

Cozimento kraft ótimo de bambu - a influência das condições de cozimento nas propriedades da celulose e das fibras

Optimum bamboo kraft cooking - the influence of the cooking conditions on the pulp and fibre properties

Autores/Authors*: Sanchuan Guo¹
Anette Heijnesson-Hulten²
Jiri Basta²
Qianqian Wang³
Ulf Germgård¹

Palavras-chave: celulose de bambu, condições de cozimento, composição química, características, rendimento

RESUMO

O objetivo deste estudo foi de avaliar o impacto das condições de cozimento kraft na qualidade das fibras e polpas de bambu e como o rendimento, a composição e as propriedades da celulose resultante foram afetados. Verificou-se que a redução da temperatura de cozimento em 8-10°C e o prolongamento do tempo de cozimento resultavam em rendimento mais elevado em celulose, em teor mais alto de xilana, em viscosidade inalterada da celulose a dado número kappa e em índice zero-span (distância zero) ligeiramente inferior. O comprimento das fibras e os deslocamentos das fibras a dado número kappa não eram afetados pela alteração das condições de cozimento. Ao ser estabelecida comparação a determinado grau de deslignificação constatou-se que o cozimento a temperatura de cozimento mais baixa e por tempo de cozimento mais longo induzia a número maior de torções das fibras.

INTRODUÇÃO

O rápido crescimento do consumo de papel e papelcartão na China tem causado escassez de matérias-primas e, com isso, grande proporção das fibras necessárias é atualmente importada [1-3]. A fim de reduzir a dependência de fibras

Keywords: *Bamboo pulps, pulping conditions, chemical composition, properties, yield*

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the impact of the kraft cooking conditions on the quality of bamboo fibres and pulps and how the yield, composition and properties of the resulting pulp were affected. It was found that reducing the cooking temperature by 8-10°C and prolonging the cooking time, resulted in a higher pulp yield, higher xylan content, unchanged pulp viscosity at a given kappa number and a slightly lower zero-span index. The fibre length and the fibre dislocations at a given kappa number were not affected by the alteration of the cooking conditions. When comparing at a certain degree of delignification, it was found that cooking at lower cooking temperature and longer cooking time induced more fibre kinks.

INTRODUCTION

The rapidly growing consumption of paper and paperboard in China has created a shortage of raw materials and thus a large proportion of the fibre requirement is currently imported [1-3]. In order to decrease the de-

*Referências dos autores / Authors' references:

- 1- Universidade de Karlstad, SE-651 88 Karlstad, Suécia
- 1- Karlstad University, SE-651 88 Karlstad, Sweden
- 2- Eka Chemicals, SE-445 80 Bohus, Suécia
- 2- Eka Chemicals, SE-445 80 Bohus, Sweden
- 3- Laboratório-Chave Estatal de Engenharia de Celulose & Papel, Universidade de Tecnologia do Sul da China, Guangzhou, 510640, China
- 3- State Key Laboratory of Pulp & Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, 510640, China

Autor correspondente/ Corresponding author:
Ulf Germgård, e-mail: ulf.germgard@kau.se

Especialidades Carbinox.

Por dentro das operações de grande parte das empresas.

Divisão Inoxidáveis:

Tubos, barras e chapas em aço inoxidável.

Divisão Elétrica/Hidráulica:

Eletrodutos e conexões em aço carbono.

Divisão Trading:

Ligas especiais e super ligas.



As linhas de produtos Carbinox são fundamentais para grande parte das indústrias brasileiras há mais de 25 anos. A alta qualidade das soluções, as equipes de vendas especializadas e o moderno sistema de logística garantem os melhores resultados para o seu negócio.

Carbinox
www.carbinox.com.br

Matriz: 11 4795-9000
Filial: 62 3281-6191



importadas, a indústria papelreira chinesa defronta-se com o desafio de aumentar o foco sobre fibras de não-madeira tradicionalmente usadas e aprimorar a utilização dessas fibras, principalmente as de bambu [4]. Bambu é uma matéria-prima excelente para a fabricação de celulose e papel; a fibra de bambu tem comprimento de 1,5 a 4,4 mm, largura de 7 a 27 μm [5] e suas dimensões são, portanto, comparáveis com as da madeira. A alta resistência da celulose de bambu a faz adequada para utilização em muitos produtos de papel, tais como papel para escrever e imprimir, papelcartão, etc. [6-8].

Vu *et al.* [9] estudaram a polpação kraft e a subsequente deslignificação com oxigênio da polpa de bambu, tendo verificado que uma elevada sulfidez (35%-45%) e um baixo AE (álcali efetivo) (14%-16%) resultavam em celulose com viscosidade mais alta e em rendimento maior em comparação com cozimento com baixa sulfidez (0%-15%) e elevado AE (16%-18%). Com o mesmo grau de deslignificação, isto é, entre números kappa 17 e 25, a viscosidade mais alta obtida mediante cozimentos com alta sulfidez e baixo AE também foi observada após a deslignificação com oxigênio [9]. Assim, o cozimento kraft de bambu comportou-se de maneira semelhante ao cozimento kraft de madeira de fibras longa ou curta, em que é notório o fato de que sulfidez mais alta aumenta a seletividade do cozimento [10-12].

Estudo anterior sobre polpação de bambu, que incluiu variação de temperatura de 5°C, chegou às seguintes conclusões a números kappa 10-15: carga mais alta de álcali (22%-25% AE), sulfidez mais elevada (23%-28%) e temperatura mais baixa em combinação com tempo de cozimento mais curto proporcionaram melhores rendimento, alvura e viscosidade da celulose depurada [13]. A viscosidade mais alta da celulose obtida (150 dm^3/kg superior àquela de Vu *et al.* [9]) a determinado número kappa em comparação àquela de Vu *et al.* foi provavelmente causada não somente por um melhor tratamento prévio dos cavacos com vapor antes da adição de licor branco e da elevada pressão do gás aplicada durante a fase de impregnação, mas também pela adoção de temperatura de cozimento mais baixa.

Cao *et al.* [14] avaliaram a qualidade da celulose de bambu a partir de dois métodos de cozimento de laboratório diferentes: cozimento contínuo modificado prolongado (semelhante ao EMCC - *extended modified continuous cooking*) e cozimento kraft convencional (CKC). Os resultados indicaram que o processo EMCC apresentava seletividade de deslignificação mais alta do que o cozimento kraft convencional (CKC), resultando em rendimento depurado mais alto, quantidade menor de rejeitos de depuração, viscosidade mais alta e melhores propriedades de resistência a um mesmo grau de deslignificação. Isso está em conformidade com os princípios básicos do cozimento kraft modificado que foi desenvolvido na década de 80 por Hartler, Teder e seus colaboradores [15,16].

Do acima, é possível constatar que as condições de polpação podem afetar substancialmente as qualidades da celulose não-branqueada e da celulose branqueada resultantes; ter

pendence on imported fibres, the Chinese paper industry has the challenge of increasing focus on traditionally-used non-wood fibres, and improving utilization of these fibres, especially bamboo [4]. Bamboo is an excellent raw material for making pulp and paper; a bamboo fibre is 1.5-4.4 mm in length and 7-27 μm in width [5], and thus the fibre dimensions are comparable to wood. The high strength of bamboo pulp makes it suitable for use in many paper products, such as printing and writing paper, paperboard, etc. [6-8].

Vu et al. [9] studied the kraft pulping and subsequent oxygen delignification of bamboo, and found that high sulphidity (35%-45%) and low EA (14%-16%) resulted in both a higher pulp viscosity and pulp yield compared with cooking at low sulphidity (0%-15%) with high EA (16%-18%). At the same degree of delignification, i.e. between kappa numbers 17-25, the higher viscosity obtained from the high sulphidity and low EA cooks was also observed after oxygen delignification [9]. Thus, the bamboo kraft cook behaved in a similar way to the kraft cooking of softwood or hardwood, where it is well known that a higher sulphidity increases the selectivity of the cooking [10-12].

A previous study of bamboo pulping, which included a temperature variation of 5°C, reached the following conclusions at kappa numbers 10-15: a higher alkali charge (22%-25% EA), a higher sulphidity (23%-28%), a lower temperature in combination with a shorter cooking time gave better yield, brightness and viscosity of screened pulp [13]. The higher pulp viscosity obtained (150 dm^3/kg higher than that of Vu et al. [9]) at a given kappa number versus that of Vu et al. was probably caused not only by better steam pretreatment of the chips prior to the addition of white liquor and the high gas pressure used during the impregnation phase, but also by the lower cooking temperature used.

Cao et al. [14] evaluated the quality of the bamboo pulp from two different laboratory cooking methods: extended modified continuous cooking (similar to EMCC cooking) and conventional kraft cooking (CKC). The results indicated that the EMCC process had higher delignification selectivity than conventional kraft cooking (CKC), resulting in a higher screened yield, lower amount of screening rejects, higher viscosity and better strength properties at the same degree of delignification. These are in agreement with the basic principles of modified kraft cooking that were developed in the 1980s by Hartler, Teder, and their coworkers [15,16].

It can be learned, from above, that pulping conditions can substantially affect the qualities of unbleached pulp and the resulting bleached pulp; a better understanding

entendimento melhor do efeito das condições de polpação nas propriedades da celulose e das fibras poderá levar a métodos melhores de produzir produtos finais de boa qualidade. O objetivo deste estudo foi de elucidar o impacto de diferentes condições de cozimento nas propriedades da celulose e das fibras de polpas de bambu não-branqueadas, e de examinar a relação entre as propriedades das fibras e da celulose mais atentamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cavacos de bambu comercial (3 a 5 anos de idade, espécies meridionais mistas), procedentes da Guangdong Shaoneng Group Co. Ltd., filial da Indústria de Papel Zhuji, da cidade de Shaoguan, Província de Guangdong, China, foram cozidos no laboratório. Os cavacos foram selecionados manualmente para remover serragem, cavacos superdimensionados e nós, e o tamanho aceito dos cavacos de bambu tinha espessura máxima de 5mm e comprimento de cerca de 35mm. Uma celulose comercial kraft de bambu não-branqueada de número kappa 26,6 e viscosidade de 1080 dm³/kg foi usada como referência. Essa polpa foi obtida da Liuzhou Zhongzhu Paper Co. Ltd., da cidade de Liuzhou, da Província de Guangxi, China, que pratica temperatura de cozimento de 165°C e sulfidez de 17%-20%.

Seis autoclaves de 2,5 litros em cada série foram carregadas com cavacos secos ao ar (200g absolutamente secos em cada autoclave). Em seguida, as autoclaves foram conectadas a uma válvula de vapor e pré-aquecidas com vapor a pressão de 2 bar durante 10 minutos. Licor branco, preparado com NaOH e Na₂S de qualidade técnica, foi então adicionado na proporção licor para madeira de 4:1. Na sequência, as autoclaves foram pressurizadas a 9 bar com nitrogênio e pré-aquecidas durante 30 minutos em banho de polietileno glicol a 90°C. A pressão foi então aliviada e a temperatura elevada até a temperatura final de cozimento à razão de 1°C por minuto. Por fim, as reações de cozimento kraft foram concluídas mediante a remoção das autoclaves e sua colocação em banho de resfriamento com água fria. As amostras de celulose obtidas foram meticulosamente lavadas com água deionizada antes de serem desagregadas, centrifugadas e homogeneizadas.

Rejeitos e rendimento de celulose não-branqueada foram medidos gravimetricamente. As amostras de celulose foram analisadas quanto a número kappa, viscosidade e alvura de acordo com métodos das normas ISO 302, 5351 e 2470, respectivamente. As composições do carboidrato das celulosas foram determinadas por cromatografia de alto desempenho (HPLC) após hidrólise ácida conforme Puls *et al.* [17], e o conteúdo de ácido hexenurônico (HexA) mediante hidrólise ácida da celulose em solução-tampão de formiato, seguida por medições de absorção UV em 243 nm ($\epsilon=8700 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) do ácido 2-furanocarboxílico (FA) formado no produto da hidrólise [18].

Foram adotados dois procedimentos diferentes para o cozimento kraft: um utilizando temperatura de cozimento mais alta

of the effect of pulping conditions on pulp and fiber properties may lead to better ways to produce final products of good quality. The aim of this study was to elucidate the impact of various cooking conditions on the properties of the pulp and the fibres of unbleached bamboo pulps, and to examine the relationship between the properties of the fibres and the pulp more closely.

MATERIALS AND METHODS

Commercial bamboo chips (3-5 years old, mixed southern species) from Guangdong Shaoneng Group Co. Ltd., Zhuji Paper Industry Branch, Shaoguan city, Guangdong Province, China, were cooked in the laboratory. The chips were sorted by hand to remove sawdust, oversized chips and knots, and the accepted size of the bamboo chips had a thickness of maximum 5mm and a length of about 35mm. A commercial unbleached bamboo kraft pulp of kappa number 26.6 and viscosity 1080 dm³/kg was used as a reference. This was obtained from the Liuzhou Zhongzhu Paper Co. Ltd., Liuzhou city, Guangxi Province, China, which uses a cooking temperature of 165°C and a sulphidity of 17%-20 %.

Six 2.5 litre autoclaves in each series were filled with air dried chips (200g o.d. in each autoclave). These were then connected to a steam valve and pre-treated with steam at a pressure of 2 bar for 10 minutes. White liquor, prepared from technical grade NaOH and Na₂S, was then added at a liquor-to-wood ratio of 4:1. The autoclaves were then pressurized at 9 bar with nitrogen gas and pre-warmed for 30 minutes in a 90°C polyethylene glycol bath. The pressure was then released and the temperature was increased to the final cooking temperature at a rate of 1°C per minute. The kraft cooking reactions were finally terminated by removing the autoclaves and placing them in a cooling bath filled with cold water. The samples of pulp obtained were washed thoroughly with deionized water before being disintegrated, centrifuged and homogenized.

*Rejects and the yield of unbleached pulp were measured gravimetrically. The samples of pulp were analyzed for kappa number, viscosity and brightness according to ISO standard method 302, 5351 and 2470, respectively. The carbohydrate compositions of the pulps were determined by high performance chromatography (HPLC) after acidic hydrolysis according to Puls *et al.* [17] and the hexenuronic acid (HexA) content by acid hydrolysis of the pulp in formiate buffer solution, followed by measurements of the UV absorption at 243 nm ($\epsilon=8700 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) of the 2-furanocarboxylic acid (FA) formed in the hydrolysate [18].*

Two different kraft cooking procedures were used: one using a higher cooking temperature and shorter

e tempo de cozimento mais curto (indicado como A) e o outro empregando temperatura de cozimento mais baixa e tempo de cozimento mais longo (indicado como B). As condições selecionadas para as polpações A e B baseiam-se nas duas diferentes tecnologias de polpação kraft adotadas nas fábricas chinesas de celulose de bambu. Nas fábricas de celulose kraft tradicionais usa-se temperatura de cozimento em torno de 165°C, enquanto nas fábricas de celulose de bambu novas ou reformadas é usualmente praticado cozimento a temperatura de 140-142°C. A temperatura mais baixa resulta normalmente celulose mais resistente, de melhor branqueabilidade e custos operacionais reduzidos [19]. Neste estudo usamos uma diferença de temperatura de cerca de 10°C entre as duas modalidades de cozimento para tornar o estudo interessante para fábricas de celulose existentes interessadas em ajustar seu processo de cozimento, mas onde redução de temperatura superior a 10°C causaria capacidade de cozimento demasiado baixa. As condições adotadas estão indicadas na seção “Resultados e Discussões”.

As dimensões e defeitos das fibras (fator de forma, número de torções e comprimento dos segmentos) foram medidos com utilização de um Fibretester® na Eka Chemicals, Suécia. Deslocamentos das fibras foram determinados utilizando tratamento HCl conforme Ander *et al.* [20]. O zero-span reumedecido foi testado com equipamento Pulmac na Stora Enso, de Karlstad, Suécia, de acordo com ISO 15361.

Folhas manuais (60 g/m²) foram preparadas conforme método da norma ISO 3688, com circulação de água branca (6 circulações antes da preparação da folha), de maneira a permitir medições da resistência da celulose e análises do índice de zero-span. As propriedades mecânicas de resistência (tração, estouro, rasgo) foram determinadas de acordo com ISO 1924-3, 2758 e 1974:1900, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As condições de cozimento utilizadas, os resultados de cozimento obtidos para as duas séries de cozimento A (alta temperatura) e B (baixa temperatura) e os dados correspondentes à celulose industrial não-branqueada (M) estão indicados na **Tabela 1**. A baixa sulfidez usada neste estudo foi comparável às condições costumeiras em fábricas de celulose chinesas.

Pode-se ver na tabela que os números kappa obtidos estavam entre 9,8 e 26,6, e a alvura entre 30% e 41% ISO. As quantidades de rejeito foram baixas em todos os casos, isto é, de 0,0%-0,3%, calculadas sobre a quantidade de cavacos. Os níveis de álcali residual foram de 11-14 g/L, isto é, suficientemente altos para evitar precipitação de lignina na parte final do cozimento.

Efeito da cinética de cozimento

A **Figura 1** mostra que o cozimento a temperatura mais alta aumentou consideravelmente a velocidade de cozimento, o que era de se esperar. Os dados indicaram que a energia de ativação

cooking time (denoted as A) and the other using a lower cooking temperature and longer cooking time (denoted as B). The conditions chosen for A and B pulping are based on the two different kraft pulping technologies used in the bamboo pulp mills in China. Cooking temperature around 165°C is used in the traditional kraft pulp mills; while for new-built or modified bamboo pulp mills cooking is usually done at a temperature of 140-142°C. The lower temperature leads usually to a stronger pulp, better bleachability and reduced operational costs [19]. In this study we have used a temperature difference of about 10°C between the two cooking modes to make the study interesting for existing pulp mills that would like to adjust their cooking process, but where a reduction in temperature of more than 10°C would lead to too low cooking capacity. The conditions used are given in the chapter “Results and Discussion”.

*The dimensions and defects of the fibres (shape factor, number of kinks and segment length) were measured using a Fibretester® at Eka Chemicals, Sweden. Fibre dislocations were determined using the HCl treatment according to Ander *et al.* [20]. Rewetted zero-span was tested by using the Pulmac equipment at Stora Enso, Karlstad, Sweden, according to ISO 15361.*

Hand sheets (60 g/m²) were prepared according to the ISO standard method 3688, with white water circulation (6 circulations prior to sheet preparation), so that pulp strength measurements and zero-span index analyses could be made. The mechanical strength properties (tensile, burst, tear) were determined according to ISO 1924-3, 2758, 1974:1900 respectively.

RESULTS AND DISCUSSIONS

*The cooking conditions used, the cooking results obtained for the two cooking series A (high temperature) and B (low temperature), and the corresponding data for the unbleached mill pulp (M) are all shown in **Table 1**. The low sulphidity used in this study was comparable to conditions prevalent in Chinese pulp mills.*

It can be seen in the table that the kappa numbers obtained were between 9.8 and 26.6, and the brightness between 30% and 41% ISO. The amounts of reject were low in all cases, i.e. 0.0%-0.3% calculated on the amount of chips. The levels of residual alkali were 11-14 g/L, i.e. high enough to avoid lignin precipitation in the final part of the cook.

Effect of cooking kinetics

Figure 1 shows that cooking at a higher temperature increased the cooking rate considerably, which could be expected. The data indicated that the activation energy

Tabela 1. As condições de cozimento usadas e algumas características de celulose de bambu não-branqueada / **Table 1.** The cooking conditions used and some characteristics of unbleached bamboo pulp

Amostra Sample	AE (%) EA (%)	Sulf. (%) Sulph.(%)	Temp. (°C) Temp. (°C)	Tempo (min) Time (min)	Número kappa Kappa number	Viscosidade (dm ³ /kg) Viscosity (dm ³ /kg)	Alvura (%ISO) Bright-ness (%ISO)	Álcali residual (g/L) Residual alkali (g/L)	Rendim. depurado (%) Screened yield (%)	Rejeitos (%) Rejects (%)
M*	20,6	17-20	165	60	26,6	1080	30,4	-	-	-
A1	24	26	163	75	10,4	1056	40,9	12,4	46,1	0,0
A2	21	26	163	25	18,9	1244	36,4	11,2	47,9	0,2
A3	21	18	155	35	24,9	1182	35,3	13,6	49,9	0,3
B1	23	25	155	180	9,8	1032	40,4	11,6	46,9	0,0
B2	20	25	145	120	20,2	1299	35,3	11,4	50,1	0,1
B3	20	25	145	75	26,3	1176	33,9	12,6	51,6	0,3

* A relação licor para madeira foi de 3:1, tempo de temperatura ambiente a temperatura de cozimento foi de 180min / * The liquor to wood ratio was 3:1, time from ambient temperature to cooking temperature is 180min

para reações da lignina conforme equação de Arrhenius foi de aproximadamente 115±10 kJ/mol, confirmando desta maneira que aumento de temperatura de 9°C resultou em aumento de 100% na taxa de cozimento. Esta é uma energia de ativação ligeiramente inferior se comparada com estudos anteriores realizados por Andersson *et al.* [10] em celulose kraft de madeira de fibra longa.

Efeito na viscosidade da celulose

Pode-se ver, na **Figura 2**, que a viscosidade da celulose a dado número kappa foi ligeiramente menor no cozimento a temperatura mais alta (Caso A), o que era previsto, pois as condições adotadas no caso B foram mais suaves. Também é interessante notar que houve aumento de viscosidade para ambas as séries de cozimentos quando o número kappa baixou de 27 para cerca de 18. Houve, contudo, redução da viscosidade desde aproximadamente número kappa 18 para os números

for lignin reactions according to the Arrhenius equation was approximately 115±10 kJ/mol, thereby confirming that an increase in temperature of 9°C resulted in a 100% increase in the cooking rate. This is a slightly lower activation energy compared to earlier studies carried out by Andersson *et al.* [10] on softwood kraft pulp.

Effect on pulp viscosity

It can be seen, in **Figure 2**, that the pulp viscosity at a given kappa number was slightly lower for cooking at the higher temperature (Case A), which could be expected since the conditions used in Case B were milder. It is also interesting to note that there was an increase in viscosity for both cooking series when the kappa number dropped from 27 to about 18. However, there was a decrease in viscosity from around kappa number 18 to lower kappa

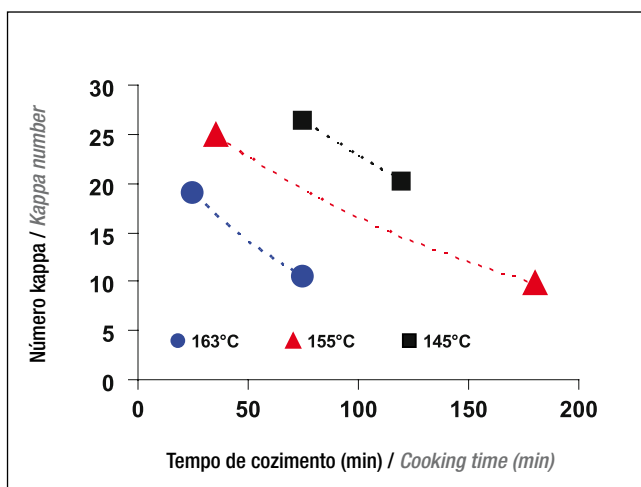


Figura 1. Número kappa versus tempo de cozimento a três temperaturas diferentes / **Figure 1.** Kappa number versus cooking time at three different temperatures

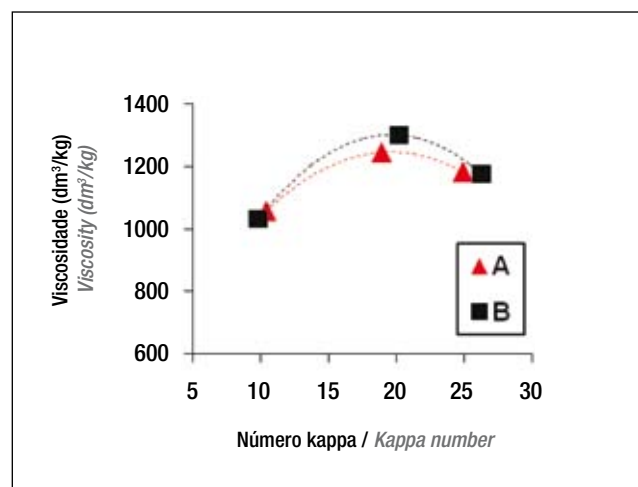


Figura 2. Viscosidade da celulose versus número kappa para as celuloses A e B / **Figure 2.** Pulp viscosity versus kappa number for the A and B pulps

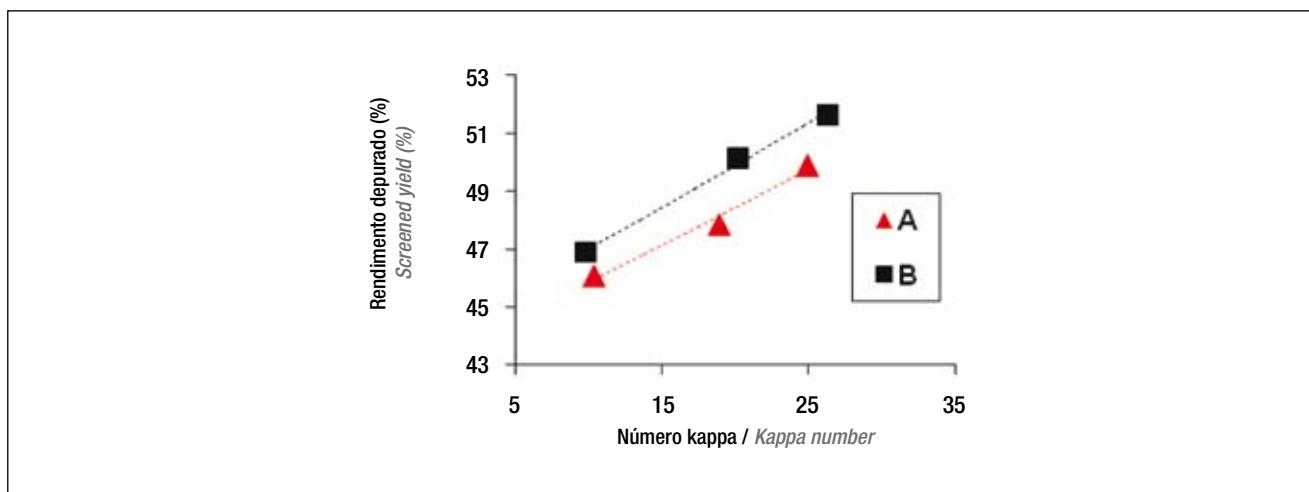


Figura 3. Rendimento em celulose depurada *versus* número kappa para as polpas A e B
Figure 3. Screened pulp yield versus the kappa number for the A and B pulps

kappa mais baixos. Esse comportamento pode ser também encontrado no estudo de Vu, onde foi descrito como devido à relativa diminuição da quantidade de hemicelulose até o número aproximado de kappa 18 [9]. Abaixo do número aproximado kappa 18 a redução da viscosidade foi muito provavelmente resultado da intensificação da divisão de cadeias de celulose.

Efeito no rendimento em celulose

A **Figura 3** mostra o rendimento em celulose depurada *versus* número kappa para as celuloses A e B. Resulta óbvio que a dado número kappa tenha sido obtido rendimento de celulose mais alto para as celuloses B: a menor temperatura foi portanto mais seletiva do que a temperatura mais alta, considerando-se os carboidratos. A diferença de 8-10°C na temperatura de cozimento significa que a diferença de rendimento a determinado número kappa foi cerca de 1,5% calculada sobre a madeira. Calculado sobre celulose, isso corresponde a rendimento maior em cerca de 3%.

Efeito na composição química das celuloses

As composições dos carboidratos dos cavacos de bambu e das amostras de celulose resultantes estão indicadas na **Tabela 2a**. Pode-se ver que as amostras consistiram basicamente de celulose e xilana, ao passo que o teor de glucomanano era muito baixo. Pode ser também constatado que o cozimento a temperatura mais baixa, série B, resultou em teor de xilana ligeiramente mais alto, ocorrendo, dessa forma, rendimento de celulose consideravelmente mais alto quando comparado com cozimento conforme a série A.

Os teores de lignina medidos como Klason e lignina solúvel em ácido para as oito amostras incluídas neste estudo estão indicados na **Tabela 2b**. Pode-se ver que o teor de lignina solúvel em ácido foi aproximadamente o mesmo para todas as amostras, enquanto a lignina Klason diminuiu com

numbers. This behavior can also be found in Vu's study, where it was described as being due to the relative decrease in the amount of hemicellulose down to about kappa number 18[9]. Below about kappa number 18 the decrease in viscosity was most probably the result of the increased splitting of cellulose chains.

Effect on pulp yield

Figure 3 shows the screened pulp yield versus kappa number for pulps A and B. It is obvious that, at a given kappa number, a higher pulp yield was obtained for the B pulps: the lower temperature was therefore more selective than the higher temperature vis-à-vis the carbohydrates. The 8-10°C difference in cooking temperature meant that the yield difference at a given kappa number was about 1.5% calculated on wood. Calculated on pulp, this corresponds to a higher yield of about 3%.

Effect on the chemical composition of the pulps

The carbohydrate compositions of the bamboo chips and of the resulting pulp samples are shown in Table 2a. It can be seen that the samples consisted basically of cellulose and xylan, whereas the glucomannan content was very low. It can also be seen that cooking at a lower temperature, series B, resulted in a slightly higher xylan content, and thereby resulted in a considerably higher pulp yield when compared to cooking according to series A.

The lignin contents measured as Klason and acid soluble lignin for the eight samples that were included in this study are shown in Table 2b. It can be seen that the acid soluble lignin content was about the same for all samples, while the Klason lignin went down with

Tabela 2a. Composição dos carboidratos das amostras de celulose de bambu, normalizada para indicar 100% de carboidratos calculados como % em peso / *Table 2a. The carbohydrate composition of the bamboo pulp samples, normalized to give 100% carbohydrates calculated as weight %*

Amostra / Sample	M	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Celulose / Cellulose	80,3	81,9	80,3	80,2	80,6	79,3	78,7
Glucomanano / Glucomanan	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Xilana / Xylan	19,5	18,0	19,5	19,6	19,3	20,5	21,1
Total / Total	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 2b. Teor de lignina dos cavacos de bambu e das amostras de celulose, calculado como % em peso com base no peso absolutamente seco dos cavacos de bambu / *Table 2b. The lignin content of the bamboo chips and of the pulp samples, calculated as weight % based on the oven-dried weight of the bamboo chips*

Amostra / Sample	Cavacos Chips	M	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Lignina Klason / Klason lignin	25,1	5,0	0,9	2,4	3,4	1,1	2,9	3,9
Lignina solúvel em ácido / Acid soluble lignin	2,0	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8
Lignina total / Total lignin	27,1	5,8	1,6	3,2	4,2	1,8	3,6	4,7

o aumento do grau de deslignificação. Os números kappa correspondentes às polpas estão indicados na Tabela 1.

O maior conteúdo de xilana da celulose B, quando comparado a determinado número kappa, está representado na **Figura 4**. A figura também mostra que a celulose industrial estava ligeiramente abaixo da curva da celulose A, indicando que o processo de polpação da fábrica era ligeiramente menos seletivo do que o cozimento conforme A. A diferença de rendimento entre as polpas A e B foi de cerca de 1,5% calculada sobre a madeira. Assim, a diferença de rendimento em celulose depurada entre as amostras A e B, como mostrado na Figura 3, foi devida principalmente à diferença no teor de xilana. Isto pode ser visto também na Tabela 2.

O teor de ácido hexenurônico das polpas está plotado em relação ao número kappa na **Figura 5**. De se observar que: 1) o teor de ácido hexenurônico é menor do que aquele típico de uma

increased degree of delignification. The corresponding kappa numbers for the pulps are given in Table 1.

The higher xylan content of pulp B, when compared at a given kappa number, is shown in **Figure 4**. The figure also shows that the mill pulp was slightly below the curve for pulp A, indicating that the mill pulping process was slightly less selective than cooking according to A. The yield difference between the A and B pulps was about 1.5% calculated on wood. Thus, the difference in yield of screened pulp between the A and B samples, as shown in Figure 3, was mainly due to the difference in the content of xylan. This can also be seen in Table 2.

The hexenuronic acid content of the pulps is plotted versus kappa number in **Figure 5**. Note that: 1) the hexenuronic acid content is lower than for a typical

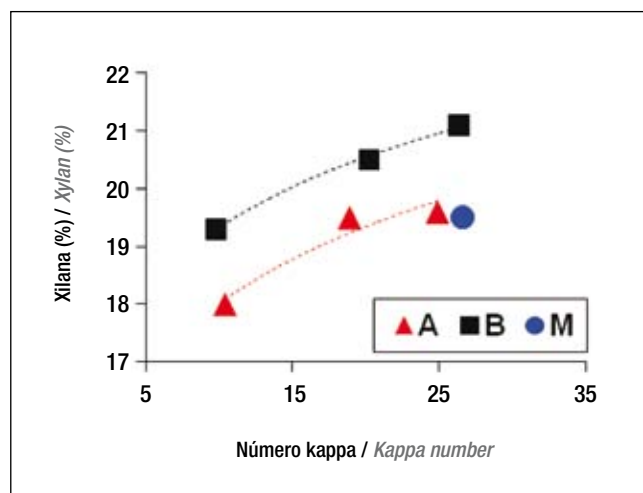


Figura 4. Teor de xilana nas amostras de celulose versus número kappa / *Figure 4. Content of xylan in the pulp samples versus kappa number*

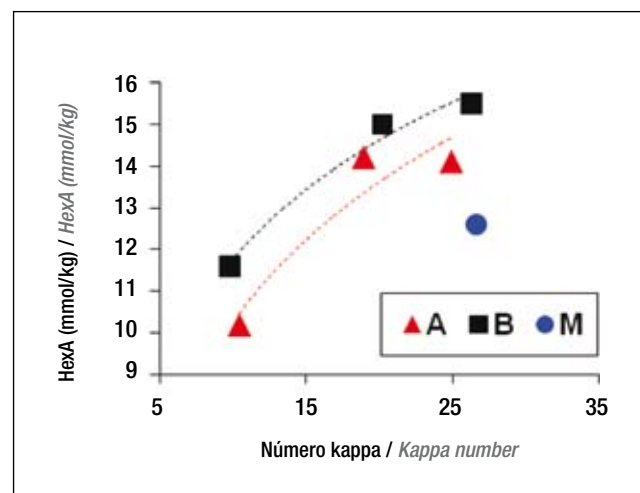


Figura 5. Teor de HexA nas amostras de celulose versus número kappa / *Figure 5. Content of HexA in the pulp samples versus the kappa number*

celulose de eucalipto normal, cujo teor de HexA é habitualmente 2-3 vezes maior; e 2) nossos números de HexA estão perfeitamente em acordo com os dados de estudo recente sobre polpação de bambu [21,22]. Pode-se ver que o teor de ácido hexenurônico a determinado número kappa foi maior para as polpas B, isto é, para a celulose com cozimento a temperatura mais baixa. Esse resultado está em conformidade com, por exemplo, Danielsson [23], que mostrou que o teor de ácido hexenurônico de celulose de bétula será bem baixo se um cozimento kraft for prolongado até baixos números kappa. O teor de ácido hexenurônico ficará reduzido quando determinado número kappa for obtido mediante aplicação de condições severas em vez de condições mais suaves ou com melhor impregnação dos cavacos. Portanto, cozimento em condições mais suaves, como, por exemplo, a temperatura mais baixa, resulta em teor de ácido hexenurônico mais alto quando comparado a um determinado número kappa do que cozimento a temperatura mais alta. As condições mais severas de processos industriais significam que o teor de ácido hexenurônico resulta muito mais baixo em uma celulose industrial do que em uma celulose de laboratório, comparadas a um certo número kappa.

Efeitos nas propriedades da celulose

A **Figura 6** representa índice de tração *versus* número kappa para polpas não-refinadas, mostrando que para as duas polpas de laboratório foi obtida a mesma correlação, enquanto a celulose industrial se situava em nível mais baixo. Como o índice de tração, segundo a teoria clássica, é função da resistência das fibras e da resistência da ligação entre as fibras, o ligeiro aumento do índice de tração de número kappa 26 para 20 é provavelmente devido a aumento da flexibilidade das fibras e ao rendimento mais baixo, resultando em fibras com teor de celulose mais alto e, portanto, maior resistência das fibras. Por outro lado,

eucalyptus pulp, where the HexA content usually is 2-3 times higher, and 2) our HexA numbers are excellently matching the data in a recent study on bamboo pulping [21,22]. It can be seen that the hexenuronic acid content at a given kappa number was higher for the B pulps, i.e. for the pulp that was pulped at the lower temperature. This result is in agreement with, for example, Danielsson [23], who has shown that the hexenuronic acid content of birch pulp becomes very low if a kraft cook is prolonged to low kappa numbers. The content of hexenuronic acid will be reduced when a given kappa number is obtained using harsher conditions rather than either milder conditions or better impregnation of the chips. Thus, cooking at milder conditions, for example, at a lower temperature, results in a higher hexenuronic acid content compared at a given kappa number than cooking at a higher temperature. The tougher conditions of industrial processes mean that the content of hexenuronic acid becomes much lower in a mill pulp than in a laboratory pulp compared at a given kappa number.

Effects on pulp properties

Figure 6 shows the tensile index versus kappa number for unrefined pulps and it shows that for the two lab pulps the same correlation was obtained while the mill pulp was on a lower level. As the tensile index, according to classical theory, is a function of the fibre strength and the fibre-fibre bonding strength, the slight increase in tensile index from kappa number 26 to 20 is probably due to increasing fibre flexibility and lower yield, leading to fibres with higher cellulose content and thus higher fibre strength. The reduc-

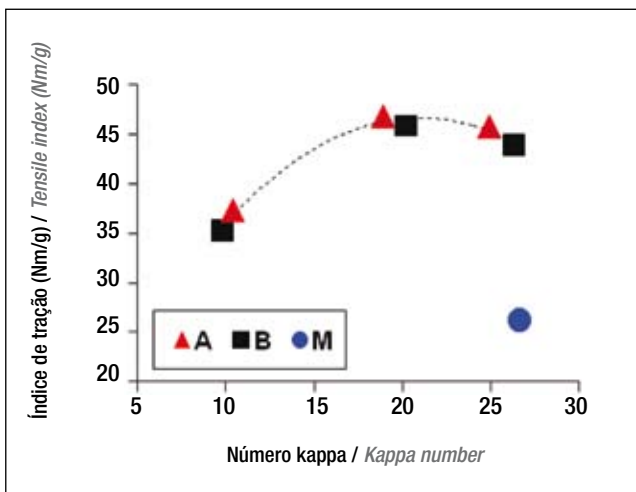


Figura 6. Índice de tração *versus* número kappa (as amostras de celulose não eram refinadas) / **Figure 6.** Tensile index versus kappa number (the pulp samples were unrefined)

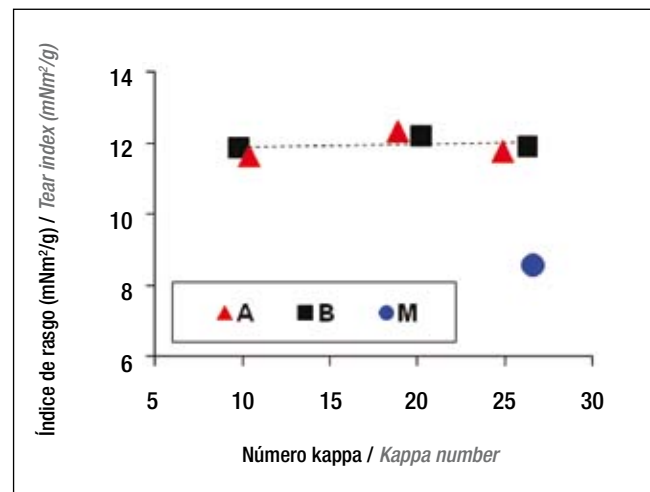


Figura 7. Índice de rasgo *versus* número kappa (as amostras de celulose não eram refinadas) / **Figure 7.** Tear index versus kappa number (the pulp samples were unrefined)

a redução da resistência à tração de número kappa 20 para 10 provavelmente reflete o caso em que as fibras se enfraquecem devido a maior quantidade de torções e deslocamentos das fibras, ou seja, menor resistência das fibras. A celulose industrial era muito mais fraca do que as celuloses de laboratório, o que era previsível em vista do índice zero-span mais baixo e do grau de deformação das fibras mais alto.

Celulose industrial muito mais fraca do que as polpas de laboratório era de se esperar considerando-se: 1) a celulose industrial se originava de tipo de cavacos de madeira diferente daquele usado em nosso estudo de cozimento em laboratório, e 2) em uma fábrica processos como cozimento, etc. não são homogêneos e a resistência da celulose é, portanto, mais pobre. Que a resistência da celulose industrial seja inferior à das polpas de laboratório é resultado do índice zero-span mais baixo e do maior grau de deformação da fibra.

O índice de rasgo mostrado na **Figura 7** foi independente do número kappa das polpas de laboratório. O índice de rasgo constante obtido para as polpas de laboratório foi provavelmente decorrente do fato de as amostras de celulose serem não-refinadas e a resistência da ligação entre as fibras ser, portanto, baixa. O índice de rasgo foi principalmente determinado, então, pela resistência das fibras. Contudo, isso deveria ter levado a índice de rasgo mais baixo com número kappa menor, conforme sugerido com referência à Figura 6, ou seja, que a resistência das fibras reduzia-se abaixo de número kappa 20. A resistência da ligação entre fibras era provavelmente muito baixa, de modo que a diminuída resistência das fibras nunca chegou a ser crítica para o índice de rasgo; no intervalo de número kappa estudado foi portanto obtido um mesmo índice de rasgo.

Efeito do cozimento nas propriedades da fibra

Da **Tabela 3** pode-se observar que as dimensões das fibras das polpas diferem tanto de um procedimento de cozimento para outro quanto no âmbito de cada procedimento de cozimento. Cozimento a alta temperatura dá origem a fibras mais

tion in tensile strength from kappa number 20 to 10, on the other hand, probably reflects the case when the fibres become weaker due to increasing amount of fibre kinks and fibre dislocations, i.e. lower fibre strength. The mill pulp was much weaker than the lab pulps, which could be expected from the lower zero-span index and a higher degree of fibre deformation.

Mill pulp much weaker than the lab pulps could be expected because: 1) the mill pulp was based on a different type of wood chips than what was used in our lab cooking study and 2) in a mill the processes like cooking etc. are not homogenous and, therefore, is the pulp strength poorer. That the strength of the mill pulp is lower than the lab pulps is a result of the lower zero-span index and a higher degree of fibre deformation.

The tear index shown in Figure 7 was independent of the kappa number of the laboratory pulps. The constant tear index obtained for the laboratory pulps was probably due to the fact that the pulp samples were unrefined and the fibre-fibre bonding strength was, therefore, low. The tear index was thereby mainly determined by the strength of the fibres. This, however, should have led to a lower tear index at low kappa number, as was suggested with reference to Figure 6, i.e. that the fibre strength became weaker below kappa number 20. The fibre-fibre bonding strength was probably very low, so the diminished fibre strength never became critical for the tear index; the same tear index was therefore obtained in the kappa number interval studied.

Effect of cooking on the fibre properties

From Table 3 it can be noted that the fibre dimensions of the pulps differ both from one cooking procedure to another and within each cooking procedure. Cooking at high temperature gives rise to straighter fibres and

Tabela 3. Propriedades das fibras das amostras de celulose de bambu / Table 3. Fibre properties of the bamboo pulp samples

Amostra Sample	Dimensões das fibras Fibre dimensions		Fator de forma (%) Form factor (%)	Número de torções Number of kinks		Deslocamen- tos por fibra Dislocations per fibre	Zero-span reumedec. Nm/g Rewetted zero- span Nm/g	WRV g/g WRV g/g
	Compr. (médio) (mm) Length(L.W.) (mm)	Larg. (µm) Width (µm)		por fibra per fibre	por mm per mm			
M	1,56	19,1	84,1	0,90	0,73	1,18	108	1,29
A1	1,56	18,2	85,0	0,81	0,64	1,19	130	1,40
A2	1,62	18,1	87,8	0,54	0,42	0,91	160	1,50
A3	1,58	18,2	89,2	0,46	0,37	0,43	158	1,50
B1	1,57	18,3	83,0	0,97	0,78	1,22	117	1,40
B2	1,59	18,0	87,1	0,64	0,51	0,67	144	1,52
B3	1,62	17,9	88,6	0,50	0,38	0,54	150	1,58

WRV - Índice de retenção de água

retas e a número menor de torções por fibra em comparação a cozimento a baixa temperatura. Além disso, com número kappa crescente as fibras de ambas as polpas A e B tinham menos torções e deslocamentos, e as fibras eram mais retas.

A **Figura 8** mostra o índice zero-span reumedecido - que é medida da resistência individual da fibra -, versus número kappa. Pode-se verificar que número kappa mais alto leva a fibras de celulose mais resistentes e o cozimento a temperaturas mais altas (celuloses A) tem efeito positivo na resistência individual da fibra. Isso pode ser explicado por uma combinação de fatores, isto é, menor rendimento em celulose e menos defeitos das fibras no caso das celuloses A. Com efeito, plotando-se o valor zero-span reumedecido versus o número de torções pode ser observada boa correlação para as celuloses cozidas em laboratório, isto é, quanto mais torções, mais baixo o valor zero-span.

As resistências mecânicas do papel são normalmente tidas como decorrentes da combinação da força de ligação da fibra e da resistência da fibra. Todavia, Mohlin *et al.* [24] assinalaram o fato de que a presença de defeitos da fibra que levam a torções e encurvamentos na fibra da madeira, isto é, a mudanças abruptas na direção do eixo, é de grande importância e deve ser levada em conta ao se discutir propriedades mecânicas do papel.

Deslocamentos das fibras originam-se de impactos mecânicos como picagem, polpação, refinação, secagem, etc. O número de deslocamentos das fibras é boa medida da quantidade de defeitos das fibras e é interessante observar que o número de deslocamentos aumenta à medida que o número kappa diminui para ambas as polpas A e B, indicando que os deslocamentos são gerados localmente, ao longo das fibras, durante o cozimento (ver **Figura 9**). É natural que número crescente de deslocamentos influencie a resistência das fibras e, portanto, a resistência da celulose. Também está claro que

less number of kinks per fibre in comparison to cooking at low temperature. Furthermore, with increasing kappa number the fibres from both the A and B pulps had less kinks and dislocations, and the fibres are straighter.

Figure 8 shows the rewetted zero-span index - which is a measure of single fibre strength -, versus the kappa number. It can be seen that higher kappa number leads to stronger pulp fibres and cooking at higher temperature (A pulps) has a positive effect on the single fibre strength. This may be explained by a combination of factors, i.e. lower pulp yield and less fibre defects for the A-pulps. Indeed, if plotting the rewetted zero-span value versus the number of kinks a good correlation can be noted for the laboratory cooked pulps, i.e. the more the kinks the lower the zero-span value.

The mechanical properties of paper are usually considered only as due to a combination of fibre bonding and fibre strength. However, Mohlin *et al.* [24] pointed out that the presence of fibre defects that lead to kinks and curls in wood fibre, i.e. to abrupt changes in the direction of the axis, is of high importance and has to be taken in to account when discussing mechanical properties of paper.

Fibre dislocations originate from mechanical impacts such as chipping, pulping, refining, drying, etc. The number of fibre dislocations is good measurement of the amount of fibre defects and it is interesting to note that the number of fibre dislocations increases with decreasing kappa number for both the A and B pulps, indicating that the dislocations are generated locally along the fibres during cooking (see **Figure 9**). Increasing number of dislocations is naturally influencing the fibre strength and thus the pulp strength. It

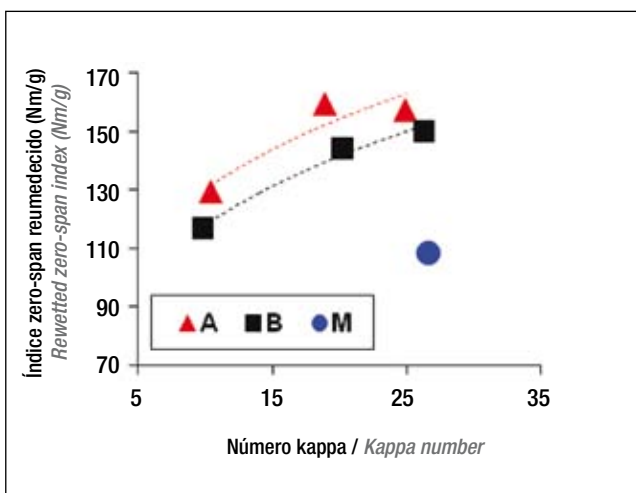


Figura 8. Espaçamento zero-span reumedecido versus número kappa para todas as polpas/ **Figure 8.** Rewetted zero-span versus kappa number for all of the pulps

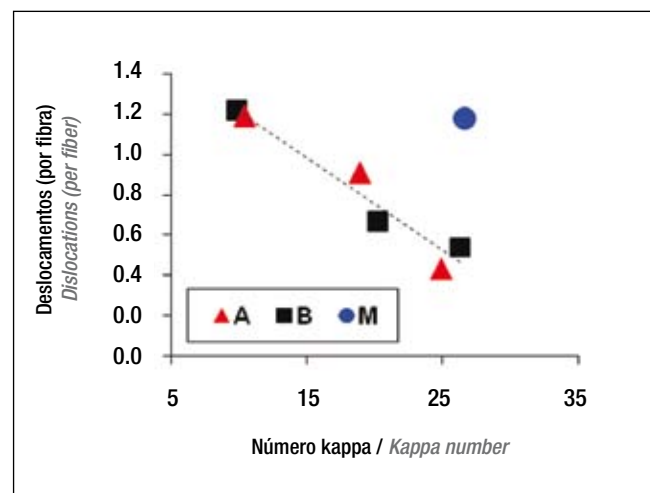


Figura 9. Deslocamentos versus número kappa para todas as amostras de celulose / **Figure 9.** Dislocations versus kappa number for all of the pulp samples

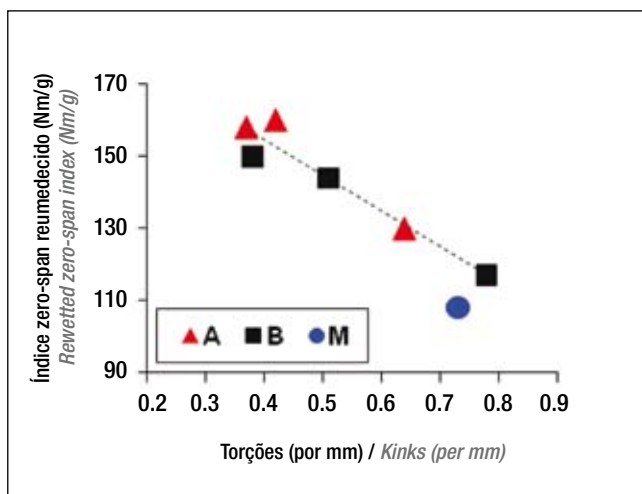


Figura 10. Zero-span reumedecido versus número de torções nas fibras / *Figure 10.* Rewetted zero-span versus the number of kinks on the fibres

a celulose industrial apresenta muito mais deslocamentos do que as celuloses de laboratório a igual número kappa. É interessante observar que também para celulose kraft de madeira de fibra longa as fibras de laboratório são menos deslocadas em comparação a fibras produzidas em fábrica [25].

Foi obtida boa correlação para as polpas cozidas em laboratório quando o número de torções foi plotado versus índice zero-span reumedecido, isto é, mais torções resultaram em valores zero-span mais baixos – ver **Figura 10**.

A **Figura 11** mostra a correlação entre índice de tração e índice zero-span reumedecido para as celuloses; pode ser vista forte correlação entre os dois parâmetros para as polpas cozidas em laboratório. Assim, fibras mais fracas, conforme definido pelo índice zero-span reumedecido, resultaram em celulose de menor resistência. Se os resultados da Figura 11 forem universais, uma conclusão prática a ser tirada é que testar ambos, índice de tração e zero-span reumedecido de celuloses não refinadas, não é necessário quando estiver em análise uma amostra específica de celulose.

Comparada às polpas de laboratório A3 e B3, a celulose industrial M demonstrou propriedades mecânicas mais pobres (Figuras 6 e 7) e isso pode ser explicado pela menor resistência das fibras e pelos defeitos mais frequentes nas fibras dessa celulose M (Tabela 3). Pode-se observar na Tabela 3 que a celulose M acusou mais torções e deslocamentos por fibra em comparação àqueles das polpas A3 e B3, o que, por sua vez, resultou em menor valor zero-span reumedecido. O fator de forma da celulose M foi também menor que aquele das polpas de laboratório indicando fibras menos retas e isso, em conjunto, reduziu a resistência da celulose. Como o WRV da celulose pode ser usado inclusive para uma avaliação aproximada da capacidade de ligação entre fibras [26], a menor resistência mecânica da celulose M poderia ser também devida à menor capacidade de ligação entre fibras em comparação às celuloses de laboratório.

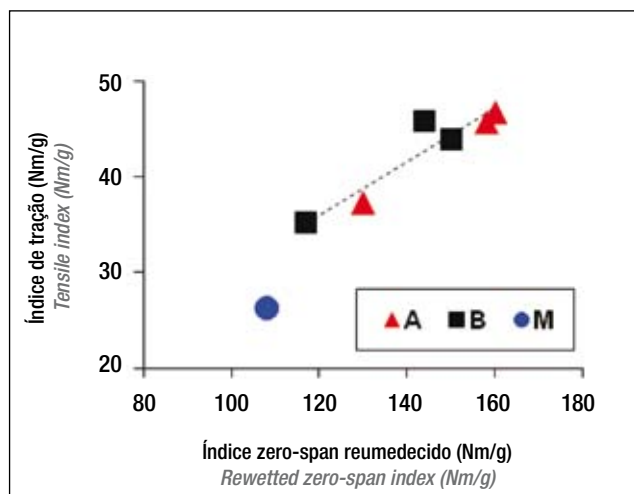


Figura 11. Correlação entre índice de tração e índice zero-span reumedecido / *Figure 11.* Correlation between tensile index and rewetted zero-span index

is also clear that the mill pulp has much more dislocations than the laboratory pulps at a certain kappa number. It is interesting to note that also for softwood kraft pulp the laboratory fibres are less dislocated as in comparison with mill produced fibres [25].

A good correlation was obtained for the laboratory cooked pulps when the number of kinks were plotted versus the rewetted zero-span index, i.e. more kinks resulted in lower zero-span values, see **Figure 10**.

Figure 11 shows the correlation between tensile index versus rewetted zero-span index for the pulps; a strong correlation between the two parameters for the laboratory cooked pulps can be seen. Thus, weaker fibres as defined by rewetted zero-span index resulted in a pulp of lower strength. If the results in Figure 11 are universal, a practical conclusion that can be drawn is that testing both the tensile index and rewetted zero-span of unrefined pulps is not necessary when analyzing a particular sample of pulp.

Compared with the lab pulps A3 and B3, the mill pulp M gave poorer mechanical properties (Figures 6 and 7), and this can be explained by the weaker fibre strength and the more frequent fibre defects of pulp M (Table 3). It can be seen in Table 3 that pulp M gave more kinks and dislocations per fiber compared to that of pulps A3 and B3, which, in turn, led to reduced rewetted zero-span value. The shape factor of pulp M was also lower than that of the lab pulps which indicated less straight fibres, and this, together, reduced the pulp strength. As WRV of pulp can also be used for a crude evaluation of the fibre-fibre bonding ability [26], inferior mechanical strength of pulp M might also be due to a poorer bonding ability between the fibres, compared to the lab pulps.


CONCLUSÕES

1. Cozimento kraft de cavacos de bambu a temperatura de cozimento 8-10°C inferior, e portanto com tempo de cozimento mais longo, resultou em rendimento de celulose 1,5% maior calculado sobre cavacos absolutamente secos. Isso também resultou em viscosidade ligeiramente superior da celulose e em índice zero-span ligeiramente inferior, comparado a dado número kappa.

2. A celulose kraft de bambu consistiu principalmente de celulose e xilana; cozimento a temperatura mais baixa por tempo de cozimento mais longo resultou em conteúdo de celulose ligeiramente superior e em conteúdo de xilana significativamente maior, comparado a dado número kappa.

3. A variação das condições de cozimento não teve efeito na resistência da celulose e nas dimensões das fibras. No entanto, cozimento até número kappa mais baixo induziu a mais deslocamentos das fibras, o que reduziu a resistência tanto das fibras quanto da celulose. Comparado a dado número kappa, cozimento a temperatura mais baixa por tempo mais longo induziu a quantidade ligeiramente maior de torções das fibras, mas ao mesmo número de deslocamentos.

AGRADECIMENTOS

São devidos agradecimentos à Eka Chemicals AB, Suécia, pelo generoso suporte financeiro a Sanchuan Guo através de bolsa de estudos e a Maureen Sondell pela revisão linguística do manuscrito. 


CONCLUSIONS

1. Kraft cooking of bamboo chips at 8-10°C lower cooking temperature, and thus a longer cooking time, resulted in a pulp yield that was 1.5% higher, calculated on oven-dried chips. This also resulted in a slightly higher pulp viscosity and a slightly lower zero-span index, compared at a given kappa number.

2. The kraft bamboo pulp consisted mainly of cellulose and xylan; cooking at a lower temperature and longer cooking time resulted in a slightly higher content of cellulose and significantly higher content of xylan, compared at a given kappa number.

3. The variation of the cooking conditions had no effect on the pulp strength and fibre dimensions. However, cooking to a lower kappa number induced more fibre dislocations, which reduced the strength of both the fibres and the pulp. Compared at a given kappa number, cooking at a lower temperature and longer cooking time induced slightly more fibre kinks, but the same number of dislocations.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks are due to Eka Chemicals AB, Sweden, for their generous financial support of Sanchuan Guo via a scholarship and to Maureen Sondell, for linguistic revision of the manuscript. 

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. China Paper Industry Report Year 2006. China Paper Association, May, 2007.
2. China Paper Industry Report Year 2007. China Paper Association, May, 2008.
3. China Paper Industry Report Year 2008. China Paper Association, April, 2009.
4. *The national special plan of the forest-paper integration project construction in "the tenth five years" and 2010*. National development and reform commission, People's Republic of China, Jan. 6th, 2004.
5. Ilvessalo-Pfäffli, M.-S., 1995. *Fibre Atlas-Identification of Papermaking Fibres*. Springer, Heidelberg, Germany, p. 290.
6. Jeyasingam J. T., 1998. *Practical experience on paper making with non-wood fibres*. In: Proceedings of the Pulping Conference. Montreal, Quebec, Canada, 1998; Book 2, pp 767-774.
7. Tang H., 2005. *Manufacture of bamboo fibre based high brightness writing paper*. China pulp and paper, 24 (1), pp. 25-28.
8. Zhao G., Lai R., Nilsson J., He B. and Greschik T., 2008. *Some implications of an ECF bleaching sequence for bamboo fibre in the use of fine paper production*. 2nd International Papermaking & Environment Conference, Tianjin, China, 14-16 May, 2008, pp. 598-602.
9. Vu T.H.M., Pakkanen H. and Alen R., 2004. *Delignification of bamboo (Bambusa procera acher) Part 1*.

Kraft pulping and the subsequent oxygen delignification to pulp with a low kappa number. Industrial Crops and Products, 19 (1), pp. 49-57.

10. Andersson N., Wilson D. and Germgård U., 2003. *An improved kinetic model structure for softwood kraft cooking.* Nordic Pulp and Paper Research Journal, 18 (2), pp. 200-209.
11. Björklund M., 2004. *The link between kraft cooking and bleaching.* Ph.D. thesis, Department of Chemical Engineering, Karlstad University, Karlstad, Sweden.
12. Rydholm S.A., 1985. *Pulping processes*, Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, FL, USA.
13. Guo S., Zhan H., Johansson D., Germgård U., Basta J., Blom C. and Greschik T., 2006. *Optimization of bamboo pulping using factorial design.* 5th International Non-Wood Fibre Pulping and Papermaking Conference. New technologies in non-wood fibre, pulping and papermaking, Guangzhou, China, 8-10 Oct. 2006, pp. 155-159.
14. Cao S., Zhan H., Chen L. and Huang Y., 2006. *Comparison between Extended Delignification Cooking and Conventional Kraft Cooking of Bamboo*, Chemistry and Industry of Forest Products, 26 (2), pp.65-68.
15. Hartler N., 1978. *Extended delignification in kraft cooking – a new concept*, Svensk Papperstidning 81 (15), pp.483-484.
16. Johansson B., Mjöberg J., Sandström P. and Teder A. 1984. *Modified continuous kraft cooking-now a reality.* Svenska Papperstidning, 87 (10) pp. 30-35.
17. Puls J., Poutanen K., Körner H.-U. and Viikari L., 1985. *Biotechnical utilization of wood carbohydrates after steaming pretreatment.* Appl. Microbiol. And Biotechnol., vol.22, issue 6, pp. 416-423.
18. Vuorinen T., Fagerström P., Buchert J., Tenkanen M. and Teleman A., 1999. *Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps.* J. Pulp Pap. Sci., 25(5), pp. 155-162.
19. Andtbacka S., 2005. *A fiberline designed for bamboo pulping.* TAPPSA J., Nov. 2005.
20. Ander P., Hilden L. and Daniel G., 2008. *Cleavage of softwood kraft pulp fibres by HCl and cellulases.* Bioresources, 3(2), pp. 477-490.
21. Colodette J. L., Gomide J. L., Girard R., Jääskeläinen A-S., Argyropoulos D. S., 2002. *Influence of pulping conditions on eucalyptus kraft pulp yield, quality, and bleachability.* Tappi J., 1(1), pp. 14-20.
22. Salmela M., Alen R., Vu T.H.M., 2008. *Description of kraft cooking and oxygen-alkali delignification of bamboo by pulp and dissolving material analysis.* Industrial crops and products, 28(2008), pp. 47-55.
23. Danielsson S., Kisara K. and Lindström M.E., 2006. *Kinetic study of Hexenuronic and Methylglucuronic acid reactions in pulp and in dissolved xylan during kraft pulping of hardwood.* Ind. Eng. Chem. Res., 45(7), pp. 2174-2178.
24. Mohlin U-B. and Alfredsson C., 1990. *Fibre deformation and its implications in pulp characterization.* Nordic Pulp and Paper Research Journal, 5(4), pp. 172-179.
25. Ander P., Daniel G., Garcia-Lindgren C., Marklund A., 2005. *Characterization of industrial and laboratory pulp fibres using HCl, Cellulase and Fibermaster analysis.* Nordic Pulp and Paper Research Journal, 20(1), pp. 115-120.
26. Mohlin U-B. and Hornatowska J., 2006. *Fibre and sheet properties of Acacia and Eucalyptus.* Appita J., 59(3), pp. 225-230.



China Paper Shanghai

The 18th International Exhibition and Conference
Reaching All of Asia's Paper-Related Industries
In Conjunction with China SpecialPap 2010

September 15-17, 2010

INTEX Shanghai, Shanghai, China

Visit the premier event for the Asian pulp and paper industry!

- **400 exhibitors from over 20 countries** to showcase their latest equipment, technologies, products and services
- A **state-of-the-art Paper Industry Conference** taking place on Tuesday September 14, co-sponsored by Paper Engineers' Association of Finland and China Technical Association of Paper Industry
- Pre-register now free of charge at our website!
- Combine your visit to **China Paper** with a visit to the **World Expo Shanghai 2010**

Welcome to Shanghai September 15-17!

Organized by:



E. J. KRAUSE &
ASSOCIATES, INC.



Conference Organized by:



Official Publications:

www.chinapaperexpo.cn

