade e sobretudo o teor de hemiceluloses, seria também de se esperar que a maior variação das propriedades papeleiras ocorresse para a pasta 1 (tabela 5), na qual, como se referiu, o maior número de grupos hidrofílicos promove o entumescimento, a fibrilação interna e a consequente formação de mais ligações, mantendo as fibras uma considerável resistência intrínseca (19,23,24).

Porém, o fato de as fibras da pasta 2 terem paredes mais finas (i.e., serem menos *coarse*) e mais degradada por ação de um cozimento mais prolongado e a maior temperatura, pode potencializar os efeitos da ação mecânica da refinação (delaminação e fibrilação interna), o aces-

so da água ao interior da parede e o ganho de flexibilidade das fibras, sobrepondo-se aqueles aspectos estruturais ao menor conteúdo de cargas iônicas desta pasta, sendo por isso os seus valores de mais elevados em valor absoluto. (Uma explicação análoga é a avançada para justificar a melhor refinabilidade e o mais fácil acesso da água ao interior das fibras de pastas branqueadas. Por ação do branqueamento, estas fibras estão mais colapsadas, e a sua parede é mais flexível do que a das fibras de pastas cruas, cuja rigidez dificulta o entumescimento associado à refinação (23))

O maior aumento do índice de curl da pasta 2 está também em concordância com o exposto, confirmando que a menor rigidez da estrutura da parede das fibras promove os seus ganhos de flexibilidade. Em consonância, o valor do zero-span tem na pasta 2 um aumento mais moderado. Apesar das variações mais acentuadas que a pasta 2 exhibe para a mesma energia de refinação, quando refinada continua a formar folhas com piores propriedades físico-mecânicas do que a pasta 1 refinada, em virtude das diferenças relevantes logo após o cozimento.

Finalmente, é de notar que, embora a pasta 1 responda de modo mais moderado à refinação PFI, no que diz respeito às dimensões transversais das fibras e às propriedades papeleiras das respectivas folhas, o mesmo já não se passa com a sua drenabilidade, com a geração de finos secundários e com o comprimento das fibras (tabela 5), fatores que podem estar relacionados entre si. De fato, como as fibras da pasta 1 têm parede mais espessa e são portanto mais rígidas, são também mais sensíveis à ação de corte da refinação, o que faz com que o seu comprimento tenha uma redução ligeiramente maior (à semelhança do encontrado noutros estudos (2)). Deste corte resulta o acréscimo considerável do teor

de finos, o qual, por sua vez, responde pelo aumento muito significativo do grau de Schöpfer-Riegler (°SR).

Conclusões

Os resultados do estudo apresentado mostram que, além das diferenças ao nível do teor de hemiceluloses e da viscosidade intrínseca, pastas obtidas em condições de cozimento significativamente distintas têm fibras com a secção reta também diferente, notoriamente no que diz respeito à espessura da parede, à área do lúmen e ao grau de colapso, não se detectando todavia diferenças relevantes no comprimento.

Em especial, confirma-se que para maiores valores de tempo e temperatura de cozimento ocorre uma remoção mais extensa de material da parede das fibras, da qual resulta uma perda de resistência intrínseca e uma redução da espessura da parede mais acentuadas, obtendo-se em paralelo pastas com maior quantidade de finos e que formam folhas com piores resistências mecânicas.

Por sua vez, a refinação reduz o comprimento das fibras e introduz também modificações na sua secção transversal, verificando-se um aumento da espessura da parede para o interior da fibra, na medida em que a largura desta não aumenta, e a área do lúmen se reduz substancialmente. Finalmente, a refinabilidade das pastas é também condicionada de modo relevante pelas condições de cozimento, sendo menores os ganhos com a refinação para as pastas com fibras de parede mais espessa e estrutura menos flexível.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Eng^a M. Graça V. S. Carvalho pela cessão das pastas e sua caracterização química e ao RAÍZ-Instituto de Investigação da Floresta e Papel pelas facilidades concedidas para a realização dos testes papeleiros.

Referências bibliográficas

- T. Hatvani, R. Evans, R.P. Kibblewhite, I. Parker, 1997, *Effects of pulping and drying on fibre perimeter and wall thickness*, Proc. Appita'97, 541-543.
- L. Paavilainen, 1993, *Importance of cross-dimensional fibre properties and coarseness for the characterisation of softwood sulphate pulp*, Paperi ja Puu - Paper and Timber, 75, 343-351.
- R.P. Kibblewhite, D.G. Bailay, 1988, *Measurement of fibre cross-section dimensions using image processing*, Appita, 41, 297-303.
- K.A. Kure, G. Dahlqvist, 1998, *Development of structural fibre properties in high intensity refining*, Pulp & Paper Canada, 99:7, 59-63.
- R.P. Kibblewhite, A.D. Bawden, M.C. Hughes, 1991, *Hardwood market kraft fibre and pulp qualities*, Appita, 44 (5), 325-332.
- H. Fjerdingen, T.F. Forseth, Ø.W. Gregersen, T. Helle, T., P.O. Johnsen, K.A. Kure, P.A., Reme, 1997, *Some mechanical pulp fibre characteristics, their process relationships and papermaking significance*, Cambridge Symposium 1, 547-606.
- L. Paavilainen, *Conformability flexibility and collapsibility of sulphate pulp fibres*, Paperi ja Puu - Paper and Timber, 75 (9), 680-692.
- P.A. Moss, E. Retulainen, H. Paulapuro, P. Aaltonen, 1993, *Taking a new look at pulp and paper: applications of confocal laser scanning microscopy (CLSM) to pulp and paper research*, Paperi ja Puu - Paper and Timber, 75 (1-2), 74-79.
- H.F. Jang, R. Amiri, R.S. Seth, A. Karnis, 1996, *Fiber characterization using confocal microscopy-collapse behavior of mechanical pulp fibers*, Tappi Journal, 79 (4), 203-210.
- R.S. Seth, H.F. Jang, B.K. Chan, C.B. Wu, 1997, *Transverse dimensions of wood pulp fibres and their implications for end use*, in Proc. The Fundamental of Papermaking Materials, Cambridge, 473-500.
- C.L. Brindley, R.P. Kibblewhite, 1996, *Comparison of refining response of eucalypt and a mixed hardwood pulp and their blends with softwood*, Appita, 49 (1), 37-42.
- R.P. Kibblewhite, R. Evans, M.J.C. Riddell, 1997, *Handsheet property prediction from kraft-fibre and wood-tracheid properties in eleven radiata pine clones*, Appita, 50 (2), 131-138.
- P.J. Ferreira, M.H. Vaz, M.M. Figueiredo, 1999, *Aplicação da microscopia confocal ao estudo de fibras de E. globulus - medição das dimensões transversais*, O Papel (submetido).
- J.A. Olson, A.G. Robertson, T.D. Finnigan, R.R.H. Turner, 1995, *An analyzer for fibre shape and length*, J. Pulp Paper Sci., 21(11): J367-J373.
- D.H. Page, M.C. Barbe, R.S. Seth, B.D. Jordan, 1984, *The mechanism of curl creation, removal and retention in pulp fibres*, J. Pulp Paper Sci., 10 (3), J75-J79.
- M.J. Moura, 1999, *Caracterização morfológica da medula de Eucalyptus globulus - estudos de variabilidade numa árvore*, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra.
- J.M. Downies, et al., 1997, *Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties*, Csiro Publishing.
- F.M.A. Fonseca, 1989, *Variação na madeira de Pinus pinaster Ait.*, Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- L. Paavilainen, 1989, *Effect of sulphate cooking parameters on the papermaking potential of pulp fibres*, Paperi ja Puu - Paper and Timber, 4, 356-363.
- M.G. Carvalho, A.A. Martins, M.M. Figueiredo, 1998, *Efeito de algumas variáveis de cozimento nas características de pastas kraft de E. globulus*, in Proc. XVI Encontro Nacional da Tecnicalpa, Covilhã, 113-119.
- J.A.G. Hortal, J.F.C. Pañtor, 1987, *El proceso al sulfato - Vol I (Cap. 2)*, Universidad Politecnica de Cataluna (ETSEIT) Ed., Terrassa, 43-72.
- Pulp and paper manufacture, Vol 5 - Alkaline pulping, Cap. V - Process variables*, M.A. Kocurek Ed., 1989, Tappi CPPA.
- L. Salmén, J. Berthold, 1997, *The swelling ability of pulp fibres*, in Proc. 11th Fundamental Research Symposium, Cambridge, 683-701.
- J. Laine, R. Hynynen, P. Stenius, P., 1997, *The effect of surface chemical composition and charge on the fibre and paper properties of unbleached and bleached kraft pulps*, in Proc. 11th Fundamental Research Symposium, Cambridge, 859-891.
- L. Paavilainen, 1990, *Importance of particle size fiber length and fines for the characterization of softwood kraft pulp*, Paperi ja Puu - Paper and Timber, 72(5) 516-526.
- F. Astals I Coma, 1988, *Naturaleza, efectos y medida del refinado*, in Últimos avances en la tecnología del refinado, Universidad Politecnica de Cataluna (ETSEIT) Ed., Terrassa, 43-72.
- J. d'A. Clark, 1985, *Pulp technology and treatment for paper*, 2nd ed., Miller Freeman Publications Inc.
- B. Dillner, P. Jonsson, 1979, *A classification of hardwood pulps for paper*, in New pulps for the paper industry, Leonard E. Haas Ed., Miller Freeman Publications Inc., 25-35. ▲