


FRANCISCO JOSÉ JANUÁRIO MACHADO

UFV	BBT	RG000191529
	T 634.986113 / M149e	
Efeitos do alcali, temperatura e tempo de		
		
97487		BBT

EFEITOS DO ÁLCALI, TEMPERATURA E TEMPO DE REAÇÃO NA POLPAÇÃO
SODA DE SISAL (Agave sisalana Perrine)

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Ciência Flo-
restal, para Obtenção do Título de
"Magister Scientiae".

BIBLIOTECA CENTRAL - U F V -
97.487
14-09-87

T
634.986113
M149e
1987
Ex. 2

DOAÇÃO

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
AGOSTO - 1987

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T
Machado, Francisco José Januário.
M149e Efeitos do álcali, temperatura e tempo de reação
1987 na polpação soda de sisal (Agave sisalana Perrine).
Viçosa, UFV, 1987. (orientação)
53p. ilustr.

Tese (M.S.). - UFV

1. Celulose soda de sisal. 2. Sisal - Produção de
celulose. 3. Celulose - Relação tempo/temperatura-
álcali. 4. Indústria de celulose. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD adapt. à C.D.O.: 634.986113

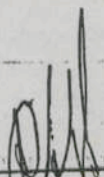
Prof. José Januário Machado
(orientador)

CAÇADO

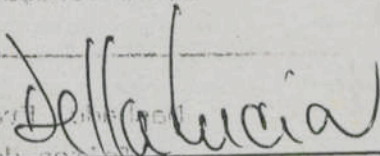
EFEITOS DO ÁLCALI, TEMPERATURA E TEMPO DE REAÇÃO NA POLPAÇÃO
SODA DE SISAL (Agave sisalana Perrine)

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Ciência Flo-
restal, para Obtenção do Título de
"Magister Scientiae".

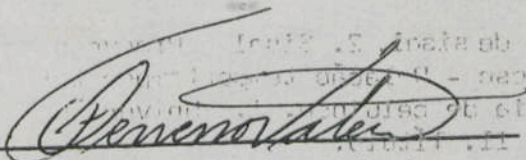
APROVADA: 18 de junho de 1987



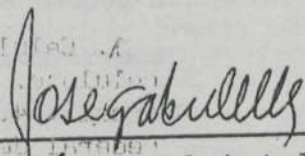
Prof. Benedito Rocha Vital
(Conselheiro)



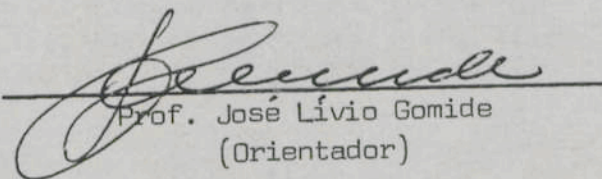
Prof. Ricardo Marius Della Lucia
(Conselheiro)



Prof. Osvaldo Ferreira Valente



Prof. José Gabriel de Lelles



Prof. José Lívio Gomide
(Orientador)

Aos meus pais,

À minha esposa Gilvânia,

Aos meus irmãos,

Aos meus sogros.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Orientador, José Lívio Gomide, pelos ensinamentos, estímulo, amizade e sábia orientação.

Aos Professores Conselheiros, Benedito Rocha Vital e Ricardo Marius Della Lucia, pelas sugestões e esclarecimentos na elaboração dos programas de computação e assistência nos procedimentos estatísticos.

Ao Professor Laércio Couto e aos demais professores do Departamento de Engenharia Florestal.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Florestal e do Conselho de Pós-Graduação, pela oportunidade de realização deste Curso.

À Companhia de Celulose da Bahia, pelo fornecimento do material utilizado.

Aos funcionários do Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa, na pessoa do técnico Cláudio Bittencourt de Souza.

Aos colegas de curso, pela amizade e colaboração.

À Gilvânia, minha esposa, pelo incentivo, encorajamento, compreensão e ajuda.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

FRANCISCO JOSÉ JANUÁRIO MACHADO, filho de Geraldo Magela Machado e Rosina Pascoalino Machado, nasceu em Tocantis, Estado de Minas Gerais, em 2 de setembro de 1958.

Cursou o 1.^o grau na Escola Estadual "Dr. João Moreira Pinto", em Tocantis, Minas Gerais, e o 2.^o grau na Escola Estadual "Senador Levindo Coelho", em 1976, na Cidade de Ubá, Minas Gerais.

Em 1982, obteve o Título de Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Em 1983, ingressou no Curso de Mestrado em Ciência Florestal, na área de Tecnologia de Celulose e Papel, na Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1987, concluiu os requisitos necessários para a obtenção do Grau de "Magister Scientiae".

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
EXTRATO	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
3.1. Características Dimensionais das Fibras de Sisal	10
3.2. Análises Químicas do Sisal	12
3.3. Características das Polpas de Sisal	13
3.3.1. Deslignificação	14
3.3.2. Rendimentos	15
3.3.3. Viscosidade	20
3.3.4. Moagem das Polpas	22
3.3.5. Propriedades Físico-Mecânicas das Polpas	25
3.3.6. Análises dos Licores Residuais dos Cozimentos ...	35
4. RESUMO E CONCLUSÕES	38
BIBLIOGRAFIA	40
APÊNDICE	44

LISTA DE QUADROS

		Página
1	Dimensões Médias das Fibras de Sisal e suas Inter-Relações	11
2	Composição Química da Fibra de Sisal	12
3	Equações Matemáticas do Número Kappa das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Álcalis Ativos e Tempos de Reação Estudados, em Função da Temperatura de Cozimento	14
4	Equações Matemáticas dos Rendimentos Total e Depurado e do Teor de Rejeitos das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Álcalis Ativos e Tempos de Reação Estudados, em Função da Temperatura de Cozimento	17
5	Equações Matemáticas da Viscosidade das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Álcalis Ativos e Tempos de Reação Estudados, em Função da Temperatura de Cozimento	20
6	Equações Matemáticas do Grau Schopper-Riegler das Polpas Soda de Sisal nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem	23

7	Equações Matemáticas do Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem	26
8	Equações Matemáticas do Índice de Rasgo das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem	27
9	Equações Matemáticas do Índice de Arrebetamento das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem	28
10	Equações Matemáticas do Alongamento das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem	29
11	Valores Médios para as Características dos Licores Residuais dos Cozimentos	36
1A	Números Kappa das Polpas Soda de Sisal	45
2A	Rendimentos Depurados das Polpações Soda de Sisal	46
3A	Teores de Rejeitos das Polpações Soda de Sisal	47
4A	Viscosidades das Polpações Soda de Sisal.....	48
5A	Valores de pH dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal	49
6A	Álcalis Ativos dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal	50
7A	Teores de Sólidos dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal	51
8A	Teores de Matéria Inorgânica dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal	52
9A	Teores de Matéria Orgânica dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal	53

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Influência Estimada da Temperatura de Cozimento, do Tempo de Reação e do Álcali Ativo na Deslignificação Soda de Sisal	16
2 Influência Estimada da Temperatura de Cozimento, do Tempo de Reação e do Álcali Ativo nos Rendimentos e Teores de Rejeitos das Polpas Soda de Sisal	18
3 Influência Estimada da Temperatura de Cozimento, do Tempo de Reação e do Álcali Ativo na Viscosidade das Polpas Soda de Sisal	21
4 Influência Estimada do Álcali Ativo e do Tempo de Reação no Grau Schopper-Riegler das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas, em Função do Tempo de Moagem..	24
5 Influência Estimada do Álcali Ativo e do Tempo de Reação, no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, em Função do Tempo de Moagem	30
6 Influência Estimada do Álcali Ativo e do Tempo de Reação no Índice de Rasgo das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, em Função do Tempo de Moagem	31

EXTRATO

MACHADO, Francisco José Januário, M.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 1987. Efeitos do Álcali, Temperatura e Tempo de Reação na Polpação Soda de Sisal (*Agave sisalana* Perrine). Professor Orientador: José Lívio Gomide. Professores Conselheiros: Benedito Rocha Vital e Ricardo Marius Della Lucia.

A realização deste experimento, em condições de laboratório, teve por objetivo o estudo dos efeitos do álcali ativo (15, 17 e 19%), da temperatura (155, 160 e 165°C) e do tempo de reação (40 e 180 minutos) na polpação soda de sisal (*Agave sisalana* Perrine), para a obtenção de polpa de alta qualidade. Os dados experimentais das propriedades físico-mecânicas, rendimentos total e depurado, teores de rejeitos, números κ e viscosidades foram analisados, estatisticamente, por meio de análises de regressão.

Celuloses soda de sisal não-branqueadas foram obtidas com maiores rendimentos e propriedades físico-mecânicas mais elevadas, quando a deslignificação foi conduzida com baixa carga alcalina (15%), temperaturas de 155 e 165°C e tempos de reação de, respectivamente, 180 e 40 minutos. Foi detectada ligeira superioridade para o tratamento com temperatura de cozimento de 165°C, tempo de reação de 40 minutos e álcali de 15%. Industrialmente, seria aconselhável utilizar estas últimas condições, pois

haveria aumento da produtividade (redução de cerca de 78% do tempo de cozimento), das propriedades físico-mecânicas (5% para a tração, arrebentamento e alongamento e 18% para o rasgo) e da viscosidade (10%).

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de matérias-primas celulósicas no mundo tem intensificado a procura de novas fontes alternativas de recursos fibrosos não-convencionais para a produção de celulose e papel.

O sisal tem sido, normalmente, utilizado pela indústria de cordoaria, sendo pouco empregado como matéria-prima para a produção de celulose e papel, não só pelo seu alto custo, mas, também, pela deficiência de informações tecnológicas referentes à sua transformação em celulose e papel.

A produção nacional de celulose de sisal, correspondente a 3% da produção de fibra longa no Brasil, foi, em 1985, de 31.757 toneladas, das quais 56% são branqueadas e 44% não-branqueadas (1). Dessa celulose, cerca de 91% é produzida pelo processo soda e 9% pelo processo kraft, sendo o Estado da Bahia o maior produtor, com 56%, seguindo-se os Estados da Paraíba (28%), do Rio de Janeiro (9%) e de Pernambuco (7%).

De acordo com KIRBY (18), o sisal é originário da península de Yucatan, no México. Pertence à família Amarilidaceae, subfamília Agavoi-daceae Pax, compreendendo 300 espécies, sendo típica de regiões semi-áridas e quentes. No Brasil, segundo MEDINA (23), a espécie mais difundida

é a Agave sisalana Perrine, tendo sido as primeiras mudas trazidas da Flórida para a Bahia, em 1903, por Horácio Urpia S. Junior (27).

MEDINA (21) caracterizou morfológicamente o sisal como planta que apresenta um bulbo central ao redor do qual se inserem folhas longas, de 1 a 2 m de comprimento, com largura variando entre 10 e 15 cm, dispostas em roseta espiralada. As folhas, de onde se retiram as fibras, são rígidas, lisas, verde-lustrosas, linear-lanceoladas, eretas, carnosas, bordos lisos e inermes, com espinhos terminal castanho. O bulbo central emite uma haste, ou pendão floral, vulgarmente chamado de vela. Esse pendão só é emitido no final da vida da planta que, em geral, varia de cinco a 15 anos. Porém, na prática, o autor verificou que a planta apresenta período de vida de sete a nove anos, produzindo em torno de 300 folhas, das quais cerca de 220 são industrializáveis. Em estudos realizados sobre a multiplicação de sisal, MEDINA (22) verificou que esse vegetal se reproduz agamicamente por meio de bulbilhos que se originam do pendão floral ou de rebentos de seus rizomas, emitidos após dois anos de plantio.

De acordo com testes realizados por SANTOS e SFALCIN (26), a folha de sisal é composta basicamente de 4% de fibras, 12% de "finos" e 84% de suco, totalizando, portanto, 96% de resíduos não-fibrosos. BRASIL (6) relatou que essas mucilagens podem ser retiradas por dois processos: o tradicional, que consiste na raspagem da folha que é introduzida manualmente num rotor com lâminas raspadoras, e um processo mais moderno, que consiste na picagem da folha em comprimento de 10 cm e desfibramento por meio de moinho de martelo.

BARRICHELO (3), em estudos realizados sobre a influência dos "finos" na polpação de sisal, verificou que a presença de "finos" reduz o rendimento e aumenta o consumo de reagentes químicos na polpação, em razão de possuir elevados teores de extrativos e solúveis em água quente, quando comparados com as fibras.

A JAAKKO POYRY e CO. (16), estudando a influência de "finos" (parênquimas e fragmentos de fibras) no cozimento e branqueamento de sisal,

verificaram que os "finos" contêm maiores teores de substâncias solúveis em água, de cinza, de extrativos e de lignina do que as fibras, tendo concluído que o sisal sem "finos" pode ser cozido com álcalis mais baixos, resultando em rendimentos de 5 a 7% superiores aos obtidos com o uso de sisal com "finos".

Segundo CASEY (8), as fibras de sisal são pontiagudas, afiladas e de parede delgada. Estudos realizados por SOBRINHO (29) demonstram que o comprimento das fibras varia de 1 a 4 mm, com largura de 23 a 25 micra. Esse mesmo autor apresentou a seguinte constituição química para as fibras de sisal: 11% de lignina, 72% de celulose, 13% de hemicelulose, 3% de ceras e gorduras e 1% de peptinas.

RIBEIRO e GUIMARÃES (24), após análises microscópicas e químicas das fibras de sisal, demonstraram que essa matéria-prima possui fibras com comprimento médio de 4 mm, largura média de 24 micra, 13,9% de pentosanas, 0,76% de cinzas e 0,131% de extrativos em éter.

SILVA et alii (29), estudando a viabilidade do sisal para produção de celulose, verificaram que esse vegetal se revela com características atraentes para a produção de celulose, por apresentar baixo teor de lignina (11%), altos teores de celulose (54%) e de pentosanas (14%) e, também, por possuir fibras com boas características dimensionais (comprimento entre 2,8 e 3,8 mm, diâmetro de lúmen de 8 a 10 micra e espessura de parede de 4 a 6 micra).

O rendimento fibra/folha é de grande importância para a avaliação da produtividade, em fibra, de um sisalal e para o dimensionamento da produção de um fábrica de celulose. Vários estudos foram realizados na tentativa de aumentar essa relação, principalmente por meio de cruzamentos entre espécies de sisal, para a obtenção de híbridos com maior rendimento de fibra/planta. MEDINA (23) verificou que o sisal possui rendimento de fibra seca/folha de 3,5 a 5,5% e produção de 1,3 a 1,6 tonelada de fibras secas por hectare/ano. Segundo SOBRINHO (30), as fibras secas, produzidas pelo método tradicional, que utiliza rotor com lâminas raspadoras, correspondem a 3% do peso da folha verde, que é de cerca de 500g. LOOK (20) realizou cruzamentos entre Agave angustifolia e Agave amaniensis

e obteve um híbrido com relação fibra/folha de 5%.

CIARAMELLO et alii (10) demonstraram que a produção de Agave sisalana é, em média, de 217 folhas úteis por período produtivo (sete a nove anos), com rendimento de 3,7% de fibras secas/folha e produção de 4 kg de fibras/planta/tempo produtivo.

A maioria dos trabalhos sobre sisal refere-se ao cultivo, exploração, manejo, produtividade e extração de fibras. Poucos são os estudos relacionados com a polpação química de sisal, os quais, na maioria, são de caráter geral.

O cozimento do sisal é geralmente realizado em digestores esféricos e rotativos, usando-se o processo soda ou uma mistura de 10% de cal e 5% de carbonato de sódio (base de peso das fibras), a uma pressão de $1,75 \text{ kg/cm}^2$, durante oito a 10 horas. O rendimento, nessas condições, é de 50 a 60%, obtendo-se polpa para a produção de papéis excepcionalmente flexíveis e resistentes, principalmente com elevada resistência ao rasgo (8).

O sisal, por ser pouco lignificado, admite tratamentos tanto pelo processo soda quanto pelo processo sulfato (7).

A JAAKKO POYRY e CO. (17) demonstraram que, para a polpação soda de sisal a carga alcalina de 24% (como NaOH) é elevada e que álcali de 22,5% parece ser mais apropriado para essa matéria-prima.

Papéis produzidos com sisal possuem elevadas resistências ao rasgo, superiores aos fabricados com madeiras, alta porosidade e com refinamento adequado, que é perfeitamente viável para a fabricação de papéis finos, papéis tipo kraft e base para carbono (27).

O FINNISH PULP AND PAPER RESEARCH INSTITUTE (12), realizando testes laboratoriais, em escala piloto, com polpa de sisal, verificou que a polpa de sisal pode ser usada para reforçar algumas propriedades de resistências de papéis produzidos com outras polpas.

BARRICHELO (4) verificou que a celulose de sisal se destaca por apresentar excepcional resistência ao rasgo, alta porosidade, baixo peso específico aparente e, conseqüentemente, altos volumes específicos, quando

comparada com celuloses produzidas a partir de madeiras de folhosas e coníferas.

De acordo com BORGES (5), a polpa de sisal, quando misturada com polpa de folhosas, aumenta o rasgo, dobras e porosidade e, quando misturada com celulose de eucalipto, bagaço e outras celuloses de fibras curtas, pode substituir as celuloses de coníferas, obtendo-se o mesmo resultado, usando, porém, 20% a menos do que seria necessário com celulose tradicional de fibras longas.

RIBEIRO e GUIMARÃES (24), em estudos comparativos entre fibras têxteis nacionais e fibras de madeira, verificaram que o sisal se refina com relativa facilidade, mas, para atingir um mesmo grau de refino, requer maior tempo que o eucalipto. Esses autores mostraram também que o sisal, quando comparado com o eucalipto, a 50^oSR, apresentava menor resistência à tração, maior resistência ao rasgo (praticamente o dobro), maior resistência ao estouro, maior porosidade e maior opacidade. Concluíram, portanto, que a celulose de sisal, desde que convenientemente manipulada, poderia substituir, com vantagens, algumas celuloses de madeiras, tanto nacionais quanto importadas, na fabricação de vários tipos de papéis (de embalagens, escrever, sacos, cabos, glassine e de baixa gramatura).

As condições de polpação influenciam diretamente as características das polpas produzidas. Por exemplo, é bem conhecido que, variando-se a temperatura de cozimento ou tempo de cozimento ou, ainda, a carga de álcali ativo, a velocidade de deslignificação, o rendimento e a qualidade da celulose também variam. RYDHOLM (25), estudando as causas da dissolução dos carboidratos da madeira, verificou que, acima de 150^oC, a principal causa de degradação alcalina das celuloses e hemiceluloses era a reação de despolimerização terminal. Essa reação resulta na formação de compostos solúveis de baixos pesos moleculares e, conseqüentemente, num decréscimo do rendimento. Nolan e McCready, citados por CASEY (8), verificaram que a taxa de dissolução dos carboidratos era grandemente aumentada em temperaturas elevadas e que essa taxa era duplicada para cada

aumento de 10°C na faixa normal de temperatura de cozimento, que varia de 160 a 180°C . LIBBY (19) afirmou que a concentração de químicos ativos no licor de cozimento é uma variável muito importante e que afeta a velocidade de deslignificação.

O objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos do álcali ativo, da temperatura e do tempo de reação à máxima temperatura na polpação soda de sisal, visando a um melhor conhecimento do efeito desses parâmetros na produção de polpa de alta qualidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste estudo consistiu de amostras de sisal obtidas de plantações industriais de Agave sisalana, localizadas no Norte da Bahia. O processo empregado para a obtenção do material fibroso consistiu no uso de um desfibrador, vulgarmente denominado "brasilana", cujo princípio de funcionamento consiste na raspagem das folhas, quando introduzidas manualmente num rotor com lâminas raspadoras. Esse material apresenta percentagem relativamente baixa de mucilagem. O sisal foi amostrado, ao acaso, no pátio de estocagem de uma indústria de celulose, secado ao ar e armazenado em sacos de polietileno, para a conservação e a uniformização do teor de umidade.

As características dimensionais das fibras foram determinadas com auxílio de microscópio (largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular) ou utilizando a técnica de microprojeção (comprimento). Foram medidas, após a maceração do sisal com solução nítrico-acética, 150 fibras.

As determinações do teor de pentosanas e da solubilidade em água quente, NaOH 1%, diclorometano e álcool/tolueno foram realizadas segundo as normas da ABCP (2). A determinação de holocelulose foi realizada, utilizando-se solução de clorito de sódio e ácido acético, tampoadada com acetato de sódio para pH 4,7. O teor de elementos minerais foi

determinado por absorção atômica (9) e espectrofotometria; a lignina solúvel em ácido, determinada por espectrofotômetro, conforme GOLDSCHMID (13); e a lignina insolúvel em ácido, realizada de acordo com GOMIDE e DEMUNER (14). A análise de sílica e silicatos na cinza foi realizada de acordo com a norma SCAN (28).

Os cozimentos para a produção de celulose foram realizados em autoclave rotativa, com capacidade de 20 litros, aquecida eletricamente, dotada de manômetro e termômetro, com quatro reatores individualizados, com capacidade de dois litros cada um, possibilitando a realização de quatro cozimentos simultâneos. Para a obtenção da celulose, utilizou-se o processo soda e todos os cozimentos foram realizados com duas repetições, nas seguintes condições: a) 200 g de sisal a.s.; b) álcalis ativos, como Na_2O de 15, 17 e 19%; c) temperaturas máximas de 155, 160 e 165°C; d) tempo até a temperatura de 100 min; e) tempos à temperaturas máximas de 40 e 180 min; f) relação licor/sisal de 4/1; e g) cinco minutos de tempo de pré-impregnação, a 90°C. O tempo de 180 minutos, à temperatura máxima de cozimento, foi selecionado por ser o utilizado industrialmente na produção de 50 a 60% da celulose branqueada de sisal, no Brasil. O tempo de 40 minutos foi selecionado com base em estudos de polpação soda de sisal realizados por BARRICHELO (3, 4), para verificar a possibilidade de diminuir consideravelmente esse tempo, uma vez que o sisal possui, relativamente, baixo teor de lignina, o que não justifica, talvez, um tempo muito longo para deslignificação. A utilização de menores tempos de cozimento resultaria em considerável aumento de produtividade.

Feitos os cozimentos, o material foi desfibrado em moinho de discos Bauer, com separação entre discos de 0,32 mm, e a polpa foi depurada num classificador laboratorial Voith, dotado de tela com fendas de 0,2 mm de abertura.

Foram determinados os rendimentos, os teores de rejeitos, os números kappa e as viscosidades das polpas. A moagem das polpas para o desenvolvimento das resistências foi realizada em moinho centrifugal Jockro, na consistência de 6%. A confecção de folhas para os testes físico-mecânicos foi realizada em formador Köthen-Rapid. Para os testes das

polpas, seguiram-se as normas da ABCP (2).

Os efeitos do álcali ativo, temperatura de cozimento e tempo de reação nas propriedades físico-mecânicas, rendimento depurado, rendimento total, teor de rejeito, número kappa e viscosidade foram analisados, estatisticamente, por meio da análise de regressão, tendo sido estabelecidos intervalos de confiança, pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade, para os coeficientes de regressão das polpas que apresentavam o mesmo modelo matemático. As equações de regressão, cujos coeficientes não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t, foram agrupadas em uma única equação. A melhor equação para cada parâmetro foi escolhida, considerando-se a significância dos coeficientes individuais de regressão ($\alpha = 0,05$), a redução do quadrado médio do erro, o valor do coeficiente de determinação (R^2) e a análise de resíduos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Dimensionais das Fibras de Sisal

Os resultados médios obtidos para as dimensões das fibras e suas inter-relações fundamentais encontram-se no Quadro 1.

Pela análise do Quadro 1, verifica-se que as fibras do sisal apresentaram comprimento intermediário entre fibras curtas de madeira de folhosas e fibras longas de madeira de coníferas; são relativamente estreitas e têm paredes espessas. Com exceção do comprimento, são bastante semelhantes às fibras de eucalipto de densidade elevada como, por exemplo, o E. pellita e o E. citriodora. Em razão dessas características, as fibras de sisal apresentaram alto índice de enfiamento que, aliado ao elevado índice de Runkel, devem resultar em papéis com alta resistência ao rasgo. Por outro lado, as fibras mostraram-se relativamente rígidas, com alta proporção de parede em relação ao diâmetro do lúmen e largura da fibra. Conseqüentemente, as fibras apresentaram menor potencial para sofrerem colapso durante o refino e a formação de folha de papel, resultando em menor capacidade de ligações interfibras, o que deverá afetar desfavoravelmente as resistências à tração e ao arrebentamento do papel. Os papéis confeccionados com fibras de sisal deverão apresentar, ainda, elevada porosidade, baixo peso específico e elevado volume específico.

QUADRO 1 - Dimensões Médias das Fibras de Sisal e suas Inter-Relações

Dimensões e Inter-Relações	Valores
Comprimento, mm	
. Médio	2,76
. Mínimo	1,42
. Máximo	5,36
. Coeficiente de variação, %	22,46
. Desvio-padrão	0,62
Largura, μm	
. Média	20,33
. Mínima	13,35
. Máxima	37,38
. Coeficiente de variação, %	20,85
. Desvio-padrão	4,24
Espessura da parede, μm	
. Média	5,84
. Mínima	3,56
. Máxima	8,90
. Coeficiente de variação, %	21,06
. Desvio-padrão	1,23
Diâmetro do lúmen, μm	
. Médio	8,55
. Mínimo	6,23
. Máximo	19,58
. Coeficiente de variação, %	29,50
. Desvio-padrão	2,52
Coeficiente de flexibilidade, %	42,26
Índice de enfeltramento	136,43
Fração-parede, %	57,74
Índice de Runkel	1,34

3.2. Análises Químicas do Sisal

O Quadro 2 mostra os valores médios obtidos para as análises químicas do sisal.

QUADRO 2 - Composição Química da Fibra de Sisal

Análises	Resultados (%)
- Teor de:	
pentosanas	19,10
holocelulose	90,70
lignina: insolúvel	6,70
solúvel	3,20
total	9,90
cinzas	1,47
- Teor de elementos minerais na cinza:	
sílica e silicatos	4,15
cálcio	16,25 (22,75% CaO)
magnésio	5,42 (9,02% MgO)
potássio	21,87 (26,24% K ₂ O)
- Solubilidade em:	
água quente	8,12
NaOH 1%	16,64
diclorometano	0,40
álcool-tolueno	2,76

A análise química do sisal, mostrada no Quadro 2, revelou elevados teores de substâncias solúveis em água quente e NaOH 1%. Essas substâncias irão consumir álcali durante a polpação, requerendo maior aplicação de químicos no digestor, para que permaneça, no final do cozimento, álcali suficiente para evitar reprecipitação da lignina. Esses elevados teores, embora representem desvantagens, uma vez que contribuem para decréscimo no rendimento, são contrabalançados pelo baixo teor de lignina e, conseqüentemente, pelo elevado teor de holocelulose. O teor de lignina é consideravelmente baixo e o de holocelulose, elevado, quando comparado ao das madeiras de folhosas. As folhosas apresentam teores de lignina que oscilam em torno de 22% e as coníferas, em torno de 28%, ficando o teor de holocelulose, para ambas, entre 70 e 80%. Isto sugere que o sisal deve ser fácil e rapidamente deslignificado, resultando em cozimentos com altos rendimentos. Entretanto, isso não foi verificado neste trabalho. Embora o teor de pentosanas seja comparável aos das folhosas, o sisal apresentou certa dificuldade para desenvolver suas propriedades de resistência durante o refino. Teor relativamente elevado de elementos minerais, denominados, genericamente, cinzas, também foi observado. O sisal apresentou 1,47% de cinzas, com a sílica e os silicatos representando 4,15% da cinza, o que corresponde a 0,06% do peso do sisal seco. O baixo teor de sílica do sisal constitui importante vantagem, uma vez que no setor de recuperação haverá formação de menores quantidades de silicatos de cálcio, reduzindo os problemas causados pelas incrustações. Por outro lado, as cinzas, quando analisadas quimicamente, apresentaram elevados teores de cálcio e potássio. O cálcio, quando presente em maiores quantidades, constitui desvantagem, uma vez que no setor de branqueamento, sob a forma de oxalato de cálcio, atua como agente tampão nos estádios de cloração e dioxidação, reduzindo a eficiência do branqueamento e a alvura final da polpa (17).

3.3. Características das Polpas de Sisal

Para caracterização das polpas celulósicas, foram estabelecidas equações matemáticas, por meio de análise de regressão. As polpas com

equações de regressão semelhantes foram agrupadas em uma única equação.

Para os rendimentos total e depurado, teores de rejeitos e viscosidades não houve agrupamentos, porém, para o alongamento e as resistências à tração e ao rasgo, as semelhanças observadas permitiram agrupamentos.

As equações matemáticas para o número kappa, rendimentos total e depurado, teores de rejeitos, viscosidades e propriedades físico-mecânicas encontram-se nos Quadros 3 a 9.

3.3.1. Deslignificação

As equações matemáticas referentes aos números kappa das polpas produzidas com diferentes tempos de reação, álcalis ativos e temperaturas de cozimentos encontram-se no Quadro 3.

QUADRO 3 - Equações Matemáticas do Número Kappa das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Álcalis Ativos e Tempos de Reação Estudados, em Função da Temperatura de Cozimento

Equações	R^2	Sx.y
$K_1 = 105,6876 - 0,003297 T^2$	0,996	0,314
$K_2 = 101,0159 - 0,003237 T^2$	0,984	0,597
$K_3 = 99,8395 - 0,003283 T^2$	0,991	0,441
$K_4 = 44,6149 - 0,001313 T^2$	0,925	0,530
$K_5 = 32,0674 - 0,000907 T^2$	0,975	0,205
$K_6 = 25,6730 - 0,000719 T^2$	0,964	0,199

K = Número kappa (1 = 40 min e 15% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 15% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA); T = temperatura de cozimento, °C; AA = Álcali ativo; Sx.y = Erro-padrão residual.

Na Figura 1 é mostrada a influência estimada da temperatura e do tempo de cozimento na deslignificação soda de sisal, em diferentes níveis de álcalis ativos. Verifica-se que aumentos de álcali ativo, nas temperaturas e tempos de reação estudados, resultaram em pequenos aumentos na deslignificação, enquanto elevações na temperatura de cozimento, no tempo menor de reação, tiveram aumentos mais pronunciados. No tempo de reação de 40 minutos, o aumento da temperatura de cozimento de 155 para 165°C ocasionou decréscimos de cerca de 10 unidades no número kappa, enquanto para o tempo de 180 minutos esta queda foi menos pronunciada, ou seja, cerca de 1,2 unidade. Independente da temperatura, o álcali ativo de 19% foi o que apresentou os melhores resultados na deslignificação, tendo ocasionado reduções de três a seis unidades no número kappa, quando comparado com o álcali ativo de 15%, e de duas a três unidades, quando comparado com o álcali ativo de 17%. Entretanto, alta carga alcalina poderá ocasionar degradação excessiva dos carboidratos, afetando o rendimento e as propriedades físico-mecânicas da polpa.

3.3.2. Rendimentos

No Quadro 4 encontram-se as equações matemáticas para os rendimentos total e depurado e o teor de rejeitos nos diferentes álcalis ativos e tempos de reação estudados, em relação à temperatura de cozimento.

Os efeitos estimados do álcali ativo, temperatura e tempo de reação nos rendimentos e teores de rejeitos das polpas são mostrados na Figura 2.

Aumentos da carga alcalina afetaram desfavoravelmente os rendimentos depurado e total, sendo o maior efeito para o tempo de reação de 180 minutos, para a mesma temperatura de cozimento. Para mesma carga alcalina, os cozimentos realizados com 180 minutos resultaram em polpas com maiores rendimentos depurados que os realizados com 40 minutos. Entretanto, a partir de cerca de 163°C, as polpas obtidas com 40 minutos de reação apresentaram maior rendimento depurado, indicando que temperaturas mais elevadas de cozimento favorecem o rendimento depurado para

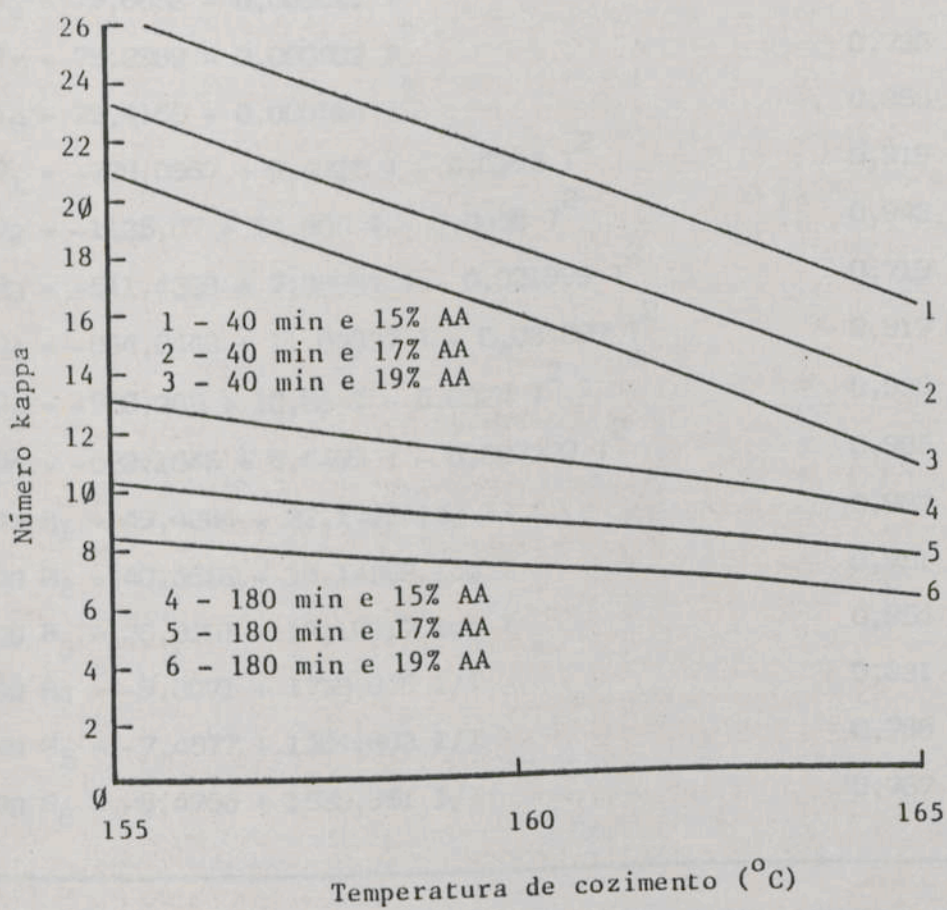


FIGURA 1 - Influência Estimada da Temperatura de Cozimento, do Tempo de Reação e do Álcali Ativo na Deslignificação Soda de Sisal.

QUADRO 4 - Equações Matemáticas dos Rendimentos Total e Depurado e do Teor de Rejeitos das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Álcalis Ativos e Tempos de Reação Estudados, em Função da Temperatura de Cozimento

Equações	R ²	Sx.y
$RT_1 = 39,7748 + 3980,157 \ 1/T$	0,842	0,296
$RT_2 = 38,4742 + 3948,219 \ 1/T$	0,865	0,269
$RT_3 = 38,8147 + 3579,323 \ 1/T$	0,905	0,200
$RT_4 = 79,6652 - 0,000611 \ T^2$	0,814	0,409
$RT_5 = 75,2989 - 0,000502 \ T^2$	0,736	0,415
$RT_6 = 75,4166 - 0,000564 \ T^2$	0,865	0,314
$RD_1 = -728,0667 + 9,4925 \ T - 0,0285 \ T^2$	0,919	0,085
$RD_2 = -1135,07 + 14,805 \ T - 0,0458 \ T^2$	0,942	0,086
$RD_3 = -511,4398 + 7,08987 \ T - 0,021999 \ T^2$	0,719	0,088
$RD_4 = -804,6448 + 11,03837 \ T - 0,034899 \ T^2$	0,919	0,085
$RD_5 = -750,385 + 10,26 \ T - 0,0324 \ T^2$	0,930	0,068
$RD_6 = -622,1648 + 8,6499 \ T - 0,027399 \ T^2$	0,985	0,031
$\text{Log } R_1 = 49,4204 - 22,1795 \ \text{log } T$	0,989	0,028
$\text{Log } R_2 = 40,3656 - 18,14362 \ \text{log } T$	0,951	0,050
$\text{Log } R_3 = 38,0961 - 17,18917 \ \text{log } T$	0,954	0,046
$\text{Log } R_4 = -9,3071 + 1733,876 \ 1/T$	0,831	0,134
$\text{Log } R_5 = -7,4577 + 1384,863 \ 1/T$	0,788	0,122
$\text{Log } R_6 = -8,4755 + 1520,951 \ 1/T$	0,767	0,314

RT = Rendimento total, % (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA); RD = Rendimento depurado, % (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA); R = Teor de rejeito, % (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA); T = Temperatura de cozimento, °C; AA = Álcali ativo, % Sx.y = Erro-padrão residual.

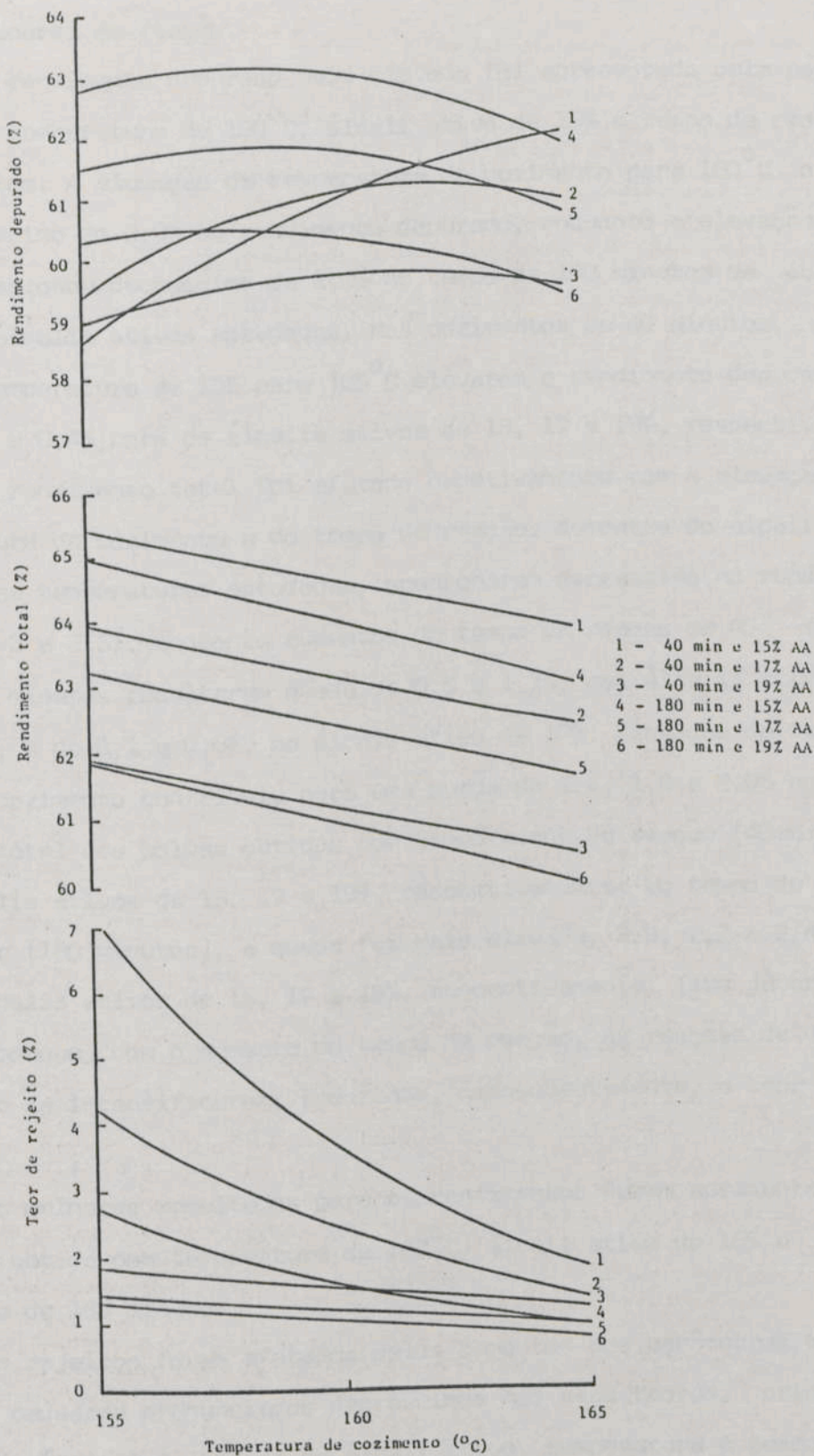


FIGURA 2 - Influência Estimada da Temperatura de Cozimento, do Tempo de Reação e do Álcali Ativo nos Rendimentos e Teores de Rejeitos das Polpas Soda de Sisal.

tempos menores de reação.

O rendimento depurado mais elevado foi apresentado pela polpa obtida com temperatura de 160°C , álcali ativo de 15% e tempo de reação de 180 minutos. A elevação da temperatura de cozimento para 160°C ocasionou acréscimo de 0,3% no rendimento depurado, enquanto a elevação para 165°C ocasionou decréscimo de 1,3% no tempo de 180 minutos de cozimento, nos álcalis ativos estudados. Nos cozimentos de 40 minutos, aumentos da temperatura de 155 para 165°C elevaram o rendimento depurado de 3,7, 1,5 e 0,4%, para os álcalis ativos de 15, 17 e 19%, respectivamente.

O rendimento total foi afetado negativamente com a elevação da temperatura de cozimento e do tempo de reação. Aumentos do álcali ativo de 2%, nas temperaturas estudadas, ocasionaram decréscimo no rendimento total de 2 a 2,5%, enquanto aumentos do tempo de reação de 40 minutos para 180 minutos resultaram queda de 0,6 a 1,1%, nos álcalis ativos de 15 e 17%, e de 0,1 a 0,6%, no álcali ativo de 19%. Elevação da temperatura de cozimento contribuiu para uma queda de 1,4, 1,8 e 2,0% no rendimento total das polpas obtidas com tempo menor de reação (40 minutos), nos álcalis ativos de 15, 17 e 19%, respectivamente. No tempo de reação maior (180 minutos), a queda foi mais elevada, 2,0, 2,2 e 2,4%, para os álcalis ativos de 15, 17 e 19%, respectivamente. Isto já era esperado, porque, com o aumento do tempo de reação, as reações de deslignificação se intensificaram, reduzindo, conseqüentemente, o teor de rejeitos.

Os melhores resultados para os rendimentos foram apresentados pela polpa obtida com temperatura de 160°C , álcali ativo de 15% e tempo de reação de 180 minutos.

Os rejeitos foram afetados pelos aumentos dos parâmetros estudados, que causaram pronunciados decréscimos nos seus teores, principalmente nos níveis mais baixos de álcali ativo, temperatura e tempo de cozimento.

3.3.3. Viscosidade

As equações matemáticas da viscosidade, nos diferentes álcalis ativos, tempos de reação, temperaturas de cozimento, são apresentadas no Quadro 5.

Na Figura 3 é mostrada a influência estimada da temperatura de cozimento, do tempo de reação e do álcali ativo na viscosidade das polpas soda de sisal.

QUADRO 5 - Equações Matemáticas da Viscosidade das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Álcalis Ativos e Tempos de Reação Estudados, em Função da Temperatura de Cozimento

Equações	R ²	Sx.y
$V_1 = 1634,336 - 720,894 \log T$	0,994	0,727
$V_2 = 1378,071 - 606,2014 \log T$	0,986	0,888
$V_3 = 1617,531 - 716,4466 \log T$	0,983	1,129
$V_4 = 1087,198 - 481,2759 \log T$	0,986	0,700
$V_5 = 1043,338 - 463,2690 \log T$	0,985	0,684
$V_6 = 1046,019 - 466,0789 \log T$	0,997	0,329

V = Viscosidade, cP (1 = 40 min e 15% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 15% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA); T = Temperatura de cozimento, °C; AA = Álcali ativo, %; Sx.y = Erro-padrão residual.

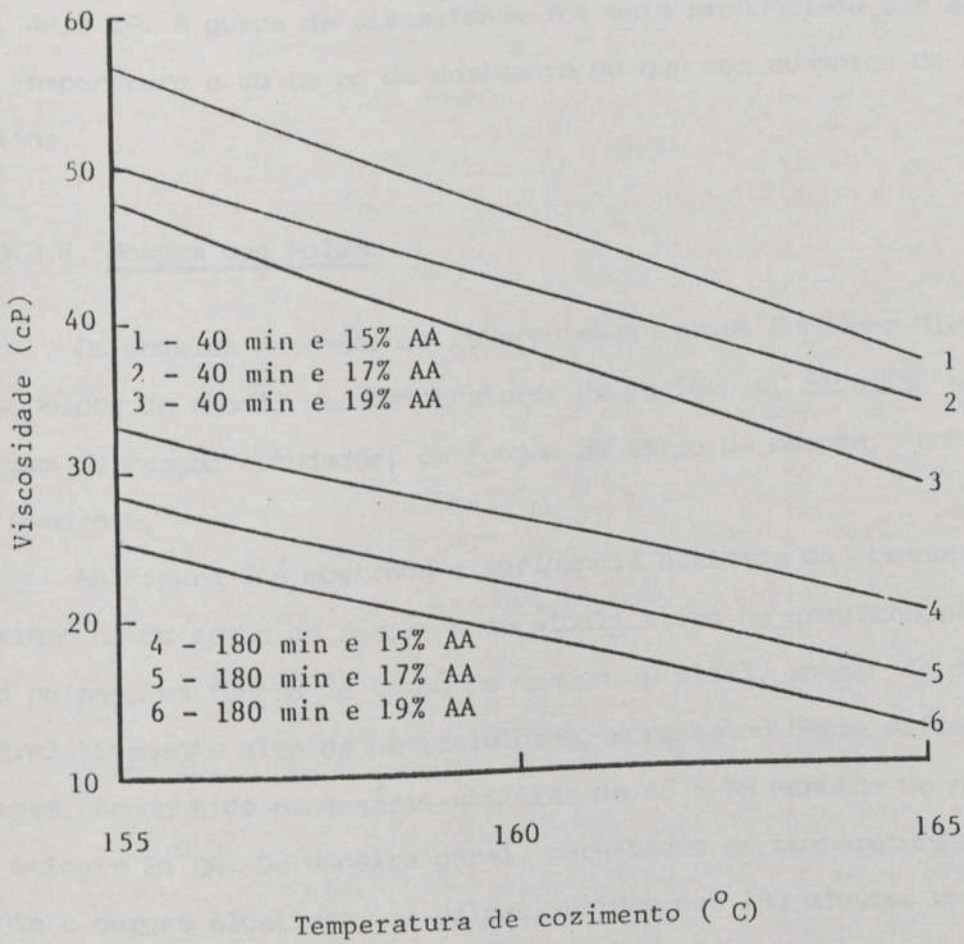


FIGURA 3 - Influência Estimada da Temperatura de Cozimento, do Tempo de Reação e do Álcali Ativo na Viscosidade das Polpas Sodade Si sal.

Observa-se que o aumento da temperatura de cozimento ou do álcali ativo ou, ainda, do tempo de reação resultou em diminuição da viscosidade da polpa, o que pode ser atribuído à degradação química das moléculas de celulose e hemiceluloses (hidrólise) pela ação alcalina. A elevação do tempo de cozimento de 40 para 180 minutos ocasionou, em média, redução de cerca de 44 a 51% nas viscosidades das polpas. Os valores de viscosidade variaram de 12,7 a 55,6 cP, para números kappa de 6,1 a 26,5. Essas viscosidades são relativamente elevadas, uma vez que uma polpa soda de E. grandis, com número kappa 21,0, apresenta viscosidade de aproximadamente 17,0 cP (13) e a de sisal, no mesmo número kappa, 48,0 cP. A queda da viscosidade foi mais pronunciada com a elevação da temperatura e do tempo de cozimento do que com aumentos de carga alcalina.

3.3.4. Moagem das Polpas

Os modelos matemáticos referentes aos graus Schopper-Riegler ($^{\circ}\text{SR}$) das polpas de sisal, nas temperaturas de cozimento, álcalis ativos e tempos de reação estudados, em função do tempo de moagem, encontram-se no Quadro 6.

Na Figura 4 é mostrada a influência estimada da temperatura de cozimento, do tempo de reação e do álcali ativo no grau Schopper-Riegler das polpas, em função do tempo de moagem. O sisal, apesar de possuir teor relativamente alto de hemiceluloses, apresentou certa dificuldade na moagem, tendo sido necessário utilizar de 45 a 75 minutos de moagem para atingir 26°SR . De maneira geral, para todas as temperaturas de cozimento e cargas alcalinas, as polpas obtidas com 180 minutos de reação apresentaram maior facilidade de refino que as obtidas com 40 minutos de reação. Isto se deve, dentre outros fatores, a menores viscosidades e números kappa das polpas obtidas com o tempo de reação de 180 minutos, aumentando a flexibilidade das fibras do sisal e, conseqüentemente, resultando numa melhor formação da folha de celulose. O desenvolvimento do grau Schopper-Riegler com o aumento do tempo de moagem foi mais pronunciado para as polpas obtidas com as temperaturas de 160° e 165°C , 15%

QUADRO 6 - Equações Matemáticas do Grau Schopper-Riegler das Polpas Soda de Sisal nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem

Equações	R ²	Sx.y
SR ₁ (155°C) = 16,1714 - 0,048095 TM + 0,003095 TM ²	0,999	0,3119
SR ₂ (155°C) = 16,5714 - 0,064762 TM + 0,00254 TM ²	0,994	0,8821
SR ₃ (155°C) = 16,7143 - 0,10095 TM + 0,003175 TM ²	0,994	1,0225
SR ₄ (155°C) = 15,1103 + 0,003091 TM ²	0,998	0,7218
SR ₅ (155°C) = 15,3724 + 0,002756 TM ²	0,998	0,6725
SR ₆ (155°C) = 15,1517 + 0,002676 TM ²	0,996	0,9386
SR ₁ (160°C) = 16,3714 - 0,061429 TM + 0,003095 TM ²	0,998	0,5938
SR ₂ (160°C) = 16,1714 - 0,038095 TM + 0,002539 TM ²	0,997	0,6616
SR ₃ (160°C) = 16,3714 - 0,051429 TM + 0,002539 TM ²	0,998	0,5172
SR ₄ (160°C) = 16,0483 + 0,003621 TM ²	0,995	1,4114
SR ₅ (160°C) = 14,9655 + 0,003525 TM ²	0,992	1,7576
SR ₆ (160°C) = 14,9172 + 0,003237 TM ²	0,997	0,9022
SR ₁ (165°C) = 16,2857 - 0,049048 TM + 0,002936 TM ²	0,999	0,4410
SR ₂ (165°C) = 16,2000 - 0,026667 TM + 0,002222 TM ²	0,998	0,4126
SR ₃ (165°C) = 16,0828 + 0,003614 TM ²	0,968	3,5377
SR ₄ (165°C) = 15,5034 + 0,003499 TM ²	0,996	1,2345
SR ₅ (165°C) = 14,5517 + 0,003416 TM ²	0,993	1,5158

SR (155°C) = Grau Schopper-Riegler (°SR), na temperatura de 155°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 15% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA);

SR (160°C) = Grau Schopper-Riegler, na temperatura de 160°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA);

SR (165°C) = Grau Schopper-Riegler, na temperatura de 165°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min, 17% AA e 19% AA).

AA = Álcali ativo, %.

TM = Tempo de moagem, min.

Sx.y = Erro-padrão residual.

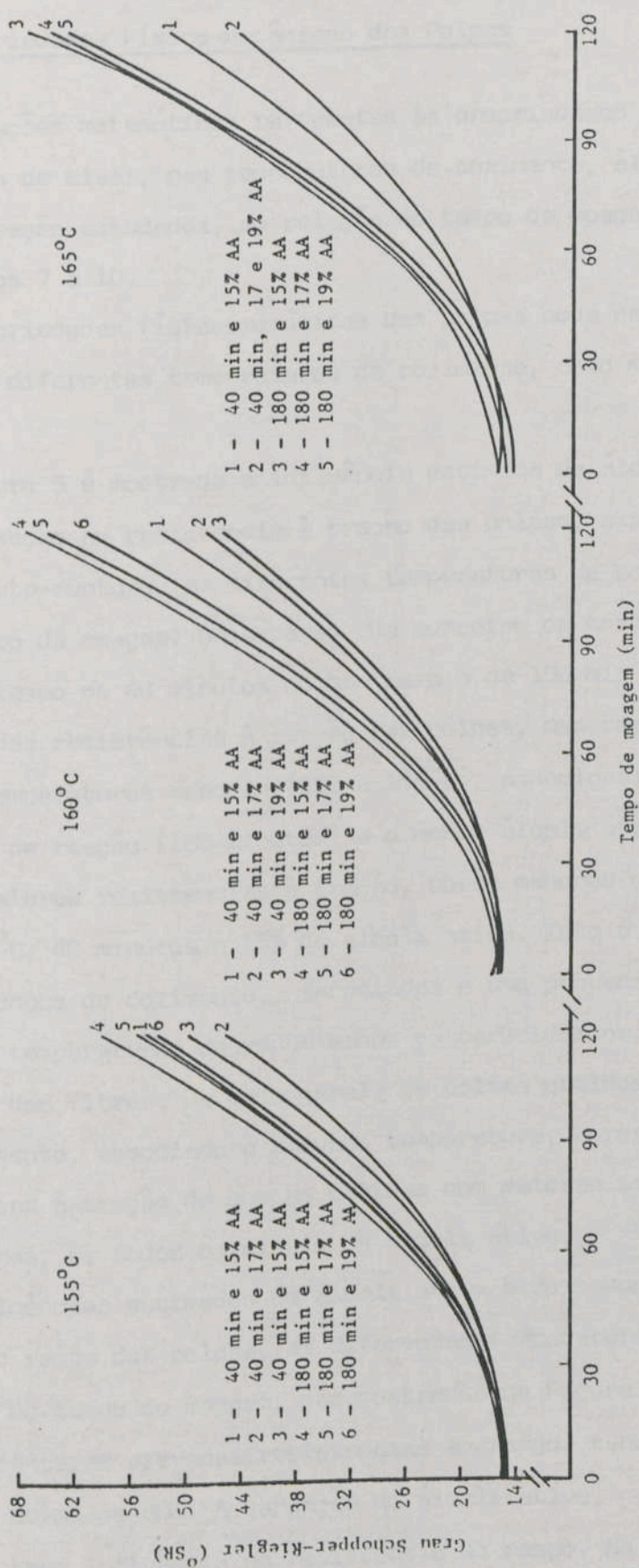


FIGURA 4 - Influência Estimada do Alkali Ativo e do Tempo de Reação no Grau Schopper-Riegler das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas, em Função do Tempo de Moagem.

de álcali ativo e tempo de reação de 180 minutos.

3.3.5. Propriedades Físico-Mecânicas das Polpas

As equações matemáticas referentes às propriedades físico-mecânicas das polpas de sisal, nas temperaturas de cozimento, álcalis ativos e tempos de reação estudados, em relação ao tempo de moagem, encontram-se nos Quadros 7 a 10.

As propriedades físico-mecânicas das polpas soda de sisal foram analisadas em diferentes temperaturas de cozimento, como mostram as Figuras 5 a 8.

Na Figura 5 é mostrada a influência estimada do álcali ativo e do tempo de reação na resistência à tração das polpas, expressa em comprimento de auto-ruptura, em diferentes temperaturas de cozimento, em função do tempo de moagem. Observa-se que aumentos da carga alcalina, tanto para o tempo de 40 minutos quanto para o de 180 minutos, resultaram em queda das resistências à tração das polpas, nas temperaturas estudadas. Em temperaturas menores (155 e 160°C), as polpas produzidas com o maior tempo de reação (180 minutos) e o menor álcali ativo (15%) apresentaram maiores resistências à tração, porém menores que as produzidas com 165°C , 40 minutos e 15% de álcali ativo. Isto é explicável, pois tempos longos de cozimento, associados a uma pequena carga de químicos e baixa temperatura, degradam menos os carboidratos, favorecendo a resistência das fibras. De modo geral, as polpas obtidas com período menor de cozimento, associado à elevada temperatura, apresentaram maiores resistências à tração do que as obtidas com maiores tempos e menores temperaturas, em todos os níveis de álcali ativo.

As influências estimadas do álcali ativo e do tempo de reação na resistência ao rasgo das polpas, em diferentes temperaturas de cozimento, em função do tempo de moagem, são mostradas na Figura 6. As polpas de sisal apresentaram elevadas resistências ao rasgo, tendo sido alcançados índices acima de 400. A variação do álcali ativo, na temperatura de 155°C , não teve influência na resistência ao rasgo. Na temperatura

QUADRO 7 - Equações Matemáticas do Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem

Equações	R ²	Sx.y
CAR ₁ (155°C) = 2405,703 + 341,1560 √TM	0,913	406,124
CAR ₂ (155°C) = 2149,939 + 296,2531 √TM	0,940	289,720
CAR ₃ (155°C) = 2416,85 + 1673,023 log TM	0,850	534,983
CAR ₄ (155°C) = 2439,981 + 1455,980 log TM	0,904	362,460
CAR ₅ (155°C) = 2211,340 + 1304,692 log TM	0,911	311,892
CAR ₁ (160°C) = 2335,975 + 324,1674 √TM	0,915	382,683
CAR ₂ (160°C) = 2258,838 + 267,3682 √TM	0,883	373,729
CAR ₃ (160°C) = 2419,199 + 1577,06 log TM	0,893	416,903
CAR ₄ (160°C) = 2324,601 + 1291,273 log TM	0,854	407,553
CAR ₅ (160°C) = 2199,114 + 1047,146 log TM	0,919	236,754
CAR ₁ (165°C) = 2752,666++ 359,0898 √TM	0,887	496,165
CAR ₂ (165°C) = 2673,023 + 309,0048 √TM	0,893	413,342
CAR ₃ (165°C) = 2687,285 + 258,931 √TM	0,876	376,387
CAR ₄ (165°C) = 2248,789 + 1297,22 log TM	0,903	323,832
CAR ₅ (165°C) = 2197,997 + 1040,929 log TM	0,890	279,202
CAR ₆ (165°C) = 2204,949 + 42,09043 TM - 0,272817 TM ²	0,810	278,275

CAR (155°C) = Comprimento de auto-ruptura (Km), na temperatura de 155°C (1 = 40 min, 15 e 17% AA; 2 = 40 min e 19% AA; 3 = 180 min e 19% AA; 4 = 180 min e 17% AA; 5 = 180 min e 19% AA);

CAR (160°C) = Comprimento de auto-ruptura (Km), na temperatura de 160°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min, 17 e 19% AA; 3 = 180 min e 19% AA; 4 = 180 min e 17% AA; 5 = 180 min e 19% AA);

CAR (165°C) = Comprimento de auto-ruptura (Km), na temperatura de 165°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA).

AA = Álcali ativo, %.

TM = Tempo de moagem, min.

Sx.y = Erro-padrão residual.

QUADRO 8 - Equações Matemáticas do Índice de Rasgo das Polpas Soda de Sial Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem

Equações	R ²	Sx.y
$IR_1(155^{\circ}C) = 259,3419 + 3,91946 TM - 0,026077 TM^2$	0,621	39,970
$IR_2(155^{\circ}C) = 198,2353 - 1,62363 TM + 127,1712 \log TM$	0,636	37,79
$IR_1(160^{\circ}C) = 242,5595 - 1,674379 TM + 149,6449 \log TM$	0,772	33,989
$IR_2(160^{\circ}C) = 257,2869 - 1,340508 TM + 108,5678 \log TM$	0,623	39,970
$IR_3(160^{\circ}C) = 213,444 - 2,690381 TM + 156,20 \log TM$	0,752	34,397
$IR_4(160^{\circ}C) = 198,9304 - 2,238816 TM + 114,8618 \log TM$	0,756	26,983
$IR_1(165^{\circ}C) = 237,8794 + 3,9867 TM - 0,027985 TM^2$	0,717	31,131
$IR_2(165^{\circ}C) = 250,6766 - 0,845842 TM + 91,23303 \log TM$	0,692	27,854
$IR_3(165^{\circ}C) = 205,3013 - 1,314349 TM + 75,73348 \log TM$	0,513	27,689
$IR_4(165^{\circ}C) = 207,6555 - 2,289846 TM + 94,9246 \log TM$	0,868	19,612
$IR_5(165^{\circ}C) = 180,1614 - 2,388253 TM + 99,50596 \log TM$	0,940	13,232

IR (155°C) = Índice de rasgo, na temperatura de 155°C (1 = 40 min, 15,17 e 19% AA; 2 = 180 min, 15,17 e 19% AA);

IR (160°C) = Índice de rasgo, na temperatura de 160°C (1 = 40 min, e 19% AA; 2 = 40 min, 17 e 19% AA; 3 = 180 min e 19% AA; 4 = 180 min, 17 e 19% AA).

IR (165°C) = Índice de rasgo, na temperatura de 165°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min, 17 e 19% AA; 3 = 180 min e 19% AA; 4 = 180 min e 17% AA; 5 = 180min e 19% AA).

AA = Álcali ativo, %.

TM = Tempo de moagem, min.

Sx.y = Erro-padrão residual.

QUADRO 9 - Equações Matemáticas do Índice de Arrebetamento das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem

Equações	R ²	Sx.y
$IA_1(155^{\circ}C) = 11,43105 + 3,80536 \sqrt{TM}$	0,978	2,219
$IA_2(155^{\circ}C) = 11,6339 + 3,119923 \sqrt{TM}$	0,975	1,922
$IA_3(155^{\circ}C) = 10,2888 + 2,914823 \sqrt{TM}$	0,964	2,191
$IA_4(155^{\circ}C) = 13,4878 + 3,65938 \sqrt{TM}$	0,964	2,723
$IA_5(155^{\circ}C) = 12,7652 + 3,09626 \sqrt{TM}$	0,972	2,037
$IA_6(155^{\circ}C) = 11,7959 + 2,705235 \sqrt{TM}$	0,930	2,878
$IA_1(160^{\circ}C) = 10,2231 + 3,542148 \sqrt{TM}$	0,975	2,213
$IA_2(160^{\circ}C) = 12,01850 + 3,063689 \sqrt{TM}$	0,957	2,524
$IA_3(160^{\circ}C) = 9,2595 + 2,908487 \sqrt{TM}$	0,959	2,311
$IA_4(160^{\circ}C) = 12,5698 + 16,07707 \log TM$	0,953	2,717
$IA_5(160^{\circ}C) = 11,4132 + 12,66401 \log TM$	0,966	1,817
$IA_6(160^{\circ}C) = 11,3716 + 10,21473 \log TM$	0,923	2,256
$IA_1(165^{\circ}C) = 13,8847 + 0,097743 TM + 13,6463 \log TM$	0,964	2,756
$IA_2(165^{\circ}C) = 12,2717 + 0,046827 TM + 14,42826 \log TM$	0,964	2,462
$IA_3(165^{\circ}C) = 11,8650 + 0,057312 TM + 12,10798 \log TM$	0,976	1,805
$IA_4(165^{\circ}C) = 10,7013 + 12,64198 \log TM$	0,942	2,397
$IA_5(165^{\circ}C) = 11,1444 - 0,085651 TM + 12,56514 \log TM$	0,913	2,056
$IA_6(165^{\circ}C) = 9,8198 - 0,127011 TM + 11,95199 \log TM$	0,815	2,458

IA(155°C) = Índice de arrebetamento, na temperatura de 155°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA);

IA(160°C) = Índice de arrebetamento, na temperatura de 160°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA);

IA(165°C) = Índice de arrebetamento, na temperatura de 165°C (1 = 40 min e 19% AA; 2 = 40 min e 17% AA; 3 = 40 min e 19% AA; 4 = 180 min e 19% AA; 5 = 180 min e 17% AA; 6 = 180 min e 19% AA).

AA = Álcali ativo, %.

TM = Tempo de moagem, min.

Sx.y = Erro-padrão residual.

QUADRO 10 - Equações Matemáticas do Alongamento das Polpas Soda de Sisal Produzidas com Diferentes Temperaturas de Cozimento, Tempos de Reação e Álcalis Ativos Estudados, em Função do Tempo de Moagem

Equações	R ²	Sx.y
AL ₁ (155°C) = 1,6838 + 0,280143 √TM	0,918	0,320
AL ₂ (155°C) = 1,6416 + 1,301814 log TM	0,916	0,299
AL ₂ (160°C) = 1,4930 + 0,277885 √TM	0,913	0,329
AL ₂ (160°C) = 1,8418 + 0,051346 TM - 0,000261 TM ²	0,911	0,293
AL ₁ (165°C) = 1,8236 + 0,241948 √TM	0,879	0,345
AL ₂ (165°C) = 1,7264 + 0,052152 TM - 0,0003116 TM ²	0,831	0,353

AL (155°C) = Alongamento (%), na temperatura de 155°C (1 = 40 min, 15,17 e 19% AA; 2 = 180 min, 15, 17 e 19% AA);

AL (160°C) = Alongamento (%), na temperatura de 160°C (1 = 40 min, 15,17 e 19% AA; 2 = 180 min, 15, 17 e 19% AA);

AL (165°C) = Alongamento (%), na temperatura de 165°C (1 = 40 min, 15,17 e 19% AA; 2 = 180 min, 15, 17 e 19% AA).

AA = Álcali ativo, %.

TM = Tempo de moagem, min.

Sx.y = Erro-padrão residual.

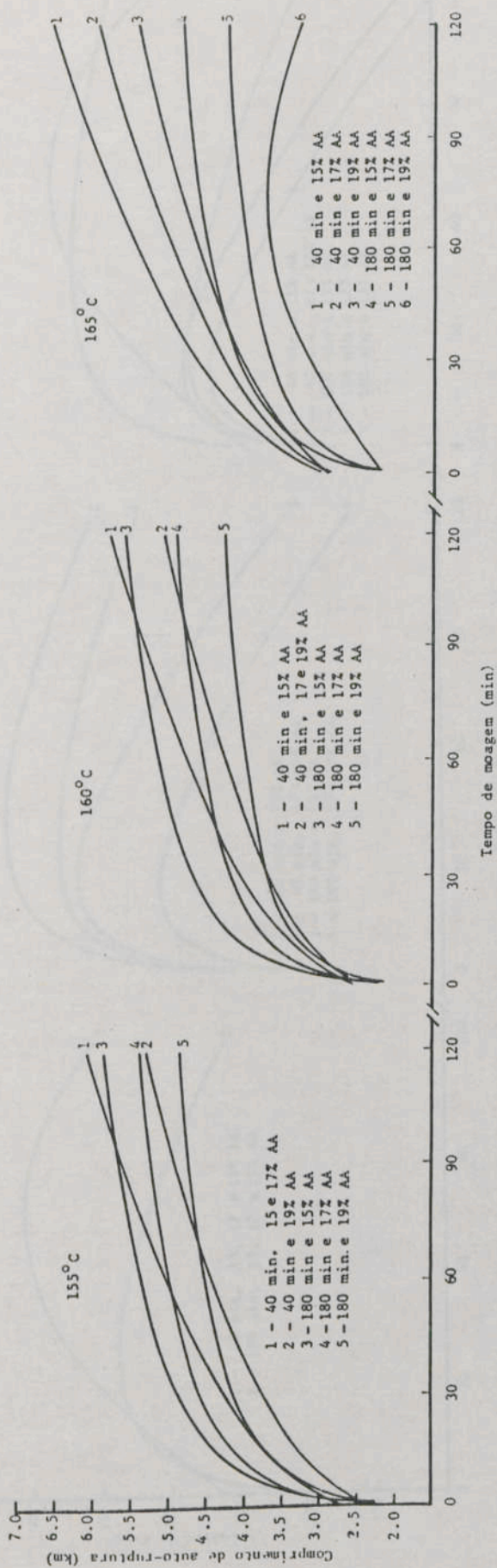


FIGURA 5 - Influência Estimada do Alkali Ativo e do Tempo de Reação no Comprimento de Auto-Ruptura das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, em Função do Tempo de Moagem.

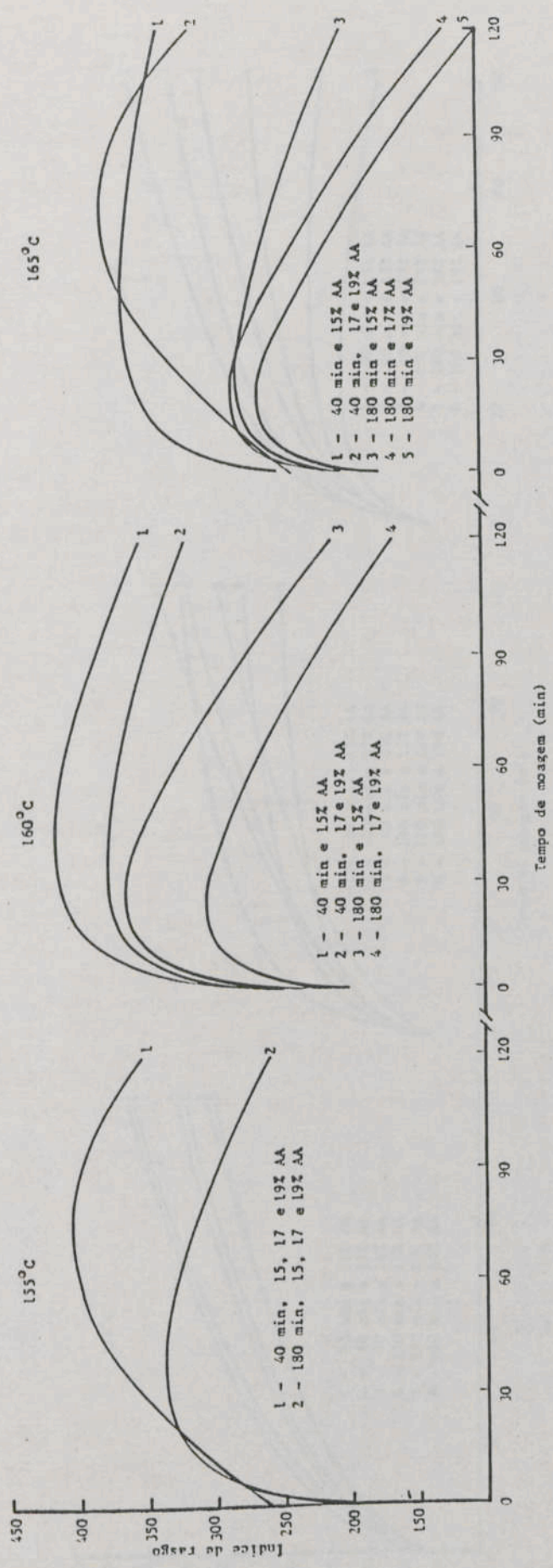


FIGURA 6 - Influência Estimada do Alkali Ativo e do Tempo de Reação no Índice de Rasgo das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, em Função do Tempo de Moagem.

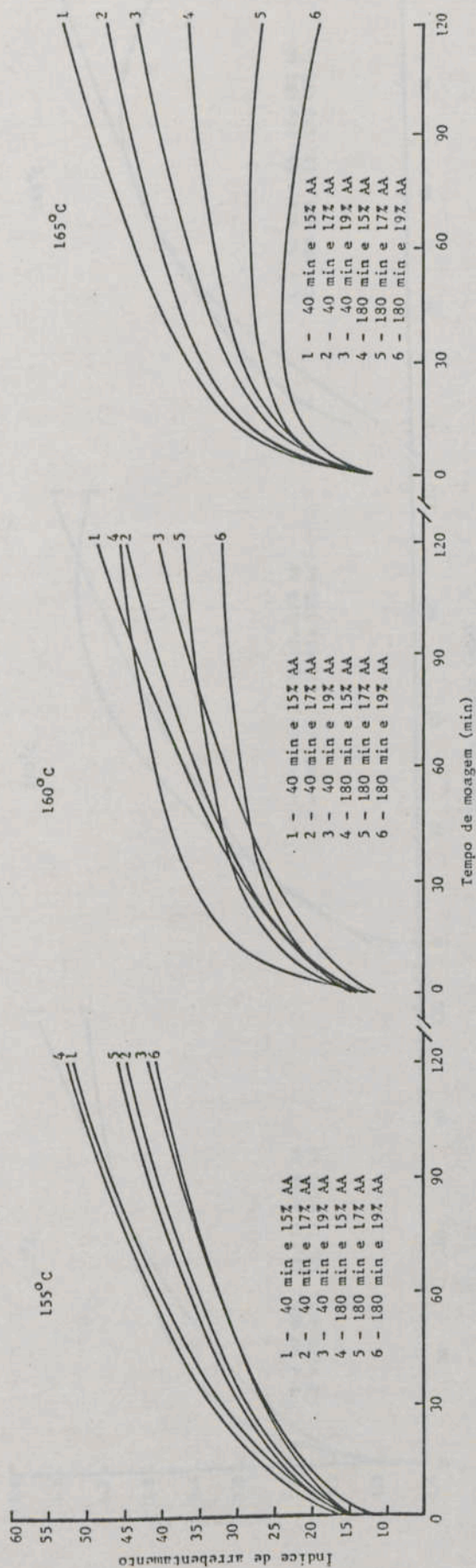


FIGURA 7 - Influência Estimada do Alkali Ativo e do Tempo de Reação no Índice de Arrebentamento das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, em Função do Tempo de Moagem.

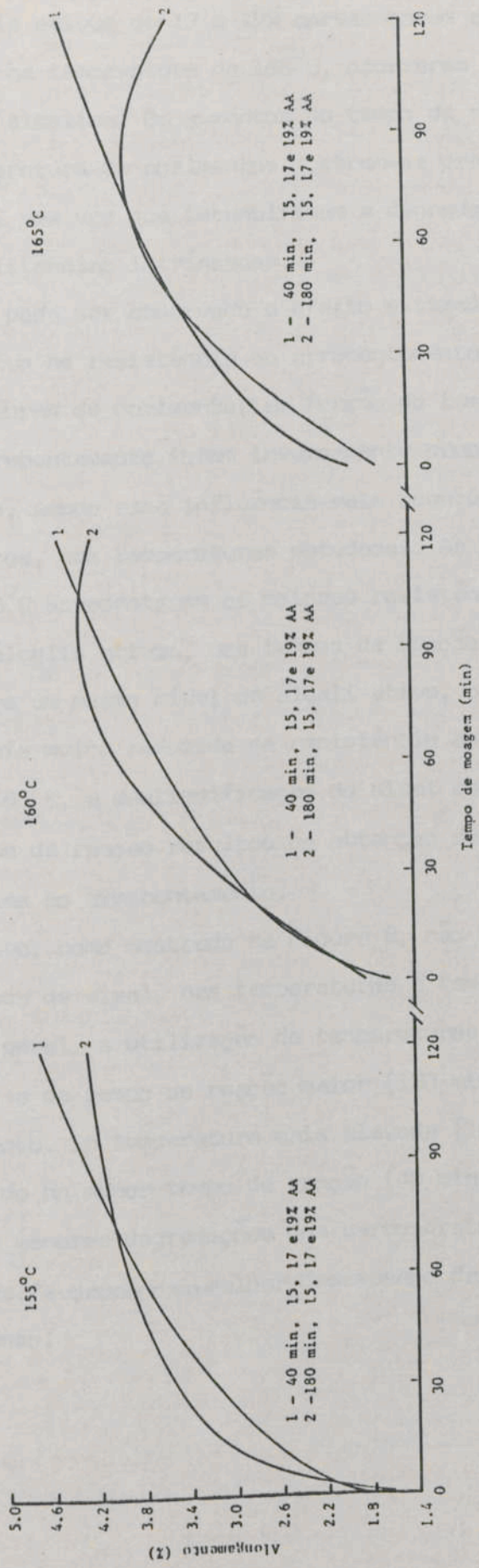


FIGURA 8 - Influência Estimada do Álcali Ativo e do Tempo de Reação no Alongamento das Polpas de Sisal, nas Diferentes Temperaturas de Cozimento, em Função do Tempo de Moagem.

de 160^oC, os álcalis ativos de 17 e 19% apresentaram efeitos semelhantes e, finalmente, na temperatura de 165^oC, ocorreram influências mais marcantes da carga alcalina. Os aumentos do tempo de reação, da carga alcalina e da temperatura de cozimentos mostram-se prejudiciais à resistência ao rasgo, uma vez que intensificam a degradação das fibras, reduzindo suas resistências intrínsecas.

Na Figura 7 pode ser observado o efeito estimado do tempo de reação e do álcali ativo na resistência ao arrebentamento das polpas, nas diferentes temperaturas de cozimento, em função do tempo de moagem. As resistências ao arrebentamento foram inversamente proporcionais à dosagem de álcali ativo, sendo essa influência mais acentuada no tempo de reação de 180 minutos, nas temperaturas estudadas. As polpas obtidas com temperaturas de 155^oC apresentaram as maiores resistências ao arrebentamento nos menores álcalis ativos, nos tempos de reação estudados. Nessa temperatura, para um mesmo nível de álcali ativo, o tempo de reação apresentou influência muito reduzida na resistência ao arrebentamento. Na temperatura de 165^oC, a deslignificação do sisal com os menores álcalis ativos e tempo de reação resultou na obtenção de polpas com as melhores resistências ao arrebentamento.

O álcali ativo, como mostrado na Figura 8, não afetou o alongamento das polpas soda de sisal, nas temperaturas e tempos de cozimento estudados. De modo geral, a utilização de temperaturas de cozimento menores (155 e 160^oC) e de tempo de reação maior (180 min) afetou favoravelmente o alongamento. Em temperatura mais elevada (165^oC), o maior alongamento foi obtido no menor tempo de reação (40 min). Isto poderia ser explicado pelas menores degradações dos carboidratos em condições suaves de cozimentos, favorecendo o melhor desempenho da fibra, quando sujeita ao alongamento.

3.3.6. Análises dos Licores Residuais dos Cozimentos

Os valores médios relativos a pH; álcali ativo residual, expresso em g/l como Na_2O ; teor de sólidos, expresso em percentagem; e teores de matéria orgânica e inorgânica, expressos em percentagem do teor de sólidos, estão apresentados no Quadro 11.

O estudo do pH é de grande importância num processo de cozimento, pois se ele cai abaixo de certos níveis críticos podem ocorrer precipitações e sorções de fragmentos de lignina pelas fibras, contribuindo para aumentar o número kappa, ao invés de diminuí-lo, com o prosseguimento do cozimento. Observando os resultados encontrados para pH dos cozimentos, notou-se que os mesmos estão elevados, em que o menor valor foi 13,6 e o maior, 14,0.

No Quadro 11, verifica-se que para uma mesma carga alcalina o álcali ativo residual diminuiu quando foram aumentados o tempo de reação e a temperatura. Isto pode ser explicado, um vez que em tempos de reação longos e temperaturas elevadas (acima de 145°C) as reações de deslignificação e de hidrólise de carboidratos ocorrem de forma mais acentuada, consumindo mais álcali e resultando menores valores de álcali ativo residual.

O aumento da concentração de álcali ativo resultou maiores álcalis ativos residuais, principalmente quando associados a tempos menores de reação e a temperaturas mais baixas. Isto é de se esperar, uma vez que apenas parte do álcali reage com os constituintes do sisal, permanecendo o restante no licor negro como álcali residual.

O teor de sólidos no licor residual, como mostrado no Quadro 11, aumentou quando se elevaram o tempo de reação, a temperatura de cozimento e o álcali ativo. O aumento de teor de sólidos no licor residual evidencia correlação negativa com o rendimento bruto, pois diminuições no rendimento bruto implica num aumento do teor de sólidos no licor negro. Valores mais elevados de sólidos foram observados para tratamentos cuja temperatura máxima, tempo de reação e álcali ativo foram maiores, respectivamente, 165°C , 180 minutos e 19%. Isso pode ser explicado pela

QUADRO 11 - Valores Médios para as Características dos Licores Residuais dos Cozimentos

Temperatura (°C)	155						160						165						
	40			180			40			180			40			180			
	15	17	19	15	17	19	15	17	19	15	17	19	15	17	19	15	17	19	
pH	13,9	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	13,6	13,9	13,9
Alcali ativo residual (g/l)	14,64	18,19	22,68	11,42	15,56	19,82	14,22	18,36	22,35	10,31	13,62	17,10	11,59	16,59	20,56	9,05	12,44	15,40	15,40
Teor de sólidos (%)	12,09	13,50	14,28	12,80	13,60	14,32	12,52	13,94	14,53	13,34	14,43	14,74	12,05	13,66	14,52	12,81	14,51	14,85	14,85
Teor de matéria inorgânica(%)	49,53	50,24	51,55	47,20	49,47	49,62	47,65	49,54	52,26	45,79	46,26	49,75	47,91	49,83	51,55	45,70	47,20	49,10	49,10
Teor de matéria orgânica	50,36	49,75	48,44	52,80	50,52	50,38	52,35	50,46	47,74	54,20	53,74	50,25	52,08	50,15	48,45	54,30	52,79	50,90	50,90

remoção mais acentuada da lignina e carboidratos, aumentando o teor de sólidos no licor residual.

De maneira geral, foram observados decréscimo no teor de matéria inorgânica, em razão do aumento da temperatura, para um mesmo álcali ativo e tempo de reação, e também aumento, em virtude da elevação do álcali e da redução do tempo de reação, para uma mesma temperatura de cozimento. Os menores teores de material inorgânico foram encontrados para os tratamentos cuja temperatura máxima de cozimento foi de 165°C, tempo de reação de 180 minutos e álcali ativo de 15%.

Analisando o Quadro 11, notam-se elevação no teor de matéria orgânica, como consequência do aumento da temperatura e do tempo de reação, e também decréscimo, em virtude da elevação da carga alcalina. Maior quantidade de álcali implica em maiores percentagens de materiais inorgânicos que, por diferença ($\% \text{ de matéria orgânica} = 100\% - \% \text{ de matéria inorgânica}$), resultam em menores valores para a percentagem de matéria orgânica. O teor de matéria orgânica apresentou-se mais acentuado nos licores correspondentes aos tratamentos cuja temperatura máxima foi de 165°C, tempo de reação de 180 minutos e álcali ativo de 15%. Tais observações se justificam, uma vez que em temperatura e tempo de reação mais elevados as possibilidades de ataque dos componentes orgânicos do sisal pelo álcali são maiores, havendo, conseqüentemente, aumento da quantidade de material orgânico no licor residual.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

A realização deste experimento, em condições de laboratório, teve por objetivo o estudo dos efeitos do álcali ativo (15, 17 e 19%), da temperatura (155, 160 e 165^oC) e do tempo de reação (40 e 180 minutos) na polpação soda de sisal (Agave sisalana Perrine). Os dados experimentais das propriedades físico-mecânicas, rendimento total e depurado, teor de rejeito, número kappa e viscosidade foram analisados, estatisticamente, por meio de análise de regressão. Foram estabelecidos intervalos de confiança, pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade, para o agrupamento das polpas que apresentavam o mesmo modelo matemático.

No desenvolvimento do presente trabalho, obtiveram-se os seguintes resultados:

- Os maiores valores para rendimento depurado foram obtidos para a temperatura máxima de 160^oC, álcali ativo de 15% e tempo de reação de 180 minutos.

- Os menores valores para número kappa e teor de rejeitos ocorreram para o tratamento cuja temperatura de cozimento foi de 165^oC, álcali ativo 19% e tempo de 180 minutos.

- A maior viscosidade da celulose ocorreu no tratamento de 40 minutos, à temperatura de 155°C e álcali ativo 15%.

- As maiores resistências a tração e arrebentamento foram verificadas para a polpa obtida com 40 minutos de cozimento, 15% de álcali ativo e temperatura máxima de cozimento de 165°C .

- O maior valor para o índice de rasgo das folhas de celulose ocorreu no tratamento com 15% de álcali ativo, à temperatura de 160°C , no tempo de 40 minutos.

- O melhor alongamento da polpa foi obtido na temperatura de cozimento de 155°C e no tempo de reação de 40 minutos, em todas as cargas de álcali ativo utilizadas.

Como conclusão geral do trabalho, pode-se dizer que as celuloses soda de sisal não-branqueadas podem ser obtidas com melhores rendimentos depurados, resistência a tração, rasgo, arrebentamento e alongamento, quando a deslignificação for conduzida a temperaturas menores (155°C), álcali ativo mais baixo (15%) e por tempo maior (180 minutos) à máxima temperatura ou quando conduzidas a temperaturas maiores (165°C), tempo menor de reação (40 minutos) e com baixa carga alcalina (15%). Entretanto, houve ligeira superioridade para o tratamento cuja temperatura de cozimento foi de 165°C , tempo de reação de 40 minutos e álcali ativo 15%. Do ponto de vista industrial, seria aconselhável utilizar esse tratamento, pois haveria considerável ganho na produtividade (redução de cerca de 78% do tempo de cozimento), melhoria nas propriedades físico-mecânicas (cerca de 5% para resistência a tração, arrebentamento e alongamento e 18% para o índice de rasgo) e na viscosidade (cerca de 10%).

BIBLIOGRAFIA

1. ASSOCIAÇÃO PAULISTA DOS FABRICANTES DE PAPEL E DE LITOS. Indústria. São Paulo, 1951, 151 p.
2. ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE PAPEL E DE LITOS. Atas do 1º Congresso ANEP. São Paulo, [c. 1951] [p. 1-4].
3. BARRICHELLO, J. E. B. Introdução da tecnologia sobre o revestimento de características de cablores e litos para... São Paulo, 1954, 176 p. (Coleção Técnica, 124).
4. BARRICHELLO, J. E. B. Colagem para litografia de litos. São Paulo, 1954 [c. 1951] [p. 23 p. (Coleção Técnica, 9)].
5. BARRICHELLO, J. E. B. Fatores técnicos sobre a colagem de litos. In: Seminário sobre Litografia e Litos, 1954, São Paulo, ANEP, São Paulo, ANEP, 1954, p. 21-3.
6. BARRICHELLO, J. E. B. Colagem de litos. In: Seminário ANEP da ANEP, 1954, São Paulo, 1954, ANEP, São Paulo, 1954, 1954, v. 1, n. 1, p. 1-5.
7. BARRICHELLO, J. E. B. Colagem de litos. Características químicas. In: Seminário ANEP da ANEP, 1954, São Paulo, 1954, ANEP, São Paulo, 1954, ANEP, 1954, v. 1, n. 1, p. 21-3.
8. CHERRY, J. P. Pulp and paper chemistry and chemical technology. New York, Interscience, 1950, v. 1, 280 p.

BIBLIOGRAFIA

1. ASSOCIAÇÃO PAULISTA DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE. Relatório Estatístico. São Paulo, 1985. 169 p.
2. ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Normas Técnicas ABCP. São Paulo |s. Ed. | |s.d. |
3. BARRICHELO, L.E.G. Influência da mucilagem sobre o rendimento, características da celulose e licores negros. São Paulo, ESALQ, 1976. 9 p. (Relatório Técnico, 1805.)
4. BARRICHELO, L.E.G. Celulose soda branqueada de sisal. São Paulo, ESALQ |s.d. | 23 p. (Relatório Técnico, 8.)
5. BORGES, C.L. Fatos básicos sobre a celulose de sisal. In: SEMINÁRIO SOBRE CELULOSE E CONEXOS, 2.^o, São Paulo, Anais... São Paulo, ABCP, 1968. p. 21-36.
6. BRASIL, F.P. Evolução no descorticamento do sisal. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 14.^o, São Paulo, 1981. Anais... São Paulo, ABCP, 1981. v. 1. p. 872-5.
7. BRUNO, P.G.M. Celulose de sisal: Características e aplicação. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 14.^o, São Paulo, 1981. Anais... São Paulo, ABCP, 1981. v. 1. p. 31-6.
8. CASEY, J.P. Pulp and paper chemistry and chemical technology. New York, Interscience, 1960. v. 1. 580 p.

9. CHAPMAN, D.H. & PRATT, P.F. Métodos de análises para suelos, plantas y aguas. México, Trillas, 1973. 195 p.
10. CIARAMELLO, D.; CASTRO, G.A.P.; PETINELLI, A. Estudo comparativo entre espécies de Agave. Bragantia, 34(11): 195-201, 1975.
11. DEMUNER, B.J. Polpação etanol/soda de madeira de eucalipto. Viçosa, UFV, 1986. 62 p. (Tese M.S.)
12. FINNISH PULP AND PAPER RESEARCH INSTITUTE. Laboratory Report |s.l.| |s.Ed.| |s.d.| |s.n.p.|
13. GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V. & LUDWIG, C. H., ed. Lignins. New York, Wiley, Interscience, 1971. p. 241-66.
14. GOMIDE, J.L. & DEMUNER, B.J. Deteminação do teor de lignina na madeira: método Klason modificado. O Papel, 47(8): 36-8, 1986.
15. GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; COLODETTE, J.L. Soda-AQ: um novo processo para produção de polpa celulósica de eucalipto. Revista Árvore, 4(1): 75-90, 1980.
16. JAAKKO PÖYRY & CO. Laboratory Report |s.l.| |s.Ed.| 1975. 30 p.
17. JAAKKO PÖYRY & CO. Dry depthing of sisal on cooking and bleaching. Laboratory Report |s.l.| |s.Ed.| 1976. 20 p.
18. KIRBY, R.H. Agave family. In: POLUNIN, N. ed. Vegetable fibers. New York, Interscience, 1963. p. 217-65.
19. LIBBY, C.E. Pulp and paper science and technology. New York, McGraw-Hill, 1962. v. 2. 436 p.
20. LOOK, G.M. Sisal: thirty years sisal research in Tanzânia. 2. ed. |s.l.| |s.Ed.| 1969 |s.n.p.|
21. MEDINA, J.C. O sisal. São Paulo, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1954. 286 p.
22. MEDINA, J.C. Multiplicação do sisal por bulbilhos e rebentões e métodos de preparo e plantio das mudas. Bragantia, 22(45): 559-74, 1963.
23. MEDINA, J.C. Plantas fibrosas da flora mundial. São Paulo, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1959. 200 p.

24. RIBEIRO, W. & GUIMARÃES, P.C.A. Comparação de fibras têxteis nacionais com fibras de madeira. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 5^o, São Paulo, 1972. Anais... São Paulo, ABCP, 1972. v. 1. p. 15-23.
25. RYDHOLM, S.A. Pulping process. New York, Interscience Publishers, 1965. 1269 p.
26. SANTOS, C.H.F. & SFALCIN, J.C. Resíduos do sisal como alternativa energética. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 14^o, São Paulo, 1981. Anais... São Paulo, ABCP, 1981. v. 1. p. 15-23.
27. SCHOLZ, H. Sisal. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil S/A, 1969. 10 p. (Problemas Técnicos, 2.)
28. SCANDINAVIAN PULP AND PAPER BOARD. SCAN testing methods. Estocolmo |s.Ed.| |s.d.| |s.n.p.|
29. SILVA, N.M.; REBOUÇAS, T.; LUBI, N. MATUS, D. Pasta química de sisal. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3^o, São Paulo, 1980. Anais... São Paulo, ABCP, 1980. v. 1. p. 161-6.
30. SOBRINHO, J.S. A cultura do sisal para fabricação de celulose. Papel, 41(8): 37-43, 1980. 0

QUADRO 1A - Números Kaipa das Folhas Secas de Bisco

Tempo de Amoagem (min)	Temperatura de Cozimento (°C)	Número Folhas	Número Kaipa	
			1	2
15 minutos	100	11	20,4	20,4
		12	22,5	21,4
		13	20,8	20,7
		14	24,0	21,8
30 minutos	100	15	18,3	18,4
		16	16,7	18,1
		17	17,9	18,9
		18	20,0	19,3
45 minutos	100	19	17,8	9,9
		20	18,0	17,7
		21	20,0	20,4
		22	9,1	8,8
120 minutos	100	23	11,1	11,1
		24	9,9	9,1
		25	7,5	7,4
		26	9,0	8,9
180 minutos	100	27	7,3	7,3
		28	6,0	6,1
		29	6,0	6,1

APÊNDICE

QUADRO 1A - Números Kappa das Polpas Soda de Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento (°C)	Álcali Ativo %	Número Kappa		
			1	2	
40 minutos	155	15	26,3	26,3	
		17	22,6	23,4	
		19	20,8	20,7	
	160	15	21,0	21,8	
		17	18,9	18,4	
		19	16,1	16,3	
	165	15	15,8	15,9	
		17	13,0	12,3	
		19	10,6	9,9	
	180 minutos	155	15	13,6	12,3
			17	10,0	10,4
			19	8,1	8,6
160		15	11,1	11,3	
		17	8,9	9,1	
		19	7,3	7,4	
165	15	9,0	8,6		
	17	7,3	7,3		
	19	6,0	6,1		

QUADRO 2A - Rendimentos Depurados das Polpações Soda de Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento (°C)	Álcali Ativo %	Rendimento Depurado (%)		
			1	2	
40 minutos	155	15	58,59	58,46	
		17	59,60	59,12	
		19	58,70	59,20	
	160	15	61,30	60,90	
		17	61,50	51,00	
		19	60,00	59,50	
	165	15	62,60	61,90	
		17	60,90	60,80	
		19	59,40	59,50	
	180 minutos	155	15	63,11	62,57
			17	61,60	61,41
			19	60,28	60,30
160		15	62,90	63,23	
		17	62,03	61,52	
		19	60,26	60,51	
165		15	61,68	61,41	
		17	60,37	60,48	
		19	59,11	59,11	

QUADRO 3A - Teores de Rejeitos das Polpações Soda de Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento (°C)	Álcali Ativo %	Teores de Rejeitos (%)	
			1	2
40 minutos	155	15	6,80	7,20
		17	4,40	4,60
		19	3,00	2,90
	160	15	3,10	3,60
		17	2,06	2,10
		19	1,40	0,96
	165	15	1,70	1,80
		17	1,44	1,46
		19	1,06	0,96
	155	15	1,85	2,00
		17	1,54	1,46
		19	1,42	1,40
180 minutos	160	15	1,44	1,43
		17	1,10	1,30
		19	0,80	0,96
	165	15	1,12	1,20
		17	0,91	1,01
		19	0,83	0,81

QUADRO 4A - Viscosidades das Polpações Soda de Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento ($^{\circ}$ C)	Álcali Ativo %	Viscosidades cP	
			1	2
40 minutos	155	15	56,20	55,50
		17	49,96	49,65
		19	47,50	47,98
	160	15	44,66	45,02
		17	43,02	42,81
		19	40,25	39,72
	165	15	36,47	35,63
		17	33,63	33,05
		19	28,63	27,91
	155	15	32,46	32,85
		17	27,92	28,62
		19	25,22	25,40
180 minutos	160	15	27,25	27,15
		17	23,12	22,80
		19	18,55	18,26
	165	15	19,55	19,60
		17	15,76	15,60
		19	12,48	12,84

QUADRO 5A - Valores de pH dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisd1

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento (°C)	Álcali Ativo %	pH	
			1	2
40 minutos	155	15	13,90	13,91
		17	14,00	14,00
		19	14,00	14,00
	160	15	14,00	14,00
		17	14,00	14,00
		19	14,00	14,00
	165	15	13,96	13,97
		17	14,00	14,00
		19	14,00	14,00
	155	15	13,97	14,00
		17	14,00	14,00
		19	14,00	14,00
180 minutos	160	15	13,90	13,90
		17	14,00	14,00
		19	14,00	14,00
	165	15	13,60	13,60
		17	13,85	13,85
		19	13,92	13,91

QUADRO 6A - Álcalis Ativos dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento ($^{\circ}$ C)	Álcali Ativo %	Álcali Ativo, g/l c/ Na_2O	
			1	2
40 minutos	155	15	14,73	14,56
		17	18,11	18,28
		19	22,68	22,68
	160	15	14,22	14,22
		17	18,45	18,28
		19	22,35	22,35
	165	15	11,68	11,51
		17	16,59	16,59
		19	20,65	20,48
180 minutos	155	15	11,51	11,34
		17	15,56	15,56
		19	20,14	19,50
	160	15	10,33	10,29
		17	13,71	13,54
		19	17,10	17,10
	165	15	8,97	9,14
		17	12,53	12,36
		19	15,40	15,40

QUADRO 7A - Teores de Sólidos dos Licores Residuais das Polpações Sodade Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento ($^{\circ}$ C)	Álcali Ativo %	Teores de Sólidos (%)	
			1	2
40 minutos	155	15	12,06	12,12
		17	13,43	13,58
		19	14,26	14,31
	160	15	12,52	12,53
		17	13,99	13,89
		19	14,50	14,57
	165	15	12,05	12,05
		17	13,63	13,70
		19	14,63	14,42
155	15	13,60	12,98	
	17	13,56	13,59	
	19	14,27	14,37	
180 minutos	160	15	13,31	13,38
		17	14,39	14,48
		19	14,74	14,75
	165	15	12,89	12,74
		17	14,57	14,45
		19	14,84	14,86

QUADRO 8A - Teores de Matéria Inorgânica dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento (°C)	Álcali Ativo %	Teor de Matéria Inorgânica (%)	
			1	2
40 minutos	155	15	49,38	49,89
		17	50,51	49,98
		19	51,52	51,59
	160	15	47,61	47,69
		17	49,56	49,52
		19	52,67	51,85
	165	15	47,90	47,93
		17	50,06	49,64
		19	51,35	51,75
180 minutos	155	15	47,40	46,92
		17	49,64	49,31
		19	49,14	50,10
	160	15	45,73	45,86
		17	47,50	45,00
		19	49,82	49,68
165	15	45,70	45,71	
	17	47,49	46,92	
	19	49,08	49,09	

QUADRO 9A - Teores de Matéria Orgânica dos Licores Residuais das Polpações Soda de Sisal

Tempo de Reação (min)	Temperatura de Cozimento ($^{\circ}$ C)	Álcali Ativo %	Teor de Matéria Orgânica (%)		
			1	2	
40 minutos	155	15	50,62	50,11	
		17	49,49	50,02	
		19	48,48	48,41	
	160	15	52,39	52,31	
		17	50,44	50,48	
		19	47,33	40,15	
	165	15	52,10	52,07	
		17	49,94	50,36	
		19	48,65	48,35	
	180 minutos	155	15	52,60	53,08
			17	50,36	50,69
			19	50,80	49,90
160		15	54,27	54,14	
		17	52,48	53,00	
		19	50,18	50,32	
165	15	52,95	53,70		
	17	52,51	53,08		
	19	50,90	50,91		