



CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS, QUÍMICAS E CELULÓSICAS DO BAGAÇO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

LUIZ E. G. BARRICHELO (*)
CELSO E. B. FOELKEL (**)
JOSÉ O. BRITO (*)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo das características anatômicas e químicas do bagaço de cana-de-açúcar de quatro variedades comerciais plantadas no Estado de São Paulo, a saber: CB 41-76, NA 56-62, CB 48-65 e CB 36-24.

Após a remoção total da medula as fibras foram transformadas em celulose através do processo soda. O esquema de branqueamento empregado foi CEHH. As celuloses não-branqueadas e branqueadas foram ensaiadas em termos de viscosidade, teores de cinzas, propriedades óticas e resistências físico-mecânicas.

(*) Seção de Química, Celulose e Papel — DS-ESALQ-USP

(**) Celulose Nipo-Brasileira S.A. — CENIBRA

De uma maneira geral a variedade CB 36-24 se mostrou superior às demais em termos de características das fibras, rendimento e qualidade da celulose.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupando a 11ª colocação mundial como produtor de celulose e 14ª como produtor de papel possui seus recursos fibrosos apoiados praticamente na madeira, tanto de coníferas como folhosas.

Porém, algumas outras matérias-primas possuem um grande potencial de utilização dependendo das perspectivas futuras de demanda de celulose e disponibilidade de fibras tradicionais.

Entre estas matérias-primas não-lenhosas o bagaço de cana-de-açúcar se destaca, sendo que a médio prazo deverá haver

uma grande disponibilidade em decorrência da execução do Programa Nacional do Alcool lançado pelo Governo Federal. Isto porque na produção de álcool em destilarias autônomas as necessidades de bagaço como combustível são sensivelmente menores que as usualmente consumidas nas usinas de açúcar e destilarias anexas.

A par disso o bagaço apresenta uma série de vantagens sobre os outros subprodutos agrícolas:

a) vem sendo utilizado de longa data resultando numa produção atual em torno de 60.000 t/ano de celulose o que confere ao País a 4ª posição como produtor mundial de celulose deste tipo;

b) é um subproduto da industrialização da cana e que po-

de ser obtido em polos centralizados de coleta, ao contrário de outros resíduos agrícolas de ampla faixa de distribuição e dispersão;

c) é usado tradicionalmente como combustível sendo possível, do ponto de vista econômico, sua substituição por combustíveis alternativos devido seu alto valor quando convertido em celulose. Há que se considerar ainda que a medula removida pode ter seu uso normal como fonte de calor;

d) se apresenta numa forma desfibrada o que facilita o cozimento pela maior rapidez de penetração do licor;

e) possui alto teor de polissacarídeos, baixo teor de lignina, alto rendimento em celulose e custo relativamente baixo.

Sobre as madeiras, de um modo geral, o bagaço apresenta a vantagem de ser produzido anualmente, ao contrário daquelas cujos ciclos variam de 5 a 15 anos no Brasil.

Todavia, o uso do bagaço apresenta alguns problemas e desvantagens em relação a outras matérias-primas (1):

a) manuseio de grandes quantidades de material volumoso num período relativamente curto, ao mesmo tempo que as operações de carregamento e transporte da cana já estão sobrecarregados;

b) necessidade de armazenar e preservar sob condições uniformes de modo a minimizar as perdas de fibras e manter uma qualidade homogênea do produto;

c) necessidade de empregar grande quantidade de mão-de-obra durante curto período do ano;

d) perigo de fogo quando grandes quantidades de bagaço são armazenadas em um só local e os resultantes custos de prevenção;

e) necessidade de desmoldamento para evitar os problemas decorrentes da presença da medula na fabricação da celulose e papel;

f) presença de altos teores de sílica exigindo a sua remoção no processamento industrial.

Apesar disto, o sucesso industrial alcançado com a produção de celulose de bagaço e seus resultados positivos são destacados por diversos autores (2-13).

O sucesso da utilização do bagaço reside no perfeito conhecimento de suas características morfológicas, anatômicas e químicas dadas as peculiaridades de sua constituição. A literatura especializada registra uma série de trabalhos dando destaque a estes fatores (14-23).

O objetivo do presente trabalho é apresentar alguns subsídios sobre as características anatômicas e químicas do bagaço de quatro variedades de cana-de-açúcar largamente plantadas no Estado de São Paulo e as propriedades de suas celuloses obtidas pelo processo soda.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

O material utilizado no presente trabalho se constitui de quatro variedades comerciais de cana-de-açúcar a saber: CB 41-76, NA 56-62, CB 48-65 e CB 36-24. A amostragem foi feita na Fazenda Santa Elisa, de propriedade da Usina Bom Jesus S.A., em Rio das Pedras-SP.

2.2. Métodos

2.2.1. Coleta e preparo inicial das amostras

O material foi colhido e submetido a processamento em moenda de laboratório visando separar o bagaço do caldo.

Os colmos assim moídos foram picados manualmente em segmentos de 2 a 3 cm de comprimento e postos para secar ao ar.

2.2.2. Preparo do material para análises microscópicas

A amostragem para as mensurações dos elementos anatômicos do bagaço foi feita diretamente sobre o material seco ao ar.

As amostras de bagaço foram desintegradas em liquidificador e a seguir lavadas através de caldo de vidro sinterizado.

O material desintegrado foi deixado secar ao ar e macerado pelo método nítrico-acético (24).

A seguir foram montadas lâminas e medidas, para fibras e medulas, as seguintes dimensões: comprimento (C), largura (L), diâmetro do lúmen (DL) e espessura da parede celular (E). Para cada ensaio foram mensurados 100 elementos anatômicos.

As seguintes relações entre dimensões dos elementos anatômicos, consideradas importantes para a produção de celulose e papel, foram determinadas:

- Índice de Runkel (2E/DL)
- Índice de enfilamento (C/L)
- Coeficiente de flexibilidade [(DL/L)100]
- Fração parede [(2E/L)100]

2.2.3. Separação de fibras e medulas para análises químicas

A amostragem para análises químicas foi feita diretamente sobre o material seco ao ar.

Cerca de 500 g de colmos de cada espécie foram desintegrados em refinador de disco. O material recolhido quantitativamente foi lavado com água para a remoção do açúcar residual.

Parte desse material integral foi separado para análises químicas e outra parte foi submetida a um tratamento visando separar-se as fibras e as medulas. Para tanto se utilizou desintegrador de laboratório e classificador de fibras modelo Brecht & Holl com diferentes tipos de telas.

O material integral, fração fibrosa e fração medular foram a seguir deixados para secar ao ar.

A seguir foram transformados em serragem utilizando-se moino tipo Wiley.

As seguintes análises químicas foram feitas usando-se o bagaço integral, fibras e medulas das quatro variedades:

Análise química	Norma
Solubilidade em:	
— álcool-benzeno	ABCP M6/68
— NaOH 1%	ABCP M5/68
Teor de:	
— celulose Cross & Bevan	ABCP M9/71
— lignina	ABCP M10/71
— pentosanas	TAPPI T19m-50
— cinzas	TAPPI T15m-58

ABCP — Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel
TAPPI — Technical Association of the Pulp and Paper Industry

2.2.4. Preparo do material para cozimento

Os colmos secos ao ar foram postos para macerar em água e a seguir desintegrados em refinador de disco visando a separação da fração medular.

Após secagem ao ar as fibras foram separadas, via seca, através de peneira de 9 mesh. A medula foi descartada e as fibras totalmente desmeduladas foram armazenadas para cozimento.

2.2.5. Cozimento

2.2.5.1. Processo

Para a produção de celulose foi empregado o processo soda.

2.2.5.2. Número de cozimento e variáveis

Para cada variedade de cana foram feitos dois cozimentos num total de oito.

O número de cada cozimento, variedade e variáveis empregadas são mostrados no quadro 1.

Os cozimentos foram executados em digestor rotativo de aço inoxidável e 20 litros de capacidade, aquecido eletricamente.

2.2.5.3. Lavagem e depuração

Após cada cozimento a celulose foi lavada e depurada em classificador de fibras Brecht & Holl.

2.2.5.4. Determinação do rendimento, número de kappa e viscosidade

Após a lavagem e depuração foram determinados o rendimento depurado, número de kappa, viscosidade das celuloses.

A percentagem de rejeitos não foi determinada dado o reduzido teor dos mesmos nas celuloses.

O número de kappa e viscosidade foram determinados, respectivamente, através das normas ABCP C 5/69 e ABCP C 9/72.

2.2.6. Branqueamento

2.2.6.1. Esquema

Para as oito celuloses foi empregado o esquema:

- Cloração (C)
- Extração alcalina (E)
- Oxidação com hipoclorito de sódio (H)
- Oxidação com hipoclorito de sódio (H)

2.2.6.2. Percentagem de cloro total

As percentagens de cloro total variaram em função do número de kappa de cada celulose. Os teores de cloro aplicados são mostrados no quadro 2.

2.2.6.3. Condições adotadas nos estágios

2.2.6.3.1. Cloração ácida (C)

- % cloro disponível = 60% do cloro total
- consistência = 4%
- temperatura = ambiente
- tempo = 45 minutos

2.2.6.3.2. Extração alcalina (E)

- % NaOH = 1,5 a 2,5%
- consistência = 10%
- temperatura = 60°C
- tempo = 1,5 h
- pH = 12

Quadro 1 — Número dos cozimentos, variedades de cana e variáveis

Nº COZIMENTO	Variedade de cana	% NaOH como Na ₂ O ativo
B4V1	41-76	10
B4V2	41-76	12
B4V3	56-62	10
B4V4	56-62	12
B4V5	48-65	10
B4V6	48-65	12
B4V7	36-24	10
B4V8	36-24	12

Variáveis pré-fixadas:

- Temperatura máxima (°C) 165
- Tempo até temp. máxima (min) 120
- Tempo a temp. máxima (min) 30
- Relação licor-mat. seca (litros/kg) 5/1

**Quadro 2 — Percentagem de cloro total aplicado
CELULOSE**

	% cloro total
B4V1	5,75
B4V2	3,50
B4V3	6,25
B4V4	3,50
B4V5	5,50
B4V6	4,00
B4V7	5,00
B4V8	2,70

2.2.6.3.3. Oxidação com hipoclorito (H)

- % cloro disponível = 30% do cloro total
- consistência = 10%
- temperatura = 45°C
- tempo = 1,5 h
- pH = 9-10

2.2.6.3.4. Oxidação com hipoclorito (H)

- % cloro disponível = 10% do cloro total
- consistência = 10%
- temperatura = 45°C
- tempo = 1,5 h
- pH = 9-10

2.2.6.4. Rendimentos após branqueamento

Após cada branqueamento procurou-se determinar o rendimento do branqueamento e o rendimento em celulose branqueada baseado no material usado originalmente.

2.2.6.5. Viscosidade, alvura e teor de cinzas

As determinações da viscosidade, alvura e teores de cinzas nas celulosas branqueadas foram efetuadas, respectivamente, através das normas ABCP C 9/72, ABCP P 16/73 e ABCP P 3/70.

2.2.7. Refinação e formação de folhas para testes

Todas as celulosas não-branqueadas e branqueadas foram refinadas em moinho centrifugal Jokro a tempos de moagem variáveis e à consistência de 6%. A cada tempo de refinação determinou-se o grau de moagem

correspondente, em termos de graus Schopper-Riegler e formaram-se folhas de gramatura aproximadamente 60 g/m² em formador e secador de folhas tipo Koethen Rapid.

2.2.8. Ensaio físico-mecânicos e óticos das celulosas

As seguintes propriedades físico-mecânicas foram determinadas conforme método TAPPI T220m-60:

2.2.8.1. Resistências a

- tração: expressa pelo comprimento de auto-ruptura em metros
- arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento
- rasgo: expressa pelo índice de rasgo
- dobramento: expressa pelo número de dobras duplas

2.2.8.2. Peso específico aparente: expresso em gramas por centímetro cúbico

2.2.8.3. Volume específico aparente: expresso em centímetros cúbicos por grama

2.2.8.4. Alvura: expressa em percentagem

2.2.8.5. Opacidade: expressa em percentagem

3. RESULTADOS

3.1. Dimensões dos elementos anatômicos

As principais dimensões dos elementos anatômicos das variedades de cana ensaiadas e suas relações são mostrados nos quadros 3 a 12.

3.2. Composição química

A composição química do bagaço integral, fração fibrosa e medular é apresentada no quadro 13. Cada resultado representa o valor médio de duas determinações feitas em paralelo.

3.3. Rendimento, número de kappa e viscosidade das celulosas não-branqueadas

Os valores encontrados para rendimento depurado, número de kappa e viscosidade são mostrados no quadro 14.

3.4. Rendimento do branqueamento, rendimento em celulose, viscosidade, alvura e teor de cinzas das celulosas branqueadas

Estes resultados são apresentados no quadro 15.

3.5. Propriedades físico-mecânicas e óticas das celulosas

Os valores encontrados para as propriedades físico-mecânicas e óticas das celulosas branqueadas e não-branqueadas são apresentados nos quadros 16 a 31.

Os quadros 32 a 34 apresentam os valores das propriedades das celulosas interpolados, através de equações, para 30, 45 e 60°SR.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1. Características anatômicas

Os comprimentos das fibras das variedades ensaiadas mostraram uma apreciável variação conforme mostrado no quadro 3. Variaram desde 1,11 até 1,30 milímetros para comprimento médio, 0,65 até 0,87 milímetros para comprimento mínimo e 1,87 até 2,41 para comprimento máximo.

No caso presente, nenhuma das variedades mostrou comprimento médio em torno de 1,70

Quadro 3 - Comprimento das fibras em milímetros

VARIETADE	Comprimento (mm)			Desvio padrão	Erro da média	Coeficiente de variação (%)
	Médio	Mínimo	Máximo			
41-76	1,13	0,70	1,87	0,2495	0,0250	22,16
56-62	1,24	0,65	2,41	0,4096	0,0410	32,94
48-65	1,11	0,70	2,04	0,2523	0,0252	22,75
36-24	1,30	0,87	2,17	0,3009	0,0299	23,08

Quadro 4 - Largura das fibras em micra

VARIETADE	Largura (micra)			Desvio padrão	Erro da média	Coeficiente de variação (%)
	Média	Mínima	Máxima			
41-76	19,6	8,0	36,0	4,5529	0,4553	23,20
56-62	19,7	12,5	30,5	4,0614	0,4021	20,63
48-65	20,1	10,0	31,0	4,3976	0,4398	21,86
36-24	21,3	11,5	33,5	4,8955	0,4788	22,95

Quadro 5 - Diâmetro do lúmen das fibras em micra

VARIETADE	Diâmetro do lúmen (micra)			Desvio padrão	Erro da média	Coeficiente de variação (%)
	Médio	Mínimo	Máximo			
41-76	10,4	3,5	23,5	3,6856	0,3704	35,61
56-62	10,3	4,5	19,5	3,4274	0,3445	33,22
48-65	10,0	3,5	22,5	3,6859	0,3686	36,82
36-24	11,6	4,0	25,0	4,1726	0,4111	36,04

Quadro 6 - Espessura das paredes das fibras em micra

VARIETADE	Espessura da parede (micra)		
	Média	Mínima	Máxima
41-76	4,6	2,0	8,0
56-62	4,7	2,0	9,3
48-65	5,0	1,8	10,0
36-24	4,9	2,0	10,5

Quadro 7 - Comprimento das medulas em milímetros

VARIETADE	Comprimento (mm)			Desvio padrão	Erro da média	Coeficiente de variação (%)
	Médio	Mínimo	Máximo			
41-76	0,50	0,26	1,20	0,1508	0,0151	30,42
56-62	0,53	0,26	1,04	0,1573	0,0157	29,47
48-65	0,49	0,22	1,00	0,1657	0,0166	33,58
36-24	0,55	0,26	1,02	0,1527	0,0153	27,88

Quadro 8 - Largura das medulas em micra

VARIETADE	Largura (micra)			Desvio padrão	Erro da média	Coeficiente de variação (%)
	Média	Mínima	Máxima			
41-76	65,8	30,0	131,0	21,3279	2,1328	32,42
56-62	65,0	35,0	123,0	19,8495	1,9846	30,59
48-65	68,3	30,5	116,0	21,1509	2,1151	30,97
36-24	68,1	32,5	119,5	20,3443	2,0447	29,89

Quadro 9 - Diâmetro do lúmen das medulas em micra

VARIETADE	Diâmetro do lúmen (micra)			Desvio padrão	Erro da média	Coeficiente de variação (%)
	Médio	Mínimo	Máximo			
41-76	53,9	21,5	111,0	22,5888	2,2589	41,91
56-62	52,9	21,0	114,0	19,4582	1,9458	36,77
48-65	56,2	17,0	99,0	20,0789	2,0079	35,75
36-24	54,9	19,0	108,0	19,5490	1,9647	35,59

Quadro 10 - Espessura das paredes das medulas em micra

VARIETADE	Espessura da parede (micra)		
	Média	Mínima	Máxima
41-76	6,0	2,5	15,0
56-62	6,0	2,5	13,8
48-65	6,1	1,25	12,2
36-24	6,6	3,0	13,8

Quadro 11 - Relações entre as dimensões das fibras

VARIETADE	Índice de Runkel	Índice de enfeitelamento	Coeficiente de flexibilidade	Fração parede
41-76	0,896	57	53	47
56-62	0,908	63	52	48
48-65	1,009	55	50	50
36-24	0,842	61	54	46

Quadro 12 - Relações entre as dimensões das medulas

VARIETADE	Índice de Runkel	Índice de enfeitelamento	Coeficiente de flexibilidade	Fração parede
41-76	0,221	8	82	18
56-62	0,228	8	81	19
48-65	0,216	7	82	18
36-24	0,239	8	81	19

milímetros como geralmente é destacado na literatura.

A largura das fibras e diâmetro dos lúmens apresentaram algumas variações em torno de 20 e 10 micra respectivamente.

Em termos de espessura das paredes das fibras os valores médios oscilaram entre 4,6 e 5,0 micra.

As relações entre as fibras apresentaram valores que se aproximam dos normalmente encontrados para folhosas. A variedade 36-24 se destacou por apresentar menor índice de Runkel, maior coeficiente de flexibilidade e menor fração parede o que permite prever uma maior resistência à tração, ao arrebentamento e dobras de sua celulose.

Quadro 13 - Composição química dos bagaços (%)

VARIETADE	FRAÇÃO	SOLUBILIDADE EM			T E O R E S D E		
		Alcool-Benzeno	NaOH 1%	Celulose	Lignina	Pentosas	Cinzas
41-76	Integral	2,8	27,5	55,4	18,2	32,5	0,6
	Fibra	2,2	23,3	63,6	22,4	36,5	0,4
	Medula	3,2	29,6	50,8	22,3	34,5	1,8
56-62	Integral	3,5	27,2	56,0	18,7	35,0	0,8
	Fibra	2,2	23,2	64,5	20,7	33,0	0,5
	Medula	3,6	26,4	53,6	22,1	36,3	2,1
48-65	Integral	2,7	27,8	61,4	16,8	30,8	0,8
	Fibra	2,5	23,4	63,3	19,3	34,0	0,5
	Medula	3,1	26,1	49,0	20,1	33,3	2,3
36-24	Integral	3,2	28,0	57,8	17,1	32,0	1,0
	Fibra	2,6	25,0	63,1	18,1	32,0	0,6
	Medula	3,1	28,6	49,1	20,3	31,5	3,0

Quadro 14 - Rendimento, número de kappa e viscosidade das celuloses não-branqueadas

VARIIDADE	COZIMENTO Nº	RENDIMENTO DE-FURADO (%)	NÚMERO DE KAPPA	VISCOSIDADE (cp)
41-76	B4V1	58,1	34,6	19,7
	B4V2	56,5	17,0	21,9
56-62	B4V3	57,0	38,0	22,1
	B4V4	55,6	17,8	26,7
48-65	B4V5	56,8	29,3	18,8
	B4V6	53,1	20,7	24,7
36-24	B4V7	58,8	27,8	27,2
	B4V8	56,1	13,0	26,3

Quadro 15 - Rendimento do branqueamento, rendimento em celulose, viscosidade, alvura e teor de cinzas das celuloses branqueadas

VARIIDADE	BRANQUEAMENTO Nº	RENDIMENTOS (%)		VISCOSIDADE (cp)	ALVURA (%)	TEOR DE CINZAS (%)
		De Branq.	Em celulose branqueada			
41-76	B4V1	90,5	52,3	17,0	83,0	0,42
	B4V2	92,8	52,4	14,6	88,0	0,53
56-62	B4V3	93,9	53,5	16,1	83,0	0,46
	B4V4	91,8	51,0	17,0	83,0	0,34
48-65	B4V5	91,4	52,1	12,4	82,0	0,42
	B4V6	95,9	50,9	12,7	85,0	0,68
36-24	B4V7	94,6	55,6	16,0	88,0	0,40
	B4V8	96,3	54,0	16,0	87,0	0,32

Quadro 16 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 41-76. Cozimento B4V1.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5	10
Grau de moagem	17	29	49	52	60
Resistências a:					
- tração	2739	6330	6826	6589	7462
- arrebentamento	14,8	43,3	57,7	54,2	61,4
- rasgo	74	66	67	65	65
- dobramento	8	48	211	186	308
Peso específico aparente	0,469	0,553	0,608	0,591	0,612
Volume específico aparente	2,13	1,81	1,65	1,69	1,63
Alvura	40,4	37,8	34,9	34,7	33,7
Opacidade	87,6	85,5	83,3	82,8	82,4

Quadro 17 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 41-76. Cozimento B4V2.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5	12
Grau de moagem	22	37	46	54	64
Resistências a:					
- tração	4201	5854	7206	7000	7520
- arrebentamento	26,9	49,1	53,6	54,9	58,1
- rasgo	74	66	69	65	57
- dobramento	64	630	1395	2355	2747
Peso específico aparente	0,479	0,558	0,587	0,599	0,665
Volume específico aparente	2,09	1,79	1,70	1,67	1,50
Alvura	48,7	45,6	43,9	42,4	39,9
Opacidade	82,6	78,9	76,6	76,1	74,4

Quadro 18 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 56-62. Cozimento B4V3.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5	12
Grau de moagem	18	29	40	48	65
Resistências a:					
- tração	3700	6135	6764	6765	7328
- arrebentamento	24,7	51,1	51,8	54,1	57,2
- rasgo	77	80	75	69	65
- dobramento	83	977	1291	1831	2756
Peso específico aparente	0,464	0,539	0,583	0,588	0,615
Volume específico aparente	2,15	1,96	1,72	1,70	1,63
Alvura	38,5	35,5	33,8	32,0	30,4
Opacidade	83,4	86,1	84,5	84,1	82,0

Quadro 19 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 56-62. Cozimento B4V4.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5	12
Grau de moagem	20	30	46	54	68
Resistências a:					
- tração	4883	6329	7871	8228	8996
- arrebentamento	22,2	42,2	52,8	53,5	59,3
- rasgo	80	72	65	73	64
- dobramento	220	535	1713	1476	1651
Peso específico aparente	0,475	0,544	0,592	0,597	0,635
Volume específico aparente	2,11	1,84	1,69	1,68	1,57
Alvura	44,8	41,8	39,6	37,8	35,2
Opacidade	84,5	81,5	79,6	78,0	74,9

Quadro 20 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 48-65. Cozimento B4V5.

Tempo de moagem (min)	0	5	12
Grau de moagem	13	29	52
Resistências a:			
- tração	2381	3591	5984
- arrebentamento	-	11,0	41,6
- rasgo	52	64	68
- dobramento	8	23	854
Peso específico aparente	0,447	0,498	0,569
Volume específico aparente	2,24	2,01	1,76
Alvura	37,5	35,9	32,1
Opacidade	88,1	86,8	83,3

Quadro 21 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 48-65. Cozimento B4V6.

Tempo de moagem (min)	0	5	12
Grau de moagem	14	31	39
Resistências a:			
- tração	2613	3586	6400
- arrebentamento	20,3	38,3	45,8
- rasgo	66	77	72
- dobramento	13	320	861
Peso específico aparente	0,450	0,557	0,570
Volume específico aparente	2,22	1,80	1,75
Alvura	42,8	37,9	36,1
Opacidade	85,6	81,8	81,1

Quadro 22 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 36-24. Cozimento B4V7.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5	12
Grau de moagem	19	32	41	54	60
Resistências a:					
- tração	4448	6140	7264	7923	7719
- arrebentamento	27,0	51,0	56,5	52,4	60,4
- rasgo	72	77	63	64	63
- dobramento	212	1928	2169	2259	2378
Peso específico aparente	0,484	0,553	0,625	0,659	0,654
Volume específico aparente	2,06	1,81	1,60	1,52	1,53
Alvura	41,6	38,3	36,0	33,9	32,8
Opacidade	86,4	84,4	82,1	80,9	79,3

Quadro 23 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose não-branqueada. Variedade 36-24. Cozimento B4V8.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5	12
Grau de moagem	21	34	41	47	65
Resistências a:					
- tração	4384	6584	7995	7172	7868
- arrebentamento	26,2	44,7	57,3	53,5	57,7
- rasgo	69	63	58	60	60
- dobramento	172	1054	1402	1702	1486
Peso específico aparente	0,500	0,596	0,614	0,620	0,660
Volume específico aparente	2,00	1,68	1,63	1,61	1,52
Alvura	48,0	44,4	42,4	41,6	39,5
Opacidade	82,8	80,4	76,6	76,2	73,2

Quadro 24 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 41-76. Branqueamento B4V1.

Tempo de moagem (min)	0	5	7,5	10
Grau de moagem	16	38	40	51
Resistências a:				
- tração	3746	7910	8009	8091
- arrebentamento	21,0	53,4	56,6	59,1
- rasgo	74	38	50	58
- dobramento	97	1894	1930	2175
Peso específico aparente	0,476	0,605	0,617	0,618
Volume específico aparente	2,10	1,65	1,62	1,62
Alvura	72,2	67,1	66,1	65,5
Opacidade	67,1	60,8	59,5	56,8

Quadro 25 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 41-76. Branqueamento B4V2.

Tempo de moagem (min)	0	5	7,5	10
Grau de moagem	20	37	43	49
Resistências a:				
- tração	3843	6069	7588	7140
- arrebentamento	19,6	51,3	59,1	54,6
- rasgo	71	60	51	52
- dobramento	54	117	2160	1345
Peso específico aparente	0,478	0,596	0,621	0,625
Volume específico aparente	2,09	1,68	1,61	1,60
Alvura	78,7	75,4	73,4	71,8
Opacidade	64,8	57,8	56,4	55,4

Quadro 26 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 56-62. Branqueamento B4V3.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5
Grau de moagem	16	31	41	51
Resistências a:				
- tração	4224	6418	7263	7662
- arrebentamento	31,2	48,7	55,1	59,9
- rasgo	80	70	61	63
- dobramento	149	1322	1649	2120
Peso específico aparente	0,496	0,576	0,608	0,622
Volume específico aparente	2,02	1,74	1,65	1,61
Alvura	70,0	66,8	65,3	63,9
Opacidade	66,5	61,6	58,9	57,3

Quadro 27 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 56-62. Branqueamento B4V4.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5
Grau de moagem	17	30	40	49
Resistências a:				
- tração	3662	6764	6978	7215
- arrebentamento	28,3	48,2	52,8	50,2
- rasgo	80	62	59	62
- dobramento	142	898	1635	2001
Peso específico aparente	0,463	0,579	0,605	0,627
Volume específico aparente	2,16	1,73	1,65	1,60
Alvura	71,7	68,0	65,7	64,2
Opacidade	69,6	61,6	58,5	57,4

As dimensões apresentadas pelas medulas mostraram um comprimento em torno de 0,50 milímetros, largura ao redor de 65 micra, diâmetro do lúmen com 52 micra e espessura de paredes ao redor de 6 micra. Estas dimensões bem como as relações entre elas confirmam não possuírem as células da medula nenhuma característica que possa contribuir para a qualidade da celulose. Inclusive, já é de longa data reconhecido o efeito prejudicial da presença da me-

dula acompanhando as fibras do bagaço e as vantagens do desmedulamento como tratamento preliminar de industrialização desta matéria-prima (14, 25-29).

4.2. Composição química

A análise química dos bagaços mostrou uma aparente semelhança entre as variedades ensaiadas, ocorrendo razoáveis diferenças entre as frações "integral", "fibra" e "medula" dentro de uma mesma variedade.

Quadro 28 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 48-65. Branqueamento B4V5.

Tempo de moagem (min)	5	10
Grau de moagem	37	52
Resistências a:		
- tração	5454	5878
- arrebentamento	35,0	38,3
- rasgo	66	63
- dobramento	186	549
Peso específico aparente	0,535	0,566
Volume específico aparente	1,87	1,77
Alvura	67,7	64,8
Opacidade	60,3	57,0

Quadro 29 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 48-65. Branqueamento B4V5.

Tempo de moagem (min)	5	10
Grau de moagem	32	50
Resistências a:		
- tração	5046	6066
- arrebentamento	35,8	37,2
- rasgo	76	69
- dobramento	214	917
Peso específico aparente	0,537	0,570
Volume específico aparente	1,86	1,75
Alvura	70,2	67,5
Opacidade	58,9	56,3

Quadro 30 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 36-24. Branqueamento B4V7.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5
Grau de moagem	18	30	37	49
Resistências a:				
- tração	3915	6906	7291	7758
- arrebentamento	24,2	52,8	54,0	55,6
- rasgo	67	60	58	60
- dobramento	217	2132	2100	2780
Peso específico aparente	0,508	0,612	0,634	0,636
Volume específico aparente	1,97	1,63	1,58	1,57
Alvura	77,5	74,6	72,7	71,1
Opacidade	67,4	60,5	57,3	56,2

Quadro 31 - Propriedades físico-mecânicas e óticas da celulose branqueada. Variedade 36-24. Branqueamento B4V8.

Tempo de moagem (min)	0	2,5	5	7,5
Grau de moagem	20	32	41	50
Resistências a:				
- tração	3911	6362	6916	7069
- arrebentamento	25,8	49,0	54,7	58,4
- rasgo	69	69	62	60
- dobramento	171	1066	1518	2328
Peso específico aparente	0,490	0,588	0,635	0,645
Volume específico aparente	2,04	1,70	1,57	1,55
Alvura	78,5	75,9	74,4	73,4
Opacidade	69,7	61,6	57,9	56,2

De uma maneira geral as fibras se mostraram mais ricas em celulose e pentosanas enquanto que as medulas possuíam maiores teores de lignina e cinzas. O bagaço integral apresentou teores intermediários entre os valores encontrados para as fibras e medulas.

4.3. Rendimentos e características das celuloses

Os rendimentos se mostraram excepcionalmente elevados para

Quadro 32 - Propriedades físico-mecânicas das celulosos. Valores interpolados para 30°SR.

VARI- DADE	COZIMEN- TO OU BRANQUE- AMENTO	CELULOSE NÃO-BRANQUEADA						CELULOSE BRANQUEADA					
		Tração	Arreben- tamento	Rasgo	Dobras	Peso Es- pec. Apa- rente	Volume Esp. Apa- rente	Tração	Arreben- tamento	Rasgo	Dobras	Peso Es- pec. Apa- rente	Volume Esp. Apa- rente
41-76	B4V1	5.645	42,8	68	130	0,555	1,82	6944	47,4	60	1527	0,578	1,74
	B4V2	5.492	40,5	70	784	0,536	1,89	5785	39,6	61	782	0,564	1,80
56-62	B4V3	5.866	45,3	74	1207	0,546	1,86	6500	48,1	68	1380	0,580	1,74
	B4V4	6.616	40,2	73	864	0,545	1,86	6258	45,6	66	1219	0,573	1,76
48-65	B4V5	4.550	25,0	65	414	0,524	1,93	5110	32,3	69	123	0,509	1,95
	B4V6	5.654	38,8	74	543	0,551	1,82	4853	13,4	77	82	0,531	1,88
36-24	B4V7	6.308	45,5	69	1510	0,572	1,78	6553	45,7	61	1862	0,601	1,67
	B4V8	6.160	41,9	64	898	0,569	1,78	5956	45,0	66	1148	0,579	1,75

Quadro 33 - Propriedades físico-mecânicas das celulosos. Valores interpolados para 45°SR.

VARI- DADE	COZIMEN- TO OU BRANQUE- AMENTO	CELULOSE NÃO-BRANQUEADA						CELULOSE BRANQUEADA					
		Tração	Arreben- tamento	Rasgo	Dobras	Peso Es- pec. Apa- rente	Volume Esp. Apa- rente	Tração	Arreben- tamento	Rasgo	Dobras	Peso Es- pec. Apa- rente	Volume Esp. Apa- rente
41-76	B4V1	6.778	54,5	65	200	0,593	1,69	8139	57,5	55	2068	0,617	1,77
	B4V2	6.743	52,2	65	1732	0,596	1,69	7107	50,3	54	1318	0,620	1,61
56-62	B4V3	6.854	54,2	71	1863	0,588	1,71	7383	56,8	64	1849	0,612	1,63
	B4V4	7.882	51,6	68	1366	0,592	1,70	7317	52,6	60	1733	0,621	1,60
48-65	B4V5	5.162	30,3	68	543	0,545	1,84	5714	37,0	64	283	0,554	1,80
	B4V6	6.546	47,2	76	708	0,581	1,70	5864	35,0	70	778	0,564	1,77
36-24	B4V7	7.331	55,0	66	2178	0,627	1,61	7800	56,7	58	2652	0,644	1,54
	B4V8	7.412	53,4	60	1416	0,623	1,61	7290	57,2	62	1870	0,638	1,56

Quadro 34 - Propriedades físico-mecânicas das celulosos. Valores interpolados para 60°SR.

VARI- DADE	COZIMEN- TO OU BRANQUE- AMENTO	CELULOSE NÃO-BRANQUEADA						CELULOSE BRANQUEADA					
		Tração	Arreben- tamento	Rasgo	Dobras	Peso Es- pec. Apa- rente	Volume Esp. Apa- rente	Tração	Arreben- tamento	Rasgo	Dobras	Peso Es- pec. Apa- rente	Volume Esp. Apa- rente
41-76	B4V1	7.340	60,4	64	232	0,611	1,62	8731	62,5	53	2337	0,636	1,55
	B4V2	7.360	57,9	62	2201	0,626	1,59	7762	55,6	50	1593	0,649	1,52
56-62	B4V3	7.344	58,5	70	2188	0,608	1,64	7820	60,3	61	2089	0,628	1,58
	B4V4	8.510	57,2	66	1615	0,616	1,62	7842	56,0	57	1988	0,644	1,52
48-65	B4V5	5.465	32,9	69	606	0,556	1,80	6014	39,3	62	636	0,576	1,73
	B4V6	6.988	51,4	77	789	0,596	1,64	6366	40,6	66	1123	0,580	1,71
36-24	B4V7	7.868	72,7	65	2510	0,655	1,52	8419	62,2	57	3043	0,665	1,47
	B4V8	8.032	59,1	58	1673	0,649	1,53	7952	63,2	61	2229	0,668	1,46

os respectivos números de kappa. Tal fato pode ser atribuído ao alto teor de celulose Cross & Bevan e pentosanas do bagaço. Os valores estiveram entre 53,1 e 58,8% se destacando as variedades 41-76 e 36-24. Esta última mostrou ainda ser mais facilmente deslignificada e apresentou maior viscosidade para celulose não-branqueada, maior rendimento do branqueamento e maior alvura.

As celulosas se mostraram facilmente branqueáveis e apresentaram viscosidades relativamente elevadas considerando-se o esquema de branqueamento empregado (CEHH) e o nível de alvura conseguido.

Os teores de cinzas nas celulosas foram elevados quando comparados com aquelas provenientes de folhosas e confieras, porém esta é uma característica geral das monocotiledôneas.

4.4. Refinação e propriedades físico-mecânicas e óticas

As celulosas das quatro variedades mostraram uma elevada velocidade de refinação devido ao alto teor de pentosanas e às características intrínsecas das fibras.

De uma maneira geral e com raras exceções a variedade 36-24 foi a que mostrou maiores resistências à tração, ao arrebentamento, a dobras e maiores pesos específicos. Tais fatos podem ser explicados pelas características anatômicas da variedade que apresentou maior comprimento de fibra, maior largura, maior diâmetro do lúmen, menor índice de Runkel e maior coeficiente de flexibilidade.

Por outro lado a variedade 48-65 se destacou por apresentar maior resistência ao rasgo talvez devido a maior espessura de parede de suas fibras, maior índice de Runkel e maior fração parede.

Finalmente, comparando-se as celulosas não-branqueadas e branqueadas observou-se uma pronunciada diminuição da opacidade após o branqueamento.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BARRICHELO, L.E.G., FOELKEL, C.E.B. e BERGER, R. — 1975 — **Viabilidade técnico-econômica da utilização do bagaço de cana como matéria-prima para a fabricação de celulose**, ESALQ, Depto. de Silvicultura, 63p. (mimeografado)
2. ATCHISON, J.E. — 1962 — Bagasse becoming a major raw material for manufacture of pulp and paper — background present status and future possibilities. **Proceedings XI Congress — International Society of Sugar Cane Technologists**, p: 1185-1204
3. ATCHISON, J.E. — 1964 — Progress in the utilization of bagasse as a raw material for paper and pulp manufacture. **Chem. Age India** 15(8):971-2
4. ATCHISON, J.E. — 1974 — Present status and future potencial for utilization of bagasse in the pulp, paper and paperboard industry — a world-wide review. **Proceedings XV Congress — International Society of Sugar Cane Technologists**, p:1851-1863.
5. GRANT, J. — 1970 — Fibrous raw materials for the paper industry: past, present and future. **Paper Technology** 11(3):187-189.
6. KROGH, G. — 1959 — Uma nova aproximação ao problema do bagaço de cana. **II Convenção da ABCP**, São Paulo, 12p.
7. MISRA, D.K. — 1965 — Utilizing bagasse for papermaking in India Mandya mill is significant. **TAPPI** 48(7):88R-92A
8. MUSSI, F. — 1970 — Bagaço, importante matéria-prima para satisfazer necessidades nacionais. **O Papel** Ano XXXI Agosto p:57-68. **O Papel** Ano XXXI Setembro p:33-46
9. ROBINSON, W. — 1973 — Papel para Jornal feito a partir do bagaço. **V Convenção da ABCP**, S. Paulo, 12p.
10. RUSSO, J.G. — 1975 — O bagaço de cana-de-açúcar e sua crescente utilização na produção de celulose e papel. **O Papel**, Ano XXXVI Março p:49-55
11. VILLAVICENCIO, E.J. — 1971 — Celulose de bagaço alvejado: qualidade comercial. **VI Convenção Anual da ABCP**, 19p.
12. VILLAVICENCIO, E.J. — 1974 — World market potencial for bleached bagasse pulp — a technical review. **Proceedings XV Congress International Society of Sugar Cane Technologists** p:1782-1792
13. GRANT, R. — 1976 — Bagasse is still competitive. **Pulp & Paper International**. February p:44-47
14. VALSECHI, O. — 1968 — **Tecnologia da celulose de bagaço de cana-de-açúcar para papel: estudos relativos à influência da medula**. Tese de Concurso, ESALQ, 228p (mimeografado)
15. ALMEIDA, J.R. — 1948 — Bagaço de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Junho p.33-38
16. KNAPP, S.B.; WATT, R.A. e WETHERN, J.D. — 1957 — Sugarcane bagasse as a fibrous papermaking material. I. Chemical composition of Hawaiian bagasse. **TAPPI** 40(7):595-597
17. ISENBERG, I.H., KNAPP, S.B. e WETHERN, J.D. — 1957 — Sugarcane bagasse as a fibrous papermaking material. II. Cell dimensions of Hawaiian Bagasse. **TAPPI** 40(7):597-601
18. ATCHISON, J.E. e Colaboradores — 1962 — The utilization of bagasse for manufacture of pulp, paper and board. **Pulp and Paper Science and Technology**, Vol. I. Pulp p:334-339 McGraw-Hill Book Co. N.Y.
19. BARRICHELO, L.E.G. e FOELKEL, C.E.B. — 1975 — Bagaço de cana-de-açúcar — Importante matéria-

- prima para cel ulose. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira para Progresso da Ciência**, 12p.
20. RYDHOLM, S.A. — 1965 — **Pulping Processes**. Interscience Publishers Inc. N.Y. 1269p.
21. SAMANIEGO, R., NAQUI, H.A. e ESCOLANO, J.O. — 1974 — Effects of methods of pulping, bleaching and blending on physico-chemical properties of sugarcane bagasse for newsprint. **Proceedings XV Congress International Society of Sugar Cane Technologists**, p:1821-1839
22. TADOKORO, T. e ITÔ, K. — 1941 — Chemical studies of bagasse pulp. **J. Agr. Chem. Soc. Japan** 17:2191-4 In C.A. 45(1951)
23. VALSECHI, O. — 1968 — A cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria. **Brasil Açucareiro**, Vol. LXXII Nº 4 p:23-39.
24. BARRICHELO, L.E.G. e FOELKEL, C.E.B. — 1975 — **Método nítrico-acético para maceração de madeira**, ESALQ, Depto. de Silvicultura, 4p. (mimeografado)
25. KELLER, A.G. — 1965 — The mechanical depithing of sugar cane bagasse. **Sugar Journal** 20(7) 23-24
26. ATCHISON, J.E. — 1971 — Review of bagasse depithing. **Proceedings XIV Congress — International Society of Sugar-Cane Technologists** p:1202-1217
27. KNAPP, S.B., MILLIKEN, J.H. e WETHERN, J.D. 1958 — Effects of depithing and bagasse variables on pulping characteristics. **TAPPI** 40:602-9
28. RUCKSTUHL, K. — 1971 — Bagasse depithing — problems and solutions. **Pulp & Paper International** Jul, p:49-50
29. VILLAVICENCIO, E.J. — 1971 — Centrifugal wet depithing — **Proceedings XIV Congress International Society of Sugar-Cane Technologists** p:1218-1228