

PRODUÇÃO CONJUNTA DE FIBRAS CELULÓSICAS E ETANOL A PARTIR DO BAMBU (1)

ANISIO AZZINI (2, 5), MARIA CARLA QUEIROZ DE ARRUDA (2, 3),
DIRCEU CIARAMELLO (2), ANTÔNIO LUIZ DE BARROS SALGADO (2)
e MÁRIO TOMAZELLO FILHO (4)

RESUMO

No presente estudo com *Bambusa vulgaris* Schrad., procurou-se desenvolver um novo processo de utilização do bambu, visando à produção conjunta de etanol e fibras celulósicas para papel. Os rendimentos em fibras celulósicas e etanol foram obtidos em função da idade do colmo (1, 3 e 5 anos) e região de amostragem em cada colmo (base, meio e ponta). Esses rendimentos, bem como outros relacionados com a fração fibrosa, glicose e amido, foram determinados com solução diluída de ácido sulfúrico. A densidade básica dos colmos foi determinada em cavacos antes do seu tratamento. Pelos resultados obtidos, é tecnicamente possível a produção conjunta de etanol e fibras celulósicas a partir do bambu. Os rendimentos em fibras celulósicas (46,85 a 56,04%) e etanol (12,77 a 14,79 litros/100 kg de cavacos) foram mais elevados nas regiões mediana e ponta dos colmos mais velhos. Essa mesma tendência foi observada para a glicose (teores de 22,80 a 26,41%) e amido hidrolisado (18,99 a 24,27%). O rendimento em fibras brutas ou fração fibrosa (69,35 a 76,35%) foi mais elevado nos cavacos provenientes dos colmos mais novos. A densidade básica dos cavacos não

(1) Recebido para publicação em 19 de junho de 1986.

(2) Seção de Plantas Fibrosas, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001 Campinas (SP).

(3) Bolsista da FAPESP.

(4) Departamento de Silvicultura, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Caixa Postal 09, 13400 Piracicaba (SP).

(5) Com bolsa de suplementação do CNPq.

variou em função da idade do colmo (0,573 a 0,628 g/cm³), mas em função da região de amostragem (0,518 a 0,683 g/cm³), sendo mais densos os cavacos das regiões mediana e ponta dos colmos.

Termos de indexação: bambu, *Bambusa vulgaris* Schrad., densidade básica, fibras celulósicas, amido, etanol.

1. INTRODUÇÃO

Vários trabalhos de pesquisa na literatura especializada têm ressaltado as grandes possibilidades do bambu como matéria-prima celulósica para papel de fibras longas. Os aspectos favoráveis na utilização do bambu estão relacionados, principalmente, com suas características agrônômicas, aliadas ao elevado comprimento de suas fibras celulósicas (1,65 a 3,43 mm), que ocupam uma posição intermediária entre as fibras do *Eucalyptus* spp. (1,0 mm) e as do *Pinus* spp. (3,5 mm).

Por ser uma espécie de rápido crescimento, com elevados níveis de produção agrícola, mesmo em condições adversas de clima e solo, o bambu vem despertando o interesse do setor de celulose e papel localizado no Nordeste, principalmente nos Estados de Pernambuco, Paraíba, Piauí, Maranhão e Bahia, onde a área reflorestada com bambu ultrapassa 40.000 hectares. Apesar da grande potencialidade agrícola do bambu, deve-se ressaltar que seu baixo nível de emprego como matéria-prima celulósica está intimamente ligado à falta de conhecimentos tecnológicos específicos, desde as atividades relacionadas com a produção de biomassa até o processamento industrial de obtenção de fibras celulósicas e manufatura do papel.

O colmo de bambu, com 40% de tecido fibroso e 50% de tecido parenquimatoso rico em amido, não deve ser processado convencionalmente na forma de cavacos, à semelhança das espécies arbóreas (madeiras): a elevada concentração de amido nos cavacos (20 a 35%) contribui para reduzir o rendimento de conversão em fibras celulósicas e elevar o consumo de reagentes químicos durante a deslignificação. Além disso, os açúcares (glicose) provenientes do desdobramento do amido são acumulados no licor negro após a deslignificação, elevando sobremaneira sua densidade e viscosidade e dificultando muito sua movimentação nas várias etapas do processamento. Por essas razões, principalmente, o aproveitamento do amido antes da deslignificação dos cavacos é de fundamental importância para uma otimização na produção de fibras celulósicas a partir do bambu.

O objetivo do presente estudo foi determinar os rendimentos em fibras celulósicas e etanol, obtidos após o tratamento dos cavacos desfibrados de bambu com solução diluída (1,0%) de ácido sulfúrico, tendo em vista o desenvol-

vimento de novo processo de utilização do bambu. Além desses rendimentos, efetuaram-se outras determinações, como densidade básica dos cavacos, fração fibrosa, glicose e amido.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo, optou-se pela espécie *Bambusa vulgaris* Schrad., por ser a mais empregada em programas de reflorestamento com bambu, visando à produção de fibras celulósicas para papel. Coletaram-se nove colmos com idades de 1, 3 e 5 anos, da coleção de espécies mantida pela Seção de Plantas Fibrosas no Centro Experimental de Campinas.

No laboratório, as amostras provenientes das diferentes regiões de cada colmo (base, meio e ponta) foram transformadas em cavacos, com o auxílio de um picador semi-industrial específico para bambu. O material picado, de acordo com a idade e região do colmo, foi previamente selecionado, considerando apenas os cavacos oriundos dos internódios do colmo. A amostragem para a execução do presente estudo foi obtida a partir desses cavacos selecionados e homogêneos quanto à espessura da parede do colmo. O método para a determinação da densidade básica e as condições de tratamento dos cavacos para as determinações da fração fibrosa, fibras celulósicas, glicose, amido e etanol serão expostos a seguir.

2.1. Densidade básica

A densidade básica dos cavacos foi determinada pelo método do máximo teor de umidade, conforme FOELKEL et al. (1971).

2.2 Condições de hidrólise do amido existente nos cavacos de bambu e sua determinação

As diferentes amostras de cavacos de bambu, após o desfibramento axial até dimensões próximas de 3 cm de comprimento e 2 mm de espessura, foram submetidas a um tratamento com ácido sulfúrico diluído, com a finalidade de hidrolisar ou desdobrar em glicose o amido presente nos cavacos de bambu, preservando suas frações fibrosas para converter em fibras celulósicas. As condições desse tratamento com relação à concentração do ácido sulfúrico (1,0% base volume), tempo de reação sob refluxo em chapa de aquecimento (120 minutos) e relação entre o peso seco da amostra e o volume da solução (1:30) foram estabelecidas mediante estudos preliminares, onde se procurou preservar ao máximo a integridade física dos cavacos desfibrados.

Após o tratamento dos cavacos desfibrados com solução diluída de ácido sulfúrico, determinou-se na fração hidrolisada a concentração de glicose, que inclui a glicose proveniente do desdobramento do amido e os açúcares (glicose)

existentes nos cavacos antes do tratamento ácido. Esses açúcares foram dosados como glicose através de uma prova em branco, substituindo-se a solução diluída de ácido pela água destilada.

O teor de amido foi calculado em função da concentração de glicose proveniente da hidrólise do amido, após o tratamento dos cavacos (amido hidrolisado) e da serragem (amido no colmo), conforme metodologia adaptada por AZZINI & ARRUDA (1986).

2.3. Rendimento em etanol

O rendimento em etanol (litros/100 kg de cavacos) foi obtido por cálculo, multiplicando-se a concentração de glicose fermentescível pelo fator de conversão de glicose para etanol (0,56). Esse fator foi obtido considerando os níveis normais de fermentação (90%), destilação (95%), densidade do etanol a 25°C (0,785 g/cm³) e dos pesos moleculares da glicose (180 g) e etanol (46 g).

2.4. Rendimento da fração fibrosa e fibras celulósicas

Após o tratamento dos cavacos desfibrados com solução diluída de ácido sulfúrico, as frações fibrosas resultantes foram lavadas sobre peneira de malha fina para retirar o excesso da solução ácida. A seguir, foram secas em estufa a 105 ± 3°C até peso constante. O rendimento da fração fibrosa ou fibras brutas foi calculado pela relação percentual entre seu peso seco e o peso seco da amostra inicial de cavacos desfibrados.

As fibras celulósicas de interesse à manufatura de papel foram obtidas a partir das frações fibrosas após a deslignificação ácida e básica. Na ácida, as amostras foram tratadas com solução composta de ácido acético glacial (50%), água oxigenada (40%) e água destilada (10%). O tratamento alcalino foi com solução de hidróxido de sódio a 5% de concentração. Ambos os tratamentos foram mantidos em banho-maria até completa individualização das fibras celulósicas e outros elementos anatômicos. A seguir, as fibras celulósicas foram lavadas sobre peneira de malha fina (120 mesh) e secas em estufa a 105 ± 3°C até peso constante. A relação percentual entre o peso seco das fibras celulósicas e o peso seco da amostra inicial de cavacos desfibrados forneceu o rendimento em fibras celulósicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica dos cavacos de bambu e os rendimentos das frações fibrosas e fibras celulósicas em função da idade (1, 3 e 5 anos) e regiões do colmo (base, meio e ponta), são apresentados, respectivamente, nos quadros 1 e 2.

QUADRO 1. Densidade básica do colmo e rendimentos da fração fibrosa e fibras celulósicas em função da idade do colmo de bambu. Médias de cinco repetições

Determinações (1)	Idade do colmo			Teste F	Tukey (5%)	C.V. (%)
	1 ano	3 anos	5 anos			
Densidade básica (g/cm ³)	0,573	0,628	0,619	1,96 ns	-	13,16
Fração fibrosa (%)	76,13 a	75,84 a	69,35 b	11,04**	3,95	6,64
Fibras celulósicas:						
- deslignificação ácida (%)	50,73 a	48,32 b	48,89 b	19,39**	2,18	5,48
- deslignificação básica (%)	55,16	54,09	53,80	1,59 ns	-	4,43

(1) Valores relacionados com o peso seco inicial da amostra.

(**) Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 2. Densidade básica do colmo e rendimentos da fração fibrosa e fibras celulósicas em diferentes regiões do colmo de bambu. Médias de cinco repetições

Determinações (1)	Regiões do colmo			Teste F	Tukey (5%)	C.V. (%)
	Base	Meio	Ponta			
Densidade básica (g/cm ³)	0,518 c	0,619 b	0,683 a	47,34**	0,041	7,63
Fração fibrosa (%)	76,35 a	72,81 a	72,16 a	2,97 ns	-	7,52
Fibras celulósicas:						
- deslignificação ácida (%)	51,26 a	49,86 a	46,85 b	19,39**	1,76	4,44
- deslignificação básica (%)	56,04 a	54,44 a	52,57 b	13,41**	1,62	3,70

(1) Valores relacionados com o peso seco inicial da amostra.

(**) Significativo ao nível de 1%.

A densidade básica dos cavacos não variou significativamente em função da idade do colmo (0,573 a 0,628 g/cm³); os colmos de *B. vulgaris* completaram sua maturidade fisiológica a partir de um ano de idade, principalmente com relação à lignificação e desenvolvimento em altura. Esses dados coincidem com os de ITOH & SHIMAJI (1981), que constataram que a lignificação dos colmos de bambu se processa gradativamente com seu crescimento axial até o aparecimento das folhas, quando atinge o nível máximo. A partir daí, a lignificação dos tecidos não se altera com a idade do colmo. Para a espécie *B. vulgaris*, o desenvolvimento em altura dos colmos se completa em aproximadamente seis meses, aparecendo a seguir as ramificações laterais e folhas. Seu ciclo vegetativo é de sete anos, ao fim dos quais perdem a coloração esverdeada, secam e gradativamente se deterioram.

Quanto às regiões do colmo (base, meio e ponta), a densidade básica dos cavacos variou de 0,518 a 0,683 g/cm³, sendo os maiores dados obtidos nas regiões mediana e ponta do colmo. Esses valores são semelhantes àqueles obtidos com o eucalipto (0,530 g/cm³) e superiores aos do pinus (0,412 g/cm³), conforme BARRICHELLO & BRITO (1976).

As frações fibrosas ou fibras brutas obtidas após a hidrólise do amido existente nos cavacos variaram com a idade dos colmos de 69,35 a 76,13% (Quadro 1), sendo os menores valores obtidos em colmos com 5 anos de idade. Para as diferentes regiões do colmo, não houve diferenças significativas entre os rendimentos da fração fibrosa (72,16 a 76,35%) (Quadro 2). Esses dados ressaltam que o tratamento dos cavacos com solução diluída (1,0%) de ácido sulfúrico apenas desdobrou o amido em glicose, não lhes alterando a aparência física. Após esse tratamento, observou-se apenas um leve escurecimento dos cavacos.

Os rendimentos em fibras celulósicas foram quantificados após a deslignificação ácida e alcalina das frações fibrosas. No tratamento ácido, onde o nível de lignina residual nas fibras celulósicas foi praticamente nulo, os rendimentos, tanto em função da idade como da região do colmo, variaram de 46,85 a 51,26% (Quadros 1 e 2), sendo os menores valores obtidos nas extremidades dos colmos com 5 anos de idade. Na deslignificação básica, os rendimentos foram ligeiramente superiores aos do tratamento ácido (52,57 a 56,04%), com a mesma tendência de menor quantidade de fibras celulósicas nas extremidades dos colmos.

Nos quadros 3 e 4, encontram-se os teores médios de glicose, amido e etanol, obtidos após o tratamento dos cavacos com solução diluída de ácido sulfúrico. A concentração de glicose na fração hidrolisada após a sacarificação do amido pela solução ácida diluída variou em função da região (22,80 a 25,58%) e idade do colmo (23,36 a 26,41%), sendo os valores mais elevados obtidos nas extremidades dos colmos com 5 anos de idade. Nessas determinações estão incluídos os açúcares (dosados como glicose) existentes nos cavacos desfibrados antes do tratamento com ácido diluído. A concentração desses açúcares foi de 1,66 a 1,70% e de 1,52 a 1,80% respectivamente, em função das diferentes regiões e idades dos colmos.

QUADRO 3. Teores de glicose, amido e etanol em função da idade do colmo de bambu. Médias de três repetições

Determinações (1)	Idade do colmo			Teste F	Tukey (5%)	C.V. (%)
	1 ano	3 anos	5 anos			
Glicose nos cavacos (%)	1,52	1,80	1,65	2,05 ns	-	17,41
Glicose na fração hidrolisada (%)	23,36 b	25,54 ab	26,41 a	3,55*	2,85	14,10
Amido hidrolisado (%)	19,65 a	21,03 a	22,29 a	1,37 ns	-	16,07
Amido no colmo (%)	25,48	25,92	26,01	0,06 ns	-	13,16
Etanol (litros/100 kg de cavacos) (2)	13,08 b	14,03 ab	14,79 a	3,54*	2,85	14,10

(1) Valores relacionados com o peso seco inicial da amostra.

(2) Valores obtidos por cálculo.

(*) Significativo ao nível de 5%.

Os teores de amido hidrolisado ou desdobrado após o tratamento dos cavacos variaram com a idade (19,65 a 22,29%) e região do colmo (18,99 a 24,27%), sendo os mais elevados fornecidos pela ponta dos colmos com 5 anos de idade. Com esse tratamento à base de ácido sulfúrico diluído a 1% de concentração, foi possível eliminar de 83 a 85% do amido existente nos cavacos de bambu. A concentração de amido observada nos cavacos antes do tratamento ácido foi de 25,48 a 26,01% em função da idade e de 22,80 a 28,51% em função da região do colmo. Esses dados revelam que o amido no colmo não foi influenciado pela idade, mas pela região de amostragem, sendo a região basal a que apresentou a menor concentração de amido.

Quanto ao rendimento em etanol, os resultados variaram em função da idade do colmo (13,08 a 14,79 litros/100 kg de cavacos) e região de amostragem (12,77 a 14,32 litros/100 kg de cavacos). Esses rendimentos alcoólicos, em conjunto com os rendimentos em fibras celulósicas (46,85 a 56,04%), evidenciaram a grande potencialidade do bambu como matéria-prima industrial para a produção conjunta de energia e fibras celulósicas para papel. Esse novo processo de utilização do bambu é mais competitivo que o processo convencional na forma de cavacos, cujos rendimentos em fibras celulósicas variaram de 37 a 42%, conforme dados da literatura especializada.

QUADRO 4. Teores de glicose, amido e etanol obtidos em diferentes regiões do colmo de bambu. Médias de três repetições

Determinações (1)	Região do colmo			Teste F	Tukey (5%)	C.V. (%)
	Base	Meio	Ponta			
Glicose nos cavacos (%)	1,70	1,66	1,66	0,21 ns	-	18,67
Glicose na fração hidrolisada (%)	22,80 b	24,93 ab	25,58 a	22,15**	2,23	11,01
Amido hidrolisado (%)	18,99 b	19,71 b	24,27 a	11,34**	3,01	12,16
Amido no colmo (%)	22,80 b	26,10 a	28,51 a	13,64**	2,74	9,02
Etanol (litros/100 kg de cavacos)	12,77 b	13,40 ab	14,32 a	22,15**	2,23	11,01

(1) Valores relacionados com o peso seco inicial da amostra.

(**) Significativo ao nível de 1%.

4. CONCLUSÕES

1) A densidade básica dos cavacos de *Bambusa vulgaris* Schrad. não variou em função da idade do colmo (0,573 a 0,628 g/cm³), mas em função da região de amostragem no colmo (0,518 a 0,683 g/cm³), sendo os cavacos mais densos aqueles provenientes da região mediana e ponta dos colmos;

2) Os rendimentos da fração fibrosa (69,35 a 76,35%) e fibras celulósicas (46,85 a 56,04%) foram mais elevados na região basal e mediana dos colmos mais novos, principalmente com relação à deslignificação ácida, cujo nível de lignina residual nas fibras foi praticamente nulo;

3) Os teores de glicose (22,80 a 26,41%), amido (18,99 a 24,27%) e etanol (12,77 a 14,79 litros/100 kg de cavacos), foram mais elevados em cavacos das extremidades dos colmos;

4) O tratamento dos cavacos desfibrados com solução diluída de ácido sulfúrico (1,0% de concentração base volume) não alterou o aspecto físico dos cavacos, tomando-os apenas levemente escurecidos. Com esse tratamento, foi

possível retirar de 83 a 85% do amido existente nos cavacos de bambu, permanecendo a fração fibrosa dos cavacos praticamente inalterada;

5) Com a execução do presente estudo, demonstrou-se a viabilidade técnica de um novo processo de utilização do bambu, tendo em vista a produção conjunta de etanol e fibras celulósicas para papel.

SUMMARY

COMBINED PRODUCTION OF CELLULOSIC FIBERS AND ETHANOL FROM BAMBOO CULM

In this study with *Bambusa vulgaris* Schrad, a new process of bamboo utilization was established to produce cellulosic fibers for papermaking and ethanol. The yields of ethanol and cellulosic fibers were determined in function of culm age (1, 3 and 5 years) and portion of sampling in each culm (base, middle and top). The yields of cellulosic fibers, ethanol and compounds like glucose and starch were determined in shredded chips after treatment with diluted sulphuric acid solution. The combined production of ethanol and cellulosic fibers was feasible technically. The yields of cellulosic fibers varied from 46.85 to 56.04% and ethanol from 12.77 to 14.79 liters/100 kg of chips. They were higher in the middle and top portions of the older culms. This trend was the same for glucose (22.80 to 26.41%) and starch (18.99 to 24.27%) contents. The fibrous fraction yield (69.35 to 76.35%) was higher in younger culms. The basic density of bamboo chips didn't vary in function of the culm age (0.573 to 0.628 g/cm³) but with the portion of sampling (0.518 to 0.683 g/cm³). The denser chips came from the middle and top portions of bamboo culms.

Index terms: bamboo, *Bambusa vulgaris* Schrad.; basic density, cellulosic fibers, starch, ethanol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZZINI, A. & ARRUDA, M.C.Q. Sacarificação da serragem de bambu visando ao estabelecimento de um método de determinação de amido. *Bragantia*, Campinas, **45**(1): 15-22, 1986.
- & QUEIROZ, M.C. Método de determinação de açúcares aldeídicos a partir do amido de bambu. *Bragantia*, Campinas **44**(1):411-416, 1985.
- BARRICHELLO, L.E.G. & BRITO, J.O. Potencialidade de espécies tropicais de eucalipto para produção de celulose sulfato branqueada. IPEF, Piracicaba, n.13:9-37, 1976.
- FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M. & BARRICHELLO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF, Piracicaba, n.2/3:65-74, 1971:
- ITOH, T. & SHIMAJI, K. Lignification of bamboo culm (*Phyllostachys pubescens*) during its growth and maturation. In: CONGRESSO INTERNACIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANIZATION, 17., Kyoto, Japan, 1981. p.104-110.