

Bambu: uma alternativa para o deficit de celulose de fibra longa no Brasil?

MFN -0423

N CHAMADA:

TITULO: Bambu: uma alternativa para o deficit de celulose de fibra longa no Brasil?

AUTOR(ES): GOMIDE, J.L.VIVONE, R.R.GALA, P.A.M.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 02.1. Matéria-Prima Fibrosa

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 21

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 21-25.11.1988

IMPRESSA: Sao Paulo, 1988, ABTCP

PAG/VOLUME: p.01-16,

FONTE: Congresso Anual da ABCP, 21, 1988, São Paulo, p.01-16

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR: bambu, pastas kraft

RESUMO: Este trabalho é uma análise global de várias pesquisas realizadas no Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa, procurando-se fazer um estudo das potencialidades silviculturais e, principalmente, tecnológicas do bambu como matéria-prima para a produção de celulose kraft de alta resistência. São apresentados dados silviculturais de produtividade, ainda preliminares, expressos em peso seco/ha/ano, de plantios comerciais de bambu e dados tecnológicos de vários estudos de produção laboratorial e de qualidade da celulose kraft de bambu. É feita uma análise comparativa com a celulose kraft de *Pinus elliottii*, evidenciando-se a grande potencialidade do bambu. Este estudo demonstra a viabilidade técnica da utilização do bambu como uma alternativa viável para diminuir o déficit de celulose de fibra longa no Brasil, havendo, entretanto, necessidade de continuação dos estudos, principalmente de otimização da polpação, de refino e de branqueamento da celulose

BAMBU: UMA ALTERNATIVA PARA O DEFICIT DE CELULOSE DE FIBRA
LONGA NO BRASIL?

José Lívio Gomide - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG

Rui Ribeiro Vivone - Indústria de Papéis Santo Amaro, Santo Amaro-BA

Pedro A.M. Gala - Indústria de Papéis Santo Amaro, Santo Amaro-BA

RESUMO

Este trabalho é uma análise global de várias pesquisas realizadas no Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa, procurando-se fazer um estudo das potencialidades silviculturais e, principalmente, tecnológicas do bambu como matéria-prima para a produção de celulose kraft de alta resistência. São apresentados dados silviculturais de produtividade, ainda preliminares, expressos em peso seco/ha/ano, de plantios comerciais de bambu e dados tecnológicos de vários estudos de produção laboratorial e de qualidade da celulose kraft de bambu. É feita uma análise comparativa com a celulose kraft de *Pinus elliottii*, evidenciando-se a grande potencialidade do bambu. Este estudo demonstra a viabilidade técnica da utilização do bambu como uma alternativa viável para diminuir o déficit de celulose de fibra longa no Brasil, havendo, entretanto, necessidade de continuação dos estudos, principalmente de otimização da polpação, de refino e de branqueamento da celulose.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, graças ao desenvolvimento de uma tecnologia nacional, é hoje o maior produtor e exportador mundial de celulose kraft branqueada de eucalipto, tendo sido produzido no País, em 1986, 2,4 milhões de toneladas desse tipo de celulose (ANFPC, 1986). Mesmo com essa situação privilegiada, é necessário a expansão da produção nacional, fato reconhecido tanto pelo setor empresarial como governamental, constando, inclusive, do II Programa Nacional de Celulose e Papel cujo objetivo básico é a duplicação da produção nacional de celulose e papel até 1995. O aumento da produção é de fundamental importância para o País, uma vez que as projeções de oferta e demanda de fibras para a produção de papel indicam um crescente déficit nos próximos anos. Esse considerável aumento da produção nacional de celulose deverá ser concentrado quase totalmente em madeira de eucalipto, conforme estudos realizados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social que já identificou programas de investimentos da ordem de US\$6,29 bilhões no setor de celulose e papel para o período de 1987 a 1995 (ASSIS, 1988).

Apesar do grande superavit brasileiro de celulose de fibra curta, o País ainda não atingiu a auto-suficiência em celulose de fibra longa, tendo sido autorizada pela CACEX a importação, em 1986, de cerca de 33,5 mil toneladas de celulose de conífera, num valor de quase 15 milhões de

dólares (ANFPC, 1986). Além dessa celulose, foi ainda autorizado, no mesmo período, segundo a mesma fonte de informação, a importação de 280 mil toneladas de papel, num valor superior a 144 milhões de dólares. Considerando que o papel importado é confeccionado principalmente com fibras longas, esses dados demonstram a necessidade de aumento da produção nacional de celulose de fibra longa para a produção de papel.

No Brasil a celulose de fibra longa é produzida quase que totalmente com madeira dos denominados *Pinus* do Sudeste dos Estados Unidos (principalmente *P. elliottii* e *P. taeda*) e, mais recentemente, utilizando-se os *Pinus* tropicais (principalmente as variedades do *P. caribaea*). Em comparação com o eucalipto, o *Pinus* tem a séria desvantagem de apresentar um desenvolvimento silvicultural sensivelmente mais lento, principalmente em regiões do território nacional não consideradas ideais para plantio dessas espécies, além de industrialmente apresentarem, também, um rendimento menor em celulose. Uma alternativa para, a curto ou médio prazo, aumentar o volume de matéria-prima no País para a produção de celulose de fibra longa seria a utilização de fontes alternativas potenciais como, por exemplo, o bambu.

O bambu é uma gramínea de crescimento extremamente rápido, apresentando um ciclo de rotação de 5 a 6 anos no primeiro corte e de 2 a 4 anos nos cortes seguintes. Esse rápido crescimento do bambu constitui um importante fator para sua potencialidade como alternativa economicamente viável de fonte de matéria-prima fibrosa para a indústria nacional de celulose e papel. Estudos realizados em vários países, principalmente na Índia, confirmam a alta qualidade do papel confeccionado com várias espécies dessa matéria-prima. No Brasil, os estudos sobre a utilização do bambu para produção de celulose tem sido desenvolvidos principalmente pelo Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e pelo Instituto Agrônomo de Campinas. Os resultados de vários desses estudos, publicados em revistas nacionais especializadas, demonstram que o bambu é matéria-prima com grande potencial tecnológico para a produção de papéis kraft de alta resistência.

Dentre as mais de 1.000 espécies de bambu existentes no mundo, a mais difundida no Brasil é o *Bambusa vulgaris*, espécie de fibra longa, tendo sido essa a espécie selecionada para os estudos e pesquisas já desenvolvidos e em desenvolvimento no Laboratório de Celulose e Papel da UFV.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise geral e sucinta de diversos trabalhos de pesquisas desenvolvidos na UFV, sobre a polpação kraft de bambu, visando fornecer algum subsídio para a consideração empresarial e governamental, na busca de fontes alternativas de matéria-prima de fibra longa para minimizar o déficit nacional nesse setor.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O bambu utilizado em todos os estudos foi o *Bambusa vulgaris*, com 5 ou 6 anos de idade, obtido de plantações comerciais localizadas no município de Santo Amaro, Bahia. Os colmos de bambu foram transformados em cavacos, por meio de picador industrial, numa fábrica de celulose e papel, sendo retiradas amostras, ao acaso, no pátio de estocagem de cavacos da fábrica. Os cavacos foram secados ao ar, para evitar o desenvolvimento de microrganismos, classificados manualmente em peneiras de 5x5 e 32x32mm e armazenados em sacos de polietileno para uniformização e conservação do teor de umidade.

O processo de cozimento utilizado em todos os estudos foi o kraft. Os cozimentos foram realizados em autoclave rotativa, aquecida eletricamente, dotada de tampa com quatro reatores individualizados, permitindo a realização de quatro cozimentos simultaneamente. Após o cozimento, a separa-

ção ou individualização das fibras foi realizada em refinador de discos Bauer com separação entre discos de 0,32 mm. A depuração da polpa celulósica, para separação e determinação do teor de rejeitos, foi realizada em depurador laboratorial Voith dotado de placa com aberturas de 0,2 mm de largura.

A moagem da polpa, para desenvolvimento das propriedades de resistência, foi realizada em moinho centrifugal Jockro, na consistência de 6%. Para a confecção de folhas de celulose foi utilizado o formador Köthen Rapid, confeccionando-se folhas com gramatura de 60g/cm².

As normas padronizadas de testes utilizadas nos estudos foram as estabelecidas pela Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel.

O detalhamento das metodologias utilizadas é especificado nos trabalhos já publicados e descritos na listagem de literatura deste estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos vários trabalhos já realizados será desenvolvida em forma de subitens, agrupando-se num mesmo item trabalhos semelhantes para maior facilidade de discussão e compreensão.

3.1. Produtividade silvicultural do bambu

Devido à grande carência de informações na literatura nacional sobre a produtividade silvicultural do bambu, foi realizado um estudo preliminar em plantios comerciais existentes no município de Santo Amaro, Bahia. O estudo, realizado por GOMIDE (1986a), consistiu num levantamento preliminar, que deverá ter continuação em estudos mais detalhados, tendo sido estabelecidas 4 parcelas experimentais. Os resultados obtidos estão sumariados no Quadro 1.

QUADRO 1 - Estudos preliminares de produtividade silvicultural do *Bambusa vulgaris*

Parcelas Experimentais			Teor Umidade dos Colmos, %	Produção (Peso Seco)	
Nome	Rotação/Idade	Área, ha		Ton/ha	Ton/ha/ano
Capanema 1	2ª/1 ano	0,218	53,36	11,72	11,72
Capanema 2	2ª/2 anos	0,164	53,07	21,75	10,87
Subaé 1	3ª/1 ano	0,273	53,76	7,11	7,11
Subaé 2	3ª/2 anos	0,136	52,72	19,81	9,90
Média	-	-	53,23	-	9,90

Uma análise comparativa da produtividade silvicultural do bambu com espécies de eucalipto e/ou *Pinus* torna-se difícil devido à grande variabilidade observada entre plantios florestais que, no Brasil, varia desde menos de 10 a mais de 100 esterres/ha/ano. Para possibilitar alguma comparação foi estabelecido, tanto para *Pinus* como para eucalipto, uma produtividade média anual de 25 esterres/ha/ano. Esse valor não deve ser considerado preciso mas, em termos gerais, talvez represente a realidade florestal brasileira. Considerando, ainda, o fator de transformação de metro cúbico para estere com 1,25 e a densidade média, tanto do *Pinus* como do eucalipto, como 450 kg/m³, a produtividade do *Pinus* e eucalipto poderia ser considera

da como sendo 9 ton/ha/ano. No Quadro 1 a produtividade do bambu foi determinada como 9,90 ton/ha/ano, demonstrando ligeira superioridade em relação às madeiras. Entretanto, os plantios de bambu utilizados nesse estudo consistiam de fileiras contínuas separadas por espaçamentos de cerca de 7 metros, resultando em amplos "corredores" onde não havia o desenvolvimento de colmos de bambu. Para um melhor aproveitamento da área, o espaçamento poderia ser diminuído para, talvez, 2 a 3 metros, resultando numa produtividade de cerca de 20 ton/ha/ano, valor bem superior às do *Pinus* e do eucalipto.

No Brasil ainda não existem estudos silviculturais do bambu e a produção que se obtém atualmente poderia provavelmente ser significativamente melhorada com a realização de pesquisas básicas de exigências de adubação mineral e de espaçamento.

3.2. Constituição química do bambu

Estudos sobre a constituição química do *Bambusa vulgaris*, desenvolvidos por GOMIDE (1986b), demonstram que os principais constituintes do bambu são os carboidratos, determinados como holocelulose (64,94%), a lignina (17,90%) e várias outras substâncias denominadas genericamente como extrativos (15,37%), conforme apresentado no Quadro 2.

QUADRO 2 - Constituição química básica do *Bambusa vulgaris*

Constituintes	Teores, %
Holocelulose (corrigido p/ lignina e cinza residuais)	64,94
Lignina: Insolúvel em ácido	17,15
Solúvel em ácido	0,75
Total	17,90
Pentosanas	14,69
Extrativos	15,37
Cinzas	1,05
Ácidos urônicos	2,41
Grupamento acetil	1,90

O teor relativamente alto de holocelulose constitui uma das vantagens do bambu para a produção de polpa celulósica. Como uma das frações da holocelulose, o bambu apresentou teor relativamente alto de pentosanas (14,69%), o que deverá facilitar o refino da polpa. O teor de lignina no bambu (17,90%) apresentou valor inferior ao das madeiras em geral, indicando que a deslignificação do bambu durante a polpação deverá ser realizada sem dificuldades. Entretanto, deve ser observado que, expressando-se o teor de lignina em relação ao bambu livre de extrativos, técnica geralmente utilizada, o teor foi mais elevado (21,15%) mas, mesmo assim, no limite inferior da variação normal do teor de lignina nas madeiras de folhasas. O *B. vulgaris* apresentou alto teor de extrativos (15,37%), o que constitui uma desvantagem, afetando desfavoravelmente o rendimento em polpa celulósica. Os ácidos urônicos (ácidos glucurônico e galacturônico) determinados no *B. vulgaris* apresentaram teor inferior (2,41%) aos normalmente encontrados nas madeiras (4 a 5%). Os grupamentos acetil, ramificações laterais das cadeias de hemiceluloses, apresentaram um teor de 1,9% no *B. vulgaris*, correspondendo a valores normalmente encontrados em madei

ras de coníferas (1 a 2%) e inferior aos característicos de madeiras de folhosas (3 a 5%). Os elementos minerais, denominados genericamente de cinzas, apresentaram altos teores no bambu, conforme mostrado no Quadro 3. O *B. vulgaris* apresentou 1,05% de cinzas, sendo que a sílica e os silicatos representaram 66,47% das cinzas, correspondendo a 0,70% do peso seco do bambu. Esse alto teor de sílica no bambu constitui importante desvantagem, dificultando a produção de cavacos e, uma vez dissolvida no licor de cozimento kraft, será transformada em silicato de cálcio, no setor de recuperação, formando incrustações que poderão causar sérios problemas. A presença de sílica, entretanto, não inviabiliza a utilização do bambu para produção de celulose e papel, já existindo práticas tecnológicas que minimizam sua ação. Além da sílica, os elementos minerais mais frequentes no bambu foram o potássio, cálcio e magnésio.

QUADRO 3 - Elementos minerais presentes nas cinzas do *B. vulgaris*

Elementos Minerais	Teores, %
Sílica e silicatos	66,47
Potássio	3,50
Cálcio	1,60
Magnésio	1,20
Manganês	0,98
Fósforo	0,44
Ferro	0,10
Zinco	0,02

No Quadro 4 (GOMIDE, 1986b) verifica-se que os carboidratos do *B. vulgaris* são formados principalmente por monômeros de glucose e xilose, ocorrendo em pequenas quantidades a arabinose. Por causa da presença de amido nas células de parênquima do bambu, os polímeros de glucose foram expressos como glucanas. O alto teor de glucana (celulose) é uma indicação da potencialidade do bambu para produção de polpa celulósica de alta resistência. A presença de xilanas, de grupamentos acetil e de ácidos urônicos indicam que a principal hemicelulose do bambu é a 4-metoxiglucuronoxilana. O teor relativamente alto dessa hemicelulose é uma característica vantajosa da fibra do bambu, facilitando a hidratação com conseqüente favorecimento do refino da polpa. A análise química demonstra que o bambu é constituído por 35,68% de α -celulose e 29,24% de hemiceluloses, além dos outros constituintes (lignina, extrativos e cinzas). O peso molecular e o grau de polimerização da α -celulose foram relativamente baixos, indicando a possibilidade de contaminação com hemiceluloses nas operações de isolamento da α -celulose com soluções de hidróxido de potássio. Nesse estudo as hemiceluloses foram isoladas em duas frações denominadas hemiceluloses A e B. O teor relativamente alto de hemiceluloses A (24,01%) indica que o *B. vulgaris* é constituído por hemiceluloses de baixo peso molecular, que são menos estáveis em meio alcalino, podendo ser dissolvidas e degradadas durante o processo de polpação. Essa característica das hemiceluloses sugere que o licor de polpação alcalino deve ter um pH acima de 12,5 no final do cozimento, para favorecer a reprecipitação e absorção das hemiceluloses nas cadeias de celulose, devendo, entretanto, serem evitadas cargas alcalinas excessivas que poderão causar intensa hidrólise e conseqüente degradação das hemiceluloses.

QUADRO 4 - Análises de carboidratos do *B. vulgaris*

Carboidratos	Valores**
Holocelulose, teor em %	64,33
Glucanas, teor em %	45,57
Arabinanas, teor em %	0,29
Acetato de glucuronoxilana, teor em %	18,47
Alfa-celulose: teor em %	35,68
peso molecular médio	130.000
grau de polimerização médio	800
Hemicelulose A, teor em %	24,01
Hemicelulose B, teor em %	5,23

* Valores expressos em relação ao peso de bambu original (com extrativos) e absolutamente seco.

3.3. Morfologia e anatomia do *Bambusa vulgaris*

As informações apresentadas nessa secção referem-se a trabalhos preliminares já realizados (GOMIDE, 1981 e GOMIDE *et alii*, 1981b) e a um estudo mais detalhado e em fase final de desenvolvimento no Laboratório de Celulose e Papel da UFV (GOMIDE, 1988). Na Figura 1 é mostrada a secção longitudinal de um colmo de *Bambusa vulgaris* constituído por vasos, alta percentagem de células de parênquima e aglomerados de fibras relativamente finas. Toda a espessura da parede do colmo, mostrando as distribuições das fibras, das células de parênquima e dos vasos é apresentada na Figura 2. Basicamente, o bambu é formado por células de parênquima, vasos e fibras, sendo que as fibras e os vasos são distribuídos em forma de feixes dispersos no tecido parenquimatoso. A análise da secção transversal do colmo de bambu demonstra que as fibras apresentam uma grande variabilidade, desde grandes diâmetros e lumens largos até fibras finas com lumens muito estreitos (Figuras 3 a 6). Diferentemente das madeiras, as fibras de bambu são caracteristicamente multilaminares (Figura 5).

No Quadro 5 pode ser verificado que as fibras do *B. vulgaris* são longas, estreitas, com lúmen pequeno e paredes relativamente espessas. A variabilidade das dimensões transversais das fibras, principalmente o diâmetro do lúmen, é alta, como mostrado nas Figuras 3, 4 e 5. Comparada com as fibras de madeiras de folhosas e coníferas, as fibras do bambu possuem, em relação ao *Eucalyptus grandis*, largura semelhante, com cerca do dobro da espessura da parede e metade do diâmetro do lúmen, e comprimento próximo ao das fibras do *Pinus elliottii*.

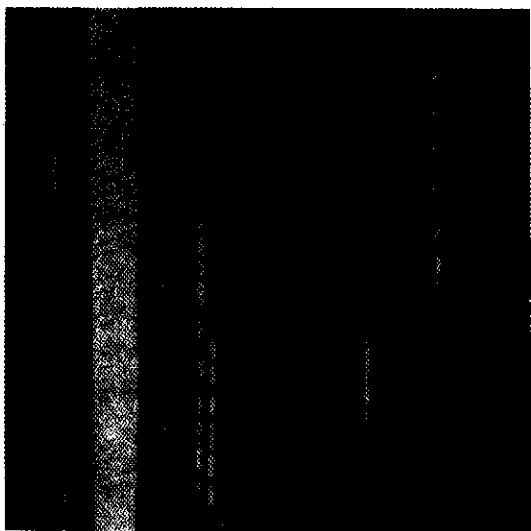


Fig. 1. Secção longitudinal do *B. vulgaris*



Fig. 2. Secção transversal do *B. vulgaris* (espessura do colmo)

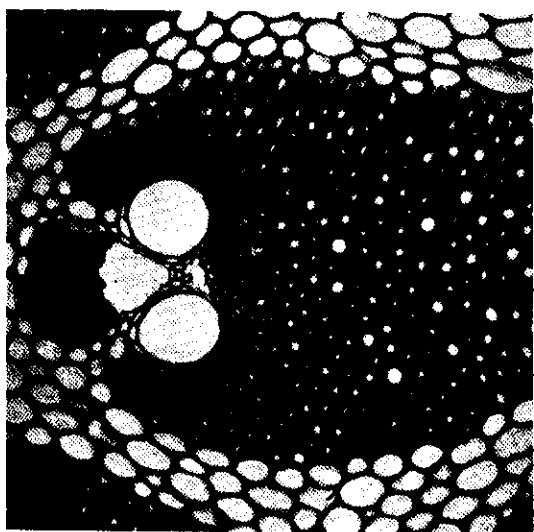


Fig. 3. Secção transversal do *B. vulgaris* (fibras, vasos e células de parênquima)

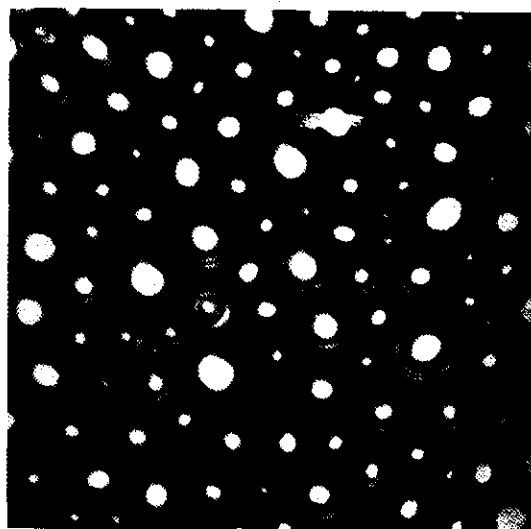


Fig. 4. Secção transversal do *B. vulgaris* mostrando a grande variabilidade do diâmetro das fibras

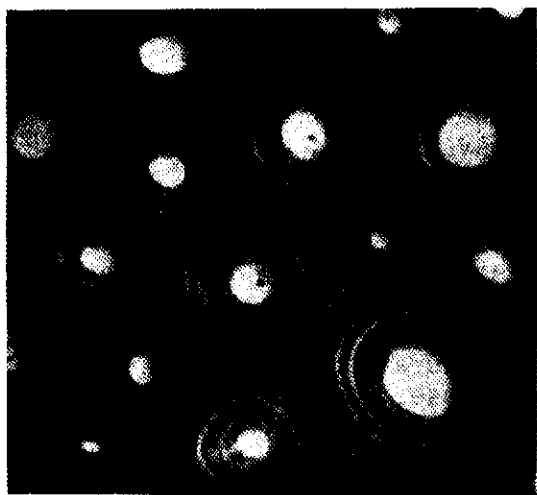


Fig. 5. Secção transversal do *B. vulgaris* mostrando a lamela média e a estrutura multilaminar das paredes das células



Fig. 6. Aspecto estrutural das fibras de *B. vulgaris*

QUADRO 5 - Dimensões médias das fibras do *Bambusa vulgaris*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*

Dimensões Médias	<i>B. vulgaris</i>	<i>P. elliottii</i>	<i>E. grandis</i>
Comprimento, mm	2,8	3,3	1,1
Largura, μm	17,2	46,8	17,4
Diâmetro do lúmen, μm	6,6	31,1	11,7
Espessura da parede, μm	5,2	7,8	2,6

3.4. Estudos comparativos de polpação

Para o estabelecimento da potencialidade do *Bambusa vulgaris* para produção de papéis de alta resistência foram realizados estudos comparativos com a madeira de *Pinus elliottii*, (GOMIDE *et alii*, 1982a). Os resultados dos cozimentos kraft realizados estão apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 - Números kappa e rendimentos de cozimentos kraft de *B. vulgaris* e *P. elliottii*

Características das polpas kraft	<i>B. vulgaris</i>	<i>P. elliottii</i>
Número kappa	23,4	46,4
Rendimentos: total	37,0	50,2
depurado	36,5	50,1
rejeitos	0,5	0,1

Para obtenção de celulose com altas resistências, foi realizada uma deslignificação intensa do bambu, conforme indicado por GOMIDE *et alii* (1982b) e por SANTOS (1988), sendo que para a celulose de pinho foi utilizado um número kappa mais alto, cerca de 45, valor normalmente utilizado no Brasil para produção de celulose não branqueada de pinho. A celulose de bambu apresentou um baixo rendimento, o que pode ser explicado pelo alto teor de extrativos, uma das características desvantajosas do bambu, e também pela utilização de telas com malha de 70 mesh para lavagem da celulose, o que ocasionou a perda de quantidades substanciais de células de parênquima. Estudos posteriores demonstraram que a retenção das células de parênquima resultava em rendimentos acima de 45% (SANTOS, 1988). Mesmo com retenção de parênquimas, o rendimento do bambu seria inferior ao do pinho, o que é parcialmente explicado pela maior deslignificação adotada para o bambu. Entretanto, a alta produtividade silvicultural do bambu poderá provavelmente compensar o menor rendimento em celulose.

Foi realizado um estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas das celuloses de bambu e pinho, tendo essas propriedades sido estatisticamente analisadas, estabelecendo-se modelos matemáticos que foram utilizados para a confecção dos gráficos apresentados nas Figuras 7 a 11.

A celulose de bambu foi mais fácil de refinar que a de pinho (Figura 7), o que representa um menor gasto de energia do bambu para atingir um

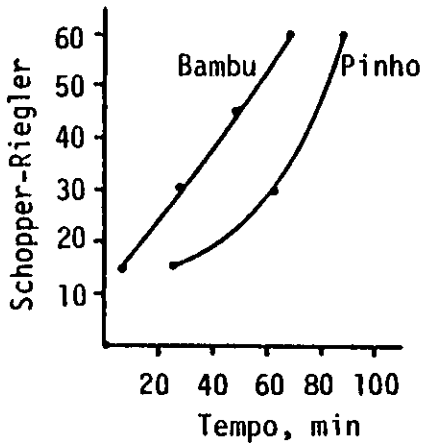


Fig. 7. Efeito do tempo de refino no grau Schopper-Riegler das polpas de bambu e pinho.

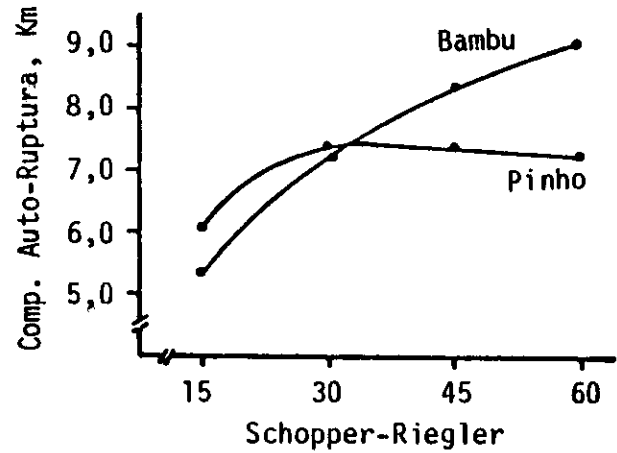


Fig. 8. Efeito do grau de refino na resistência à tração das polpas de bambu e pinho.

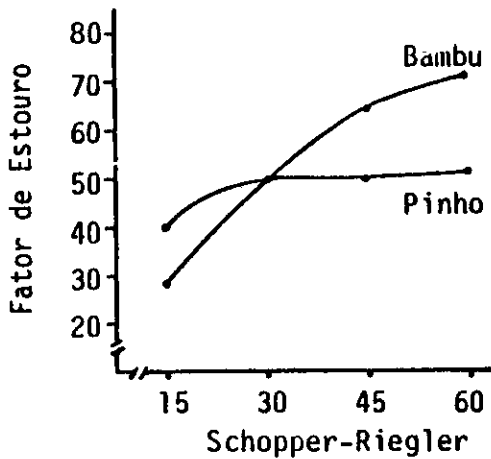


Fig. 9. Efeito do grau de refino na resistência ao estouro das polpas de bambu e pinho.

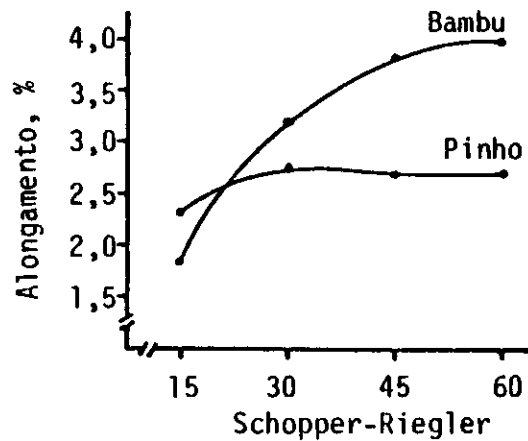


Fig. 10. Efeito do grau de refino no alongamento das polpas de bambu e pinho.

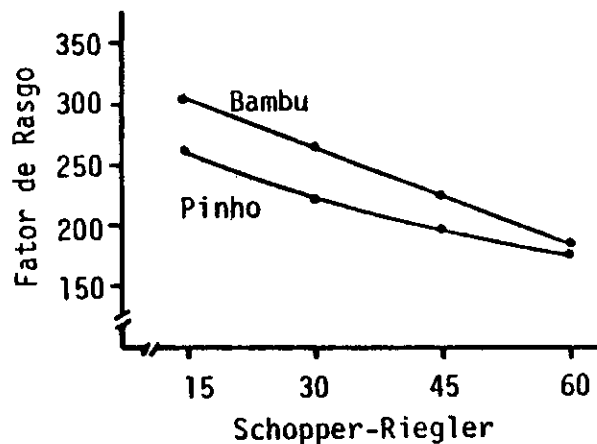


Fig. 11. Efeito do grau de refino na resistência ao rasgo das polpas de bambu e pinho.

mesmo grau de refino. Nas Figuras 8, 9 e 10 pode ser observado que, após um nível inicial de refino, as resistências à tração e ao arrebitamento e o alongamento da celulose de bambu apresentaram valores significativamente mais altos que a de pinho. Para os valores mais altos alcançados, a celulose de bambu apresentou alongamento e resistência ao arrebitamento 40% superiores e resistência à tração 23% superior em relação à celulose de pinho. A resistência ao rasgo da celulose de bambu foi superior à do pinho (Figura 11) e apesar de ser mais sensível ao refino essa resistência foi superior em todos os níveis de Schopper-Riegler testados.

Esses resultados demonstram a grande potencialidade do bambu para produção de papéis de altas resistências, com propriedades similares ou superiores às da madeira de pinho.

3.5. Efeito das células de parênquima (finos) na polpa kraft de bambu

Estudos anatômicos do bambu demonstram que as células de parênquima formam uma fração relativamente elevada na constituição estrutural dessa gramínea. Essas células de parênquima apresentam paredes finas, são de pequenas dimensões e de baixas resistências intrínsecas. A presença dessas células, por interferirem desfavoravelmente nas ligações inter-fibras, deverão prejudicar as propriedades de resistência das polpas de bambu. Para analisar o efeito desses finos, GOMIDE *et alii* (1985) desenvolveram um estudo, adicionando à fração fibrosa da polpa de bambu diferentes dosagens de células de parênquima. A presença de finos na polpa prejudicou sensivelmente as propriedades de resistência, tendo essa influência sido proporcional, em geral, ao teor de finos. Na Figura 12 é mostrada essa influência, para 20 e 40^oSR. As células de parênquima apresentaram pronunciada influência nos graus Schopper-Riegler das polpas. Isso indica que o grau Schopper-Riegler, que deveria medir o grau de refinamento das fibras, é fortemente influenciado pelo teor de células de parênquima, não correspondendo, conseqüentemente, às características de refinamento das fibras.

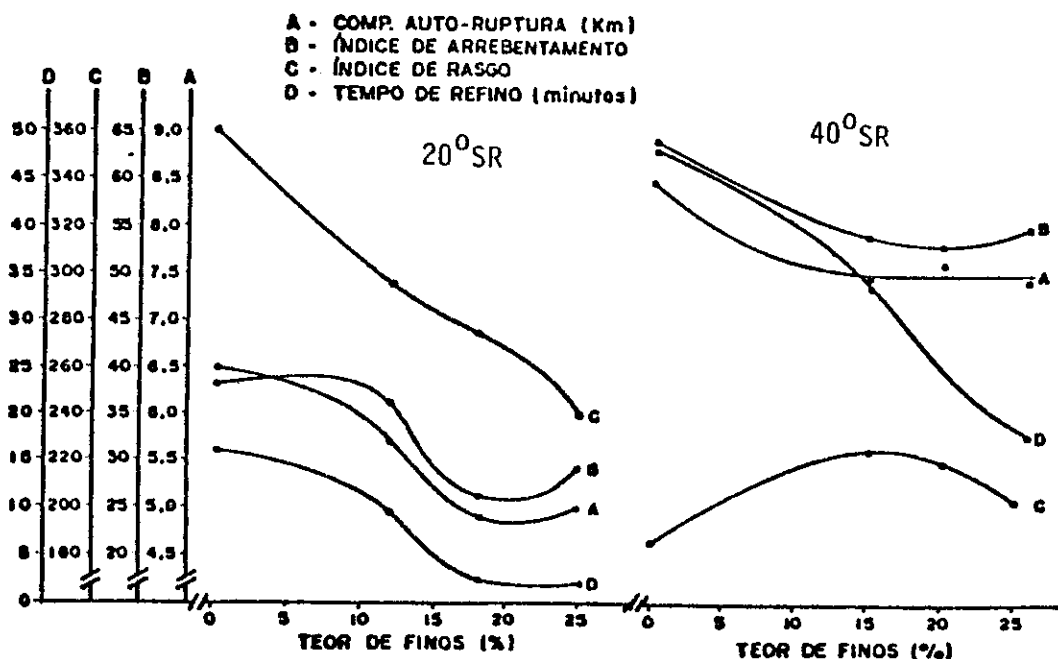


Fig. 12. Influência do teor de finos nas resistências e refinamento da polpa kraft de *B. vulgaris*, a 20 e 40^oSR

Um fluxograma simplificado de um possível sistema industrial de remoção parcial e de processamento dos finos é apresentado na Figura 13. A remoção dos finos (feixes de células de parênquimas e pedaços de fibras) deverá iniciar no pátio de cavacos, eliminando-se por meio de peneiras separadoras a fração subdimensionada. Essa eliminação, entretanto, não será suficiente, sendo necessário eliminar também, pelo menor parcialmente, a fração de finos na polpa, o que deverá ser realizado durante as operações de processamento da polpa. O equipamento a ser utilizado nessa segunda etapa de remoção de finos não foi estabelecido para a escala industrial, sendo genericamente denominado de "Sistema Separador de Finos" no fluxograma simplificado descrito na Figura 13. O uso de apenas um "sistema", que deverá reter as fibras e possibilitar a eliminação dos finos talvez não seja suficiente, mas a eficiência poderá ser aumentada pela instalação de uma bateria de "sistemas" em série.

A eliminação dos finos favorecerá a qualidade da polpa mas resultará, como desvantagem, em menor rendimento.

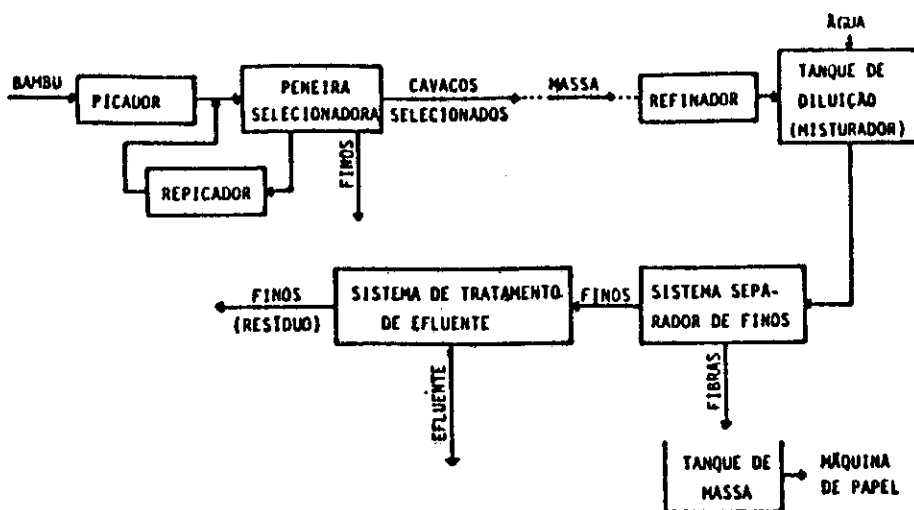


FIGURA 13- Fluxograma simplificado de um sistema industrial de remoção parcial e de processamento dos finos.

3.6. Otimização do álcali, da temperatura e da sulfidez na polpação kraft

Estudos sobre a influência do álcali ativo e da temperatura na polpação kraft do bambu foram desenvolvidos por GOMIDE *et alii* (1982b), tendo, também, sido analisado, por GOMIDE e COLODETTE (1983), num relatório de forma preliminar, o efeito da sulfidez. Foram analisadas cargas alcalinas de 11, 13 e 15%, temperaturas de 150, 160 e 170°C e sulfidez de 0, 10, 20 e 30%. Aumentos do álcali ativo e da temperatura resultaram em maior taxa de deslignificação, tendo os aumentos de álcali ativo, nos níveis estudados, apresentado maior eficiência. Os rendimentos total e depurado foram desfavoravelmente influenciadas pelos aumentos da temperatura e do álcali ativo e o teor de rejeitos foi favorecido por esses aumentos. As propriedades físico-mecânicas das polpas de bambu foram afetadas diferentemente pelos diferentes níveis de álcali e temperatura, não tendo sido detectado um efeito bem definido, o que não permitiu fixar os níveis ótimos aconselháveis para essas variáveis. O aumento da sulfidez também não apresentou um efeito bem definido em todas as propriedades da polpa mas, sem dúvida, o aumento da sulfidez foi vantajoso, tendo, de um modo geral, sido aconselhado o uso de sulfidez mais altas, da ordem de 20 a 30%.

3.7. Modificação do processo kraft convencional: uso de estágio de pré-extração

Estudos da constituição química de bambu demonstram a presença de altos teores de substâncias extratáveis com solução de NaOH 1%. Essas substâncias, que podem alcançar teores de 35% (GOMIDE, 1986b), são responsáveis por considerável consumo de álcali ativo utilizado na polpação kraft dessa matéria-prima. Para que, após o consumo de álcali ativo por essas substâncias, ainda permaneça um residual de álcali suficiente para as reações de deslignificação, é necessário a utilização de níveis relativamente elevados de álcali na polpação kraft do bambu. Esses altos níveis de álcali poderão reagir mais intensamente com as cadeias de celulose, degradando-as e, conseqüentemente, afetando negativamente as propriedades físico-mecânicas da polpa celulósica. A solubilização dessas substâncias extratáveis, utilizando um pré-tratamento com lixívia negra, possibilitaria o uso de níveis mais baixos de álcali ativo durante a polpação, resultando em economia de licor branco e, possivelmente, em propriedades de resistência mais elevadas.

Para analisar os possíveis efeitos benéficos da utilização de um estágio de pré-extração com lixívia negra, foi desenvolvido um trabalho por GOMIDE *et alii* (1984), estudando quatro temperaturas de pré-extração (100, 120, 140 e 160°C) e quatro dosagens de álcali ativo na polpação kraft (8, 10, 12 e 14%).

A análise dos resultados obtidos demonstrou que, em comparação com o processo convencional, a inclusão de um estágio de pré-tratamento com lixívia negra resultaria nas seguintes características:

- Provável aumento do tempo total de polpação, podendo prejudicar o volume de produção diária da fábrica.
- As temperaturas mais baixas de impregnação (100 a 120°C) apresentaram, em geral, os melhores resultados.
- Diminuição do rendimento depurado mas, para um mesmo nível de número kappa, diminuição, também, do teor de rejeitos.
- Aumento das resistências da polpa à tração e ao arrebentamento.
- Possível aumento da resistência ao rasgo e do alongamento da polpa, dependendo do álcali ativo, do grau de refino e da temperatura da pré-extração.
- Apesar de não ter sido determinado em laboratório, já se tem alguma indicação de testes industriais mostrando que o estágio de pré-extração poderá resultar em maior uniformidade das características e propriedades das polpas.

3.8. Modificações do bambu durante a polpação kraft

Num trabalho de desenvolvimento experimental, SANTOS (1988) realizou vários estudos, visando esclarecer as modificações que ocorrem com os cavacos, em geral, e, mais especificamente, com as fibras do bambu durante a polpação kraft.

Os resultados desse estudo demonstraram que o comprimento foi a dimensão dos cavacos em que o licor penetrou com mais facilidade e a espessura foi a que apresentou maior resistência à impregnação, tendo sido aconselhado nesse estudo um esmagamento do colmo, antes da picagem, para fendilhamento da superfície dos cavacos.

Verificou-se que a deslignificação dos cavacos de bambu ocorreu em duas fases distintas: uma fase inicial de deslignificação intensa, que ocorreu durante o período de elevação da temperatura, até ter sido atingido 165°C, quando foi solubilizado 80% do total da lignina, e uma fase final de deslignificação residual lenta. As reações de degradação e solubilização da lignina iniciaram-se logo no início do cozimento e quando a temperatura atingiu 100°C cerca de 60% da lignina já havia sido removida.

Esses dados, apresentados graficamente na Figura 14, demonstram a relativa facilidade de deslignificação do bambu. A relação entre a deslignificação do bambu e o rendimento em polpa é apresentada na Figura 15. Nessa figura pode ser verificado que, na fase inicial e final do cozimento, variações do número kappa acarretam perdas acentuadas no rendimento, ocorrendo na fase intermediária do cozimento grandes reduções no número kappa com pequenas perdas de rendimento. Continuação do cozimento após obtenção de número kappa cerca de 27 resulta em sensível queda de rendimento, devendo, em geral, ser evitado.

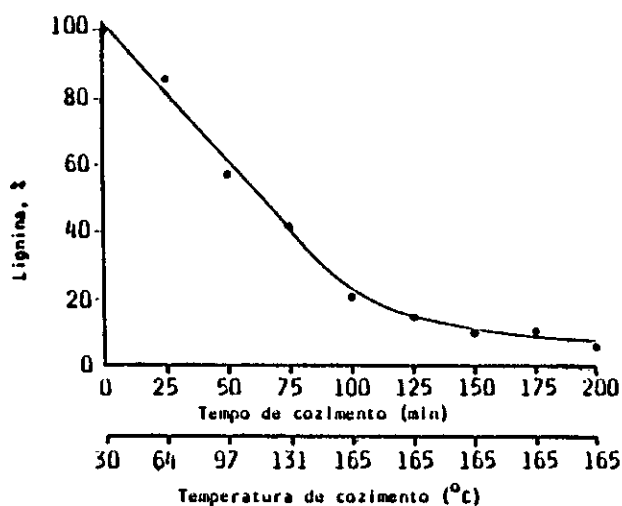


Fig. 14. Taxa de remoção da lignina na polpação kraft de cavacos de *Bambusa vulgaris*

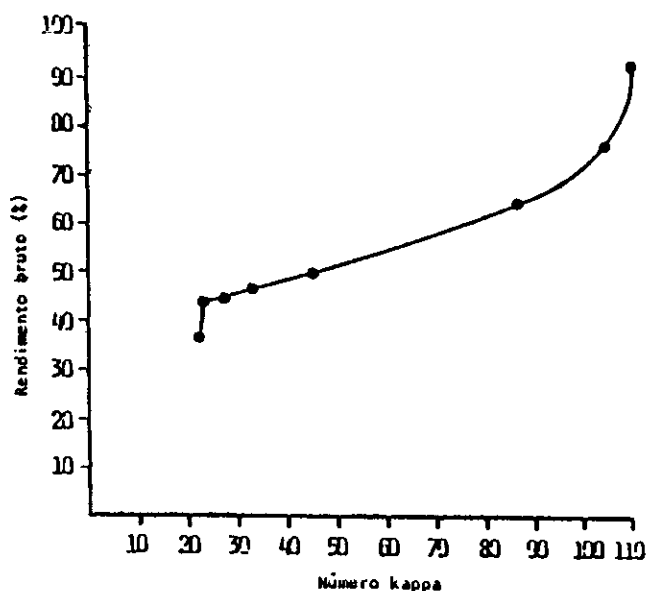


Fig. 15. Relação entre o número kappa e o rendimento total da polpação kraft de cavacos de *Bambusa vulgaris*

As Figuras 16 a 19 ilustram as relações entre o tempo de cozimento à máxima temperatura (165°C), bem como o número kappa e as resistências à tração, ao estouro e ao rasgo e a porosidade das folhas de celulose. Através dessas figuras, nota-se que à medida que o cozimento progride e a deslignificação aumenta, ocorre um aumento das resistências e uma diminuição da porosidade. Isso pode ser explicado, provavelmente, pelo fato de que à medida que se aumenta o tempo de cozimento à máxima temperatura, a lignina vai sendo retirada da polpa, facilitando o seu refino e intensificando as ligações entre fibras, o que resulta em maiores resistências e menor porosidade.

A polpa de bambu produzida com um tempo total de cozimento de 150°C, sendo 50 minutos na temperatura máxima de 165°C, com número kappa de 27 e rendimento de 45%, foi a que, de modo geral, apresentou melhores propriedades físico-mecânicas. As polpas produzidas com número kappa mais altos não tinham suas propriedades de resistência completamente desenvolvidas, e as com número kappa inferiores apresentavam menores rendimentos e uma tendência de estabilização ou diminuição das propriedades físico-mecânicas.

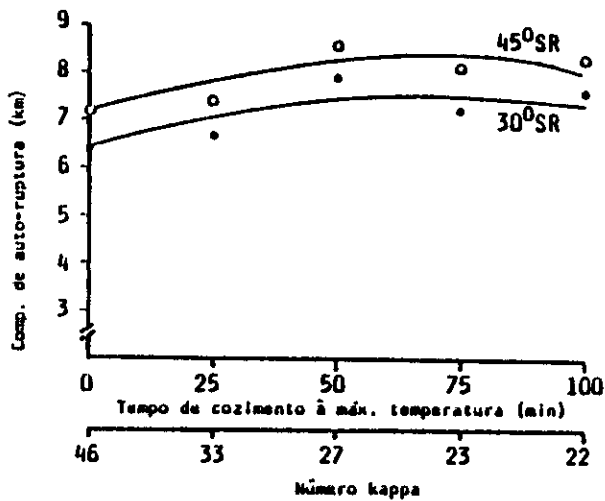


Fig. 16. Desenvolvimento da resistência à tração da celulose kraft de *Bambusa vulgaris* durante o processo de polpação

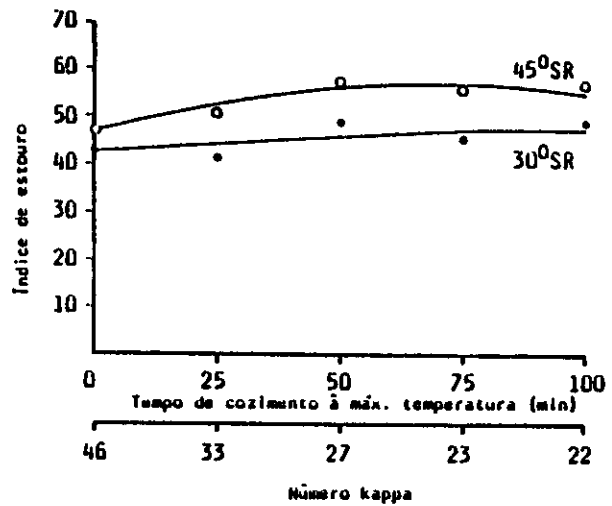


Fig. 17. Desenvolvimento da resistência ao estouro da celulose kraft de *Bambusa vulgaris* durante o processo de polpação

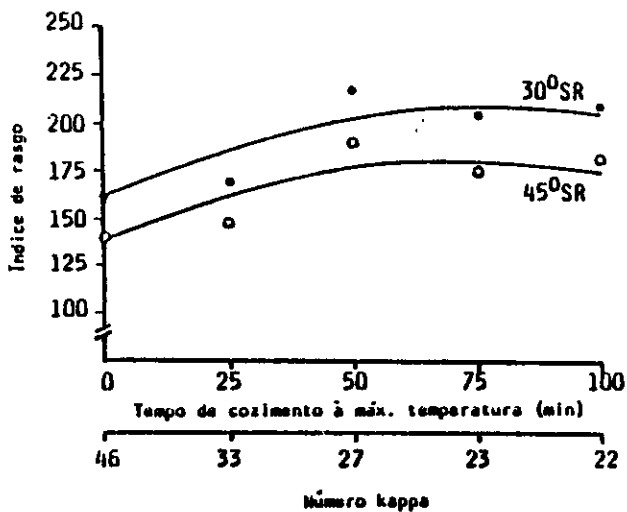


Fig. 18. Desenvolvimento da resistência ao rasgo da celulose kraft de *Bambusa vulgaris* durante o processo de polpação

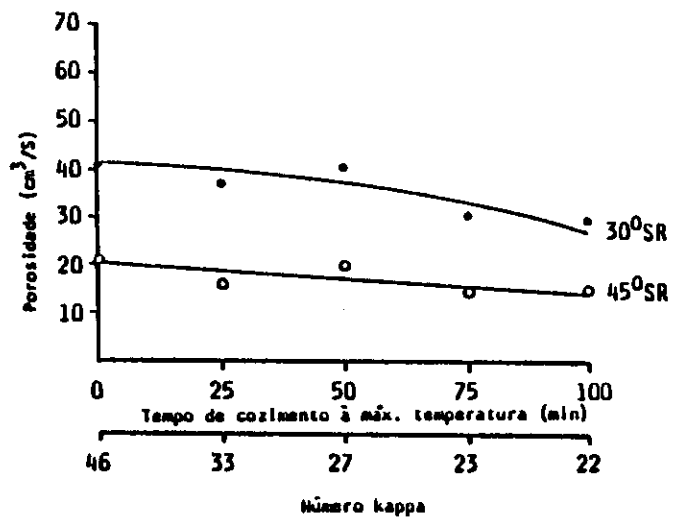


Fig. 19. Desenvolvimento da porosidade das folhas de celulose kraft de *Bambusa vulgaris* durante o processo de polpação

4. CONCLUSÃO

A análise dos vários trabalhos já desenvolvidos no Laboratório de Celulose e Papel da UFV demonstra que o bambu, mais especificamente o *Bambusa vulgaris*, apresenta algumas vantagens e desvantagens como matéria-prima para produção de celulose e papel, a saber:

Desvantagens: Alto teor de sílica

Alta percentagem de células de parênquima

Alto teor de substâncias extratáveis

Rendimento tecnológico em celulose relativamente baixo

Processamento tecnológico ainda não completamente desenvolvido

Vantagens: Alta produtividade silvicultural

Fibras longas de boa qualidade

Polpa celulósica com altas propriedades físico-mecânicas, semelhantes ou superiores às de pinhos cultivados no Brasil, com destaque para a resistência ao rasgo e a porosidade.

Dentre as desvantagens do bambu, talvez a mais importante seja o não conhecimento completo dos parâmetros ideais e otimizados para o seu processamento industrial, o que não permite o aproveitamento máximo de suas potencialidades como matéria-prima de alta qualidade para a produção de celulose e papel. Há necessidade de estudos mais detalhados principalmente sobre a otimização das condições de cozimento e o desenvolvimento de pesquisas sobre o refinamento e o branqueamento da polpa celulósica do bambu.

Por causa das características químicas e anatômicas do bambu e do seu desenvolvimento silvicultural, a realização de pesquisas e estudos, visando um perfeito conhecimento de condições otimizadas do processo tecnológico, deverá transformar o bambu em matéria-prima de alta qualidade para as indústrias nacionais de celulose de fibra longa.

Em resumo, o bambu poderá se transformar numa alternativa para o déficit de celulose de fibra longa no Brasil, caso sejam realizados os necessários desenvolvimentos de estudos e pesquisas.

LITERATURA CITADA

ASSIS, J.S. Os investimentos previstos em papel e celulose até 1995. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, 8 março de 1988. p. 6.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE-ANFPC. *Relatório Estatístico*. São Paulo, 1986. 213p.

GOMIDE, G.L.A. *Produtividade do Bambusa vulgaris em plantios da Indústria de Papéis Santo Amaro*. Viçosa, SIF, 1986a. 6 p. (Relatório Técnico de Pesquisa).

GOMIDE, J.L. Estudo sobre a constituição química do *Bambusa vulgaris*, visando a produção de polpa celulósica. *O Papel*, 47(10):64-68. 1986b.

GOMIDE, J.L. Caracterização química e anatômica do *Bambusa vulgaris* visando à produção de polpa celulósica. Viçosa, SIF, 1981. 22p. (Relatório Técnico de Pesquisa).

GOMIDE, J.L. Características das fibras e estruturas macro, micro e ultramicroscópica do *Bambusa vulgaris*. Laboratório de Celulose e Papel, UFV, 1988. (Trabalho não publicado).

GOMIDE, J.L. & COLODETTE, J.L. Influência da sulfidez na polpação alcalina de *Bambusa vulgaris*, visando a produção de papéis de altas resistências. Viçosa, SIF, 1983. 17p. (Relatório Técnico de Pesquisa).

- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. & OLIVEIRA, R.C. Influência do álcali ativo e da temperatura na polpação kraft de *Bambusa vulgaris*. *Revista Arvore*, 5(2): 181-193. 1981a.
- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. & OLIVEIRA, R.C. Estudo das potencialidades do *Bambusa vulgaris* para produção de papéis tipo kraft. *O Papel* 43(7): 38-42. 1982a.
- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. & OLIVEIRA, R.C. Influência do álcali ativo e da temperatura na polpação kraft de *Bambusa vulgaris*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 15º, São Paulo, 1982b. *Anais*, São Paulo, ABCP, 1982b. p.189-203.
- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. & VIVONE, R.R. Influência da pré-extração com licor residual na polpação kraft de bambu. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 17º, São Paulo, 1984. *Anais*, São Paulo, ABCP, 1984. p. 187-210.
- GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. & COLODETTE, J.L. Influência da idade do *Bambusa vulgaris* nas suas características químicas e anatômicas, visando a produção de polpa celulósica. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 14º, São Paulo, 1981b. *Anais*, São Paulo, ABCP, 1981b. p.5-29.
- GOMIDE, J.L.; VIVONE, R.R. & VILAR, R. Influência do teor de células de parênquima nas características e propriedades da polpa kraft de *Bambusa vulgaris* com grau de deslignificação otimizado. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 18º, São Paulo, 1985. *Anais*, São Paulo, ABCP, 1985, p. 139-147.
- SANTOS, G.A. *Impregnação dos cavacos, solubilização dos constituintes químicos e desenvolvimento das características da polpa celulósica de Bambusa vulgaris Scharad ex Wendl var. vulgaris, durante a polpação kraft*. Viçosa, Univ. Federal, 1988. 67p. (Tese M.S.).