

INDEXADO

refino de celulose de eucalipto - uma análise fundamental

Demuner, B. J.

Manfredi, V.

Cláudio-da-Silva Jr., E.

Aracruz Celulose S.A. — Aracruz — Brasil

SINOPSE

Quatro amostras de polpas comerciais de *Eucalyptus* spp, sendo duas produzidas a partir de *E. grandis* e duas a partir de *E. globulus*, foram analisadas quanto aos seus comportamentos de refino. As amostras, de procedências diferentes, foram comparadas considerando-se as evoluções das propriedades ópticas e de resistência — incluindo-se as resistências ao arrancamento de vasos e a úmido — com o refino.

As curvas de refino foram realizadas em instalação piloto, em refinador de discos operando sob carga específica de corte constante e adotando-se o refino em um único passe. Obtém-se, dessa forma, condições ope-

Trabalho apresentado no 22.º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado de 20 a 24 de novembro de 1989, e ganhador do prêmio Ingersol-Rand Div. IMPCO.

racionais mais próximas da realidade industrial.

Os resultados obtidos comprovaram que, para um mesmo grau de consolidação da estrutura do papel, o consumo de energia útil é dependente da consistência na qual o refino é realizado. Menores consumos de energia foram observados quando a consistência foi aumentada de 2 para 4%, mas pouca variação ocorreu ao aumentar-se a consistência da massa de 4 para 6%.

As características químicas e anatômicas das polpas influenciaram suas tendências de floculação e, conseqüentemente, suas respostas ao refino. A evolução das propriedades da polpa e papel com o refino variou tanto entre as espécies como entre as procedências de uma mesma espécie. Tais diferenças foram quantificadas e analisadas considerando-se conceitos fundamentais da ação de refino sobre as fibras e de consolidação da estrutura da folha úmida. Esse procedimento permitiu a compa-

ração entre as quatro amostras e possibilitou uma melhor compreensão das interações entre as características das polpas e a ação de refino.

ABSTRACT

Market eucalypt kraft pulps, obtained from *Eucalyptus grandis* and *E. globulus*, were compared according to the development of optical and strength paper properties, including vessel picking and wet web strengths, with the refining. Two different mill samples for each species were evaluated.

Different refining responses were observed between and within species. Chemical and anatomical pulp characteristics effected its flocculation tendency, changing the refining results among the samples. It was also observed that pulping process variables have significant influence on pulp flocculation and pulp properties development.

Differences between pulps were quantified and discussed under fundamental concepts of refining action and wet web consolidation. This procedure allowed practical comparison between pulps produced from the most important commercial eucalypt species, and better comprehension about the pulp characteristics and refining action relationship.

1. Introdução

As boas propriedades do papel produzido com polpas de eucalipto, em especial "bulk", opacidade, porosidade, formação e maciez, justificam a demanda crescente por esse tipo de polpa química. Dentre as espécies mais utilizadas destacam-se o *Eucalyptus grandis* e o *E. globulus*.

Diferenças nas caracterizações química e anatômica dessas espécies, associadas às variações de processo entre os fabricantes das polpas, conferem diferentes comportamentos dessas polpas durante as etapas de fabricação de papel, além de diferentes combinações das propriedades ópticas e de resistência nos papéis produzidos. As etapas de preparação de massa, as características de drenagem, prensagem e secagem ("runnability") e a qualidade do papel produzido são influenciadas pela espécie de eucalipto utilizada e pela procedência da polpa.

Este estudo teve por objetivo principal a avaliação do comportamento de refino de quatro polpas comerciais de eucalipto, sendo duas procedências de *E. grandis* e duas de *E. globulus*. A avaliação baseou-se na caracterização química e anatômica das polpas, na análise das evoluções das propriedades ópticas e de resistência das polpas com o refino e na interpretação das interações entre as características das polpas e as variáveis operacionais do refino.

2. Experimental

Quatro amostras de polpas comerciais, sendo duas de *E. grandis* e duas de *E. globulus* foram

analisadas em linhas normais de produção de quatro fábricas diferentes. As polpas, amostradas em fardos, foram refinadas em instalação piloto de refino equipada com refinador de discos (30 cm de diâmetro) acionado por motor de 55 kW de potência total.

As curvas de refino foram realizadas em um único passe, adotando-se o delineamento e condições operacionais reportados no quadro I. Para cada curva de refino foram amostradas polpas refinadas a quatro níveis de energia útil, além da polpa não refinada após desagregação e homogeneização da suspensão.

As folhas de teste foram preparadas, condicionadas e testadas segundo metodologia SCAN. Os valores de volume e de superfície específica das polpas foram determinados em aparelho Pulmac, seguindo-se a metodologia otimizada pelo CPTEC — Centro de Pesquisas e Tecnologia. Os valores de índice de retenção de água, de tempo de drenagem dinâmica, de arrancamento de vasos e de caracterização anatômica das polpas foram determinados através das metodologias desenvolvidas e otimizadas pelo CPTEC — Centro de Pesquisas e Tecnologia (3-5).

O comprimento médio das fibras foi determinado pelo analisador de fibras Kajaani FS-100. Os valores de "coarseness" e de número de fibras por grama foram obtidos a partir de cálculos envolvendo os valores da consistência da suspensão utilizada na determinação do comprimento, do número total de fibras menos o número de fibras contado até 0,1 mm e do com-

primento médio aritmético das fibras.

A espessura da parede e o diâmetro das fibras foram obtidos através do uso de um fotomicroscópio óptico equipado com ocular micrométrica, utilizando fibras imersas em água. O valor de Luce's factor foi determinado conforme fórmula sugerida por Luce (10).

O teor de finos primários nas amostras foi determinado usando a norma TAPPI T261 — pm 79 (200 mesh).

Os valores de zeta potencial foram obtidos em suspensão com água deionizada no medidor "Lazer-Zee".

O teste de arrancamento de vasos foi realizado no testador IGT adotando-se as condições especificadas pelo método IGT W31, para papéis do tipo "offset". O número de vasos arrancados, para uma área de 43,5 cm², foi obtido por contagem no fotomicroscópio óptico.

Para a caracterização química das polpas foram adotadas as seguintes metodologias: Teor de Cinzas (SCAN), pH (ISO), teores de pentosanas e de extrativos solúveis em diclorometano (TAPPI), teor de sílica (gravimetria), teor de alumínio (colorimetria), teor de sódio (fotometria) e teores de cálcio e de magnésio (complexometria).

As propriedades de resistência a úmido foram determinadas em corpos de prova preparados em condições padronizadas de pressão específica (343 kN/m²) e de gramatura (60 g/m²), com variação de secura determinada pela alteração dos tempos de prensagem. Os testes foram realizados no testador padrão SCAN.

Quadro I — Condições Operacionais de Refino — Instalação Piloto

CEC ¹ (Ws/m)	Consistência (%)	Rotação (rpm)	Discos Refinadores		
			Configuração	Diâmetro (cm)	Comp. de Corte (km/rev.)
0,5	2 - 4 - 6	1.200	3x3/5 ^o	30	0,624

1 — "Carga Específica de Corte" = "Specific Edge Load"

3. Resultados e discussões

3.1. Polpas não refinadas

As propriedades dos papéis produzidos com as polpas não refinadas (tabela I) variaram em função da espécie de eucalipto utilizada e da procedência da amostra (fabricante). As diferenças entre fabricantes foram mais acentuadas nas amostras de *E. grandis*.

As polpas de *E. grandis* apresentaram maior número de fibras por grama, com menor comprimento médio, maior diâmetro de fibras e menor espessura da parede celular (tabela II). Para polpas com maior número de fibras por grama são esperados maiores valores para as propriedades do papel que dependam do número de ligações entre fibras e do número de interfaces fibra-ar (6-9). Associado ao maior número de fibras por grama, os menores valores de "Luce's Factor" (7, 10, 11), determinados para as polpas

de *E. grandis*, sugerem que estas apresentam maior nível de colapsamento e de conformabilidade de suas fibras, indicando uma maior flexibilidade nas fibras de *E. grandis* em relação às de *E. globulus*.

Desta forma, papéis produzidos com as polpas de *E. Grandis* apresentariam estrutura mais compactada, com maior nível de consolidação e maior número de interfaces fibra-ar. Maiores níveis de resistência mecânica e de opacidade, com menores valores de "bulk" e de porosidade são esperados para esses papéis. Os resultados apresentados na tabela I confirmam as tendências esperadas para a porosidade e para o coeficiente de espalhamento de luz.

As diferentes tendências observadas nos resultados de "bulk" e das propriedades de resistência são atribuídas às diferentes características físico-químicas das amostras (tabela III). Uma melhor compreensão

dos fenômenos envolvidos é obtida comparando-se as procedências de uma mesma espécie, em especial as de *E. grandis*, onde a variação de tendências entre as amostras foi mais acentuada.

3.1.1. Polpas de *E. grandis*

Para estas amostras, os menores valores de "bulk", de rugosidade e de "Luce's Factor" indicam um maior nível de flexibilidade das fibras da **Amostra A**. Essa amostra também apresentou maior número de fibras por grama, prevendo-se maiores níveis de compactação e de consolidação da estrutura do papel, além de maior número de interfaces fibra-ar.

No entanto, a maior resistência à tração determinada para a polpa da **Amostra B** sugere uma maior capacidade e resistência de ligação de suas fibras, provavelmente decorrentes do maior teor de pentosanas, dos

Tabela I - Características do papel obtido a partir das polpas não refinadas

Espécies Amostras	E. grandis		E. globulus	
	A	B	C	D
"Bulk", cm ³ /g	1,82	2,11	1,86	1,98
Índice de Tração, Nm/g	21,5	24,4	25,1	24,3
Coef. Espalhamento de Luz, m ² /kg	45,6	45,7	42,5	38,5
Resistência ao Ar-Gurley, s/100 ml	1,4	1,4	1,0	0,5
Elongamento, %	1,7	1,4	1,4	1,3
Rugosidade-Bendtsen, ml/min	250	262	308	304
Índice de Tração a Úmido, Nm/g	0,41	0,45	0,36	0,33
Índice de Elongamento a Úmido, %	16,5	10,9	8,9	8,6
N.º de Vasos Arrancados (Área = 43,5 cm ²)	101	66	87	85

Tabela II - Propriedades Fundamentais das Fibras

Espécies Amostras	E. grandis		E. globulus	
	A	B	C	D
Comprimento Médio Ponderado, mm	0,67	0,70	0,71	0,75
"Coarseness", mg/100 m	8,26	8,86	8,73	8,44
N.º de Fibras por Grama ($\times 10^6$)	21,8	19,4	19,3	18,4
Diâmetro Externo das Fibras, μ m	12,10	12,24	11,85	11,05
Espessura da Parede Celular, μ m	2,66	2,82	2,96	2,84
"Luce's Factor"	0,52	0,55	0,60	0,62

Tabela III — Propriedades físico-químicas das polpas

Espécies Amostras	E. grandis		E. globulus	
	A	B	C	D
Teor de Finos (200 mesh), %	8,3	8,9	7,5	7,4
Volume Específico, cm ³ /g	1,9	2,6	2,2	2,0
Superfície Específica, m ² /g	2,0	2,7	1,8	2,2
N.º de Vasos por Miligrama	170	140	106	105
• Pentosanas, %	16,3	18,2	20,2	19,3
• Extrativos DCM, %	0,19	0,13	0,17	0,16
• Cinzas, mg/kg	1.213,0	7.197,4	2.603,4	3.741,4
• Sílica, mg/kg	19,9	2.714,3	875,7	344,7
• Magnésio, mg/kg	64,3	798,7	247,7	152,8
• Alumínio, mg/kg	1,5	25,7	16,7	7,9
• Cálcio, mg/kg	129,6	154,2	287,3	142,3
• Sódio, mg/kg	323,1	1.592,2	294,8	1.447,8
• pH	5,4	7,4	5,4	5,9
• Zeta Potencial, mV* — Colóides	-35,3	-45,1	-39,1	-38,6
— Finos	+57,8	+62,1	+58,7	+58,8
* Suspensão em água deionizada				

maiores valores de volume e de superfície específicos e do maior teor de cátions dessa amostra, compensando o menor grau de flexibilidade de fibras em relação a **Amostra A**.

A maior capacidade de ligação e o menor número de vasos por unidade de peso da **Amostra B** justificam o menor número de vasos arrancados nessa amostra.

A acentuada diferença entre os valores de "bulk" e de superfície e volume específicos entre as **Amostras A e B**, como a similaridade dos resultados de porosidade e de coeficiente de espalhamento de luz, são decorrentes do teor e tipo de finos presentes nas amostras. Os elevados teores de sílica e de magnésio, associados ao baixo teor de extrativos detectados na **Amostra B**, são indicativos da presença de talco (3MgO.4SiO₂.H₂O) nessa amostra, provavelmente utilizado para redução de pitch durante a fabricação. A presença de finos inorgânicos contribui para o aumento de superfície específica, para a redução da área de ligação e pode reduzir a densidade aparente do papel caracterizando o efeito de "debonding" das fibras (12, 13, 17).

A presença de finos inorgânicos na **Amostra B** foi também evidenciada pela análise microscópica da fração de finos das quatro amostras, conforme ilustrado pelas fotos apresentadas na figura 1 e pelos valores de potencial zeta das amostras (tabela III). O maior valor, com sinal positivo, para o potencial zeta dos finos da **Amostra B** indicam que esses, provavelmente, absorveram uma maior quantidade de cátions, o que favorece o processo de inchamento das fibras e de formação de ligações durante a fabricação do papel (16-18).

3.1.2. Polpas de E. globulus

As amostras de **E. globulus**, nas quais as características físico-químicas das polpas foram mais similares, produziram papéis com mesmo grau de consolidação (tabela I). O maior valor de coeficiente de espalhamento de luz e os menores valores de "bulk" e de porosidade determinados para a **Amostra C** estão provavelmente associados ao maior número de fibras por grama e a tendência de maior flexibilidade inicial — menor valor de "Luce's Factor" — dessa polpa em relação a **Amostra D**.

Desta forma, a similaridade nos níveis de consolidação da estrutura do papel é atribuída à maior superfície específica da **Amostra D**.

3.2. Polpas refinadas

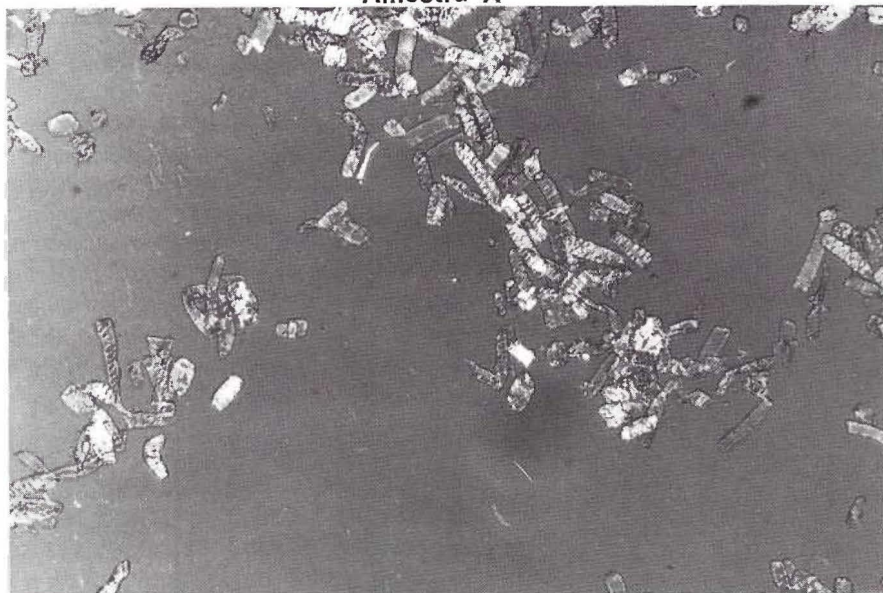
3.2.1. Efeito da consistência de refino

Confirmando resultados anteriores (1, 2, 14-16), o aumento da consistência de refino de 2 para 4% permitiu melhor aproveitamento da energia de refino no desenvolvimento das propriedades das polpas e do papel. Os resultados (figuras 2 a 6) indicam que com o aumento da consistência de refino ocorre o favorecimento da ação de fibrilação em detrimento do corte das fibras.

Tal comportamento é atribuído a dois fatores distintos que atuam simultaneamente quando do aumento da consistência de refino: os aumentos da espessura da manta entre os discos e do tempo de retenção da polpa no refinador para se obter um mesmo nível de energia útil aplicada.

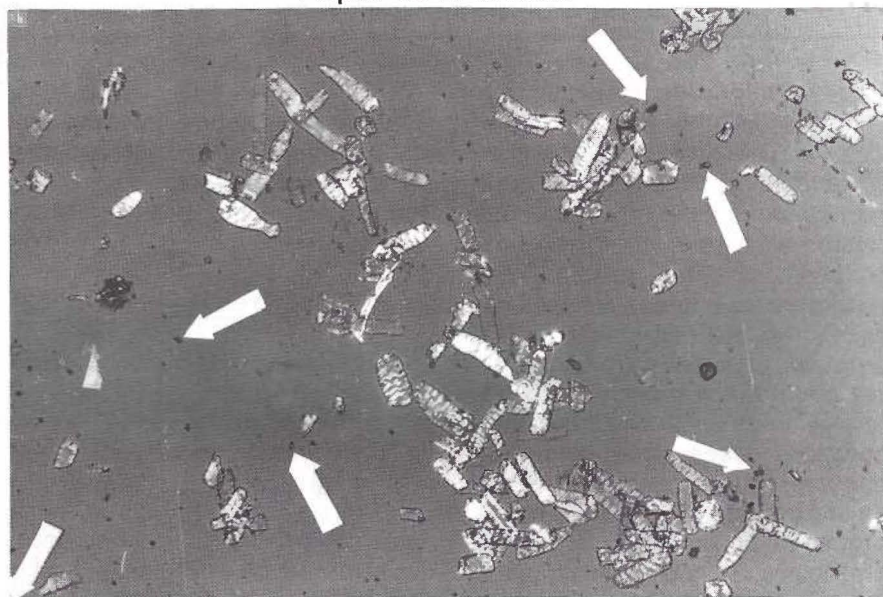
A maior espessura da manta permite um tratamento mais homogêneo dos flocos em suspen-

Amostra A

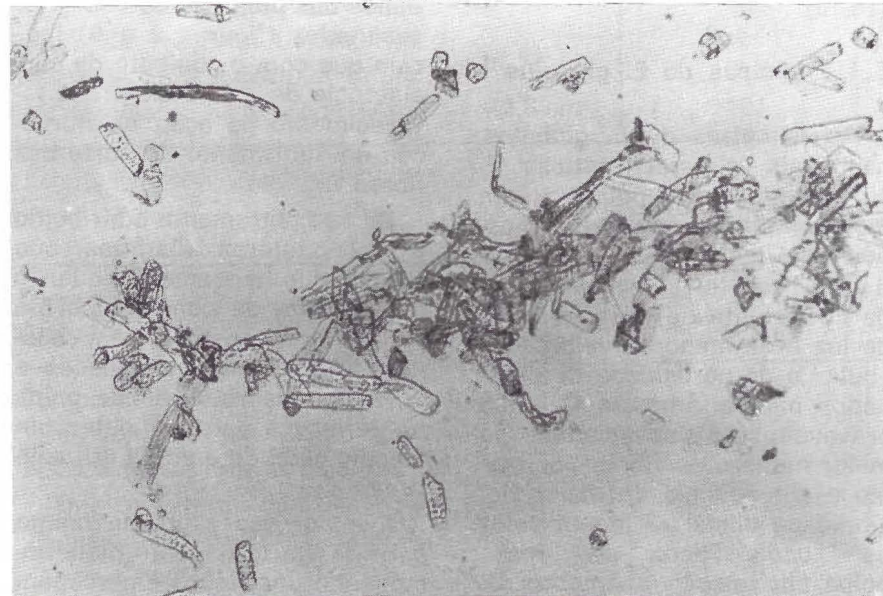


Amostra B

Figura 1a — Foto da Fração de Finos (Aumento 100 X) das Polpas de E. Grandis



Amostra C



são, minimizando a intensidade dos impactos recebidos pelos flocos (2). A esse efeito denominamos de **dispersão da energia transmitida**. Com o aumento do tempo de retenção acentua-se a probabilidade de cada floco receber impactos (2). A esse efeito denominamos de **acumulação da energia transmitida**. Esses dois efeitos são antagônicos e, provavelmente, dependem das características estruturais dos flocos, em especial da forma como a energia é absorvida e transmitida entre as fibras que as constituem, efeito esse que denominamos de **reação dos flocos ao refino**.

Durante o refino, os efeitos de dispersão, acumulação e de reação dos flocos interagem entre si em função das condições operacionais do refino e das características de floculação das polpas.

A interação entre os efeitos de dispersão, acumulação e de reação pode ter sido responsável pelos resultados ilustrados nas figuras 3 a 6, onde três das quatro amostras apresentaram a mesma resposta para refinamentos realizados a 4% e a 6% de consistência. Como as condições operacionais do refino são iguais para as quatro amostras é provável que os efeitos de dispersão e de acumulação de energia nos flocos sejam similares para as quatro amostras. Dessa forma, a diferente resposta ao aumento da consistência (de 4% para 6%) da **Amostra D**, provavelmente, relaciona-se às características de floculação desta amostra, conforme discutido mais adiante, e ilustrado pela mais rápida formação de finos da **Amostra D**.

Comparando-se a um mesmo grau de consolidação da estrutura do papel (figuras 7 a 9), a evolução das propriedades foi independente da consistência na qual o refino foi realizado. A variação da consistência de refino influenciou o consumo de energia para obter uma mesma combinação de efeitos que determinam a consolidação. O maior consumo de energia útil foi observado nos refinamentos realizados a 2% de consistência (fi-

Figura 1b — Foto da Fração de Finos (Aumento 110 X) das Polpas de *E. Globulus*

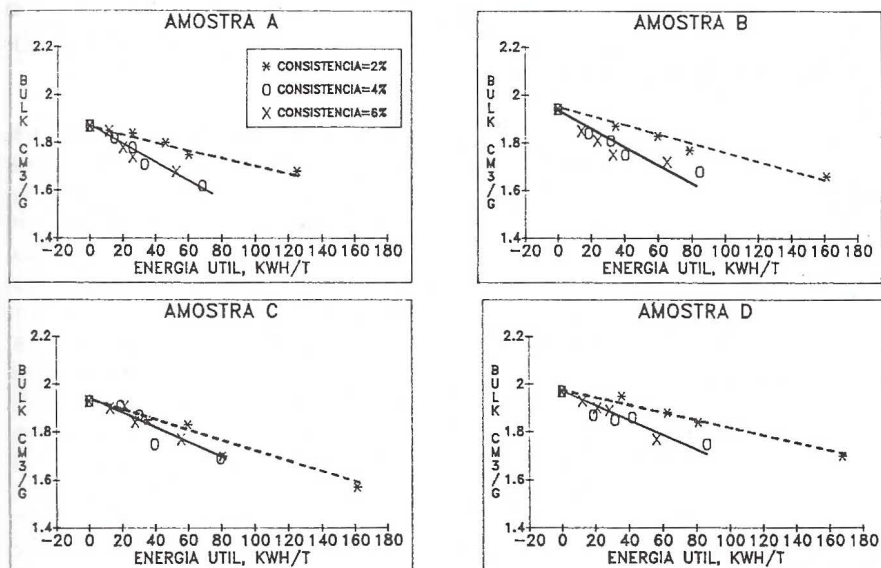


Figura 2 - Evolução do "Bulk" em Função da Consistência e Energia Útil de Refino.

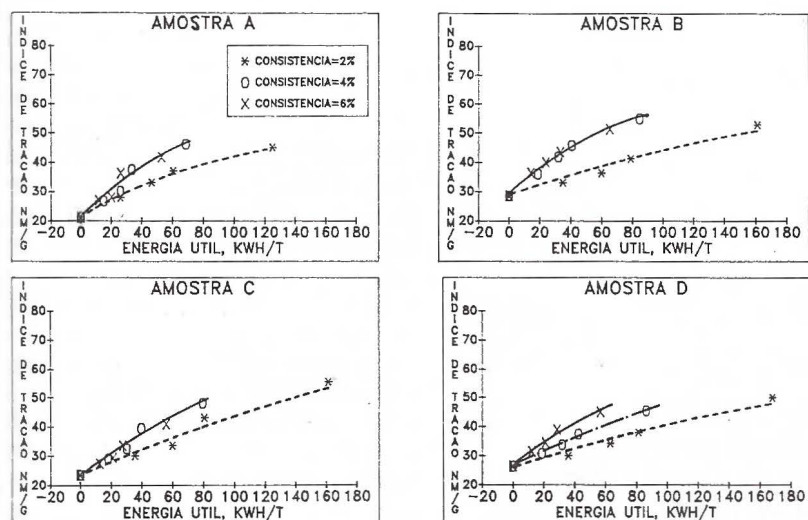


Figura 3 - Desenvolvimento do Índice de Tração em Função da Consistência e Energia Útil de Refino.

Figuras 10 e 11), quando maior teor de finos foi detectado para um mesmo nível de consolidação.

3.2.2. Comparação entre Polpas Refinadas

Dentro de cada espécie, as amostras que, no estado não refinado, caracterizam-se por menor flexibilidade de fibras e formação de flocos menos coesos (**Amostras B e D**), apresentaram modificações mais intensas durante o refino (figuras 12 a 14). Este comportamento é evidenciado pelas inclinações nas curvas de evolução da superfície específica (figura 15), do teor de finos (figura 16), do índice de retenção de água (figura 17), e do tempo de drenagem dinâmica (figura 18), com o índice de tração, dessas amostras em relação às **Amostras A e C**.

Os resultados sugerem que, para um mesmo nível de consolidação da estrutura do papel, as quatro amostras apresentaram diferentes combinações de fatores que condicionam a consolidação.

Para as polpas de *E. globulus*, a maior superfície específica da **Amostra D** em relação à da **Amostra C** compensa a provável menor flexibilidade de suas fibras (figura 15). Nas polpas de *E. grandis*, com mesma superfície específica, a menor flexibilidade na **Amostra B** é compensada pelos seus maiores teores de pentosanas e de cátions comparados a **Amostra A**. A maior flexibilidade na **Amostra A** é evidenciada pelos menores "bulk" e porosidade (figuras 12 e 13) com menor teor de finos (figura 16).

A maior hidratação das fibras é, normalmente, associada à mais intensa flexibilização das mesmas. Os resultados já apresentados mostram que as polpas com mais intensa evolução dos teores de finos (figura 16) também apresentaram maior capacidade de retenção de água (figura 17), embora com menor flexibilização de fibras a um mesmo grau de consolidação.

Estes resultados evidenciam a importância das característi-

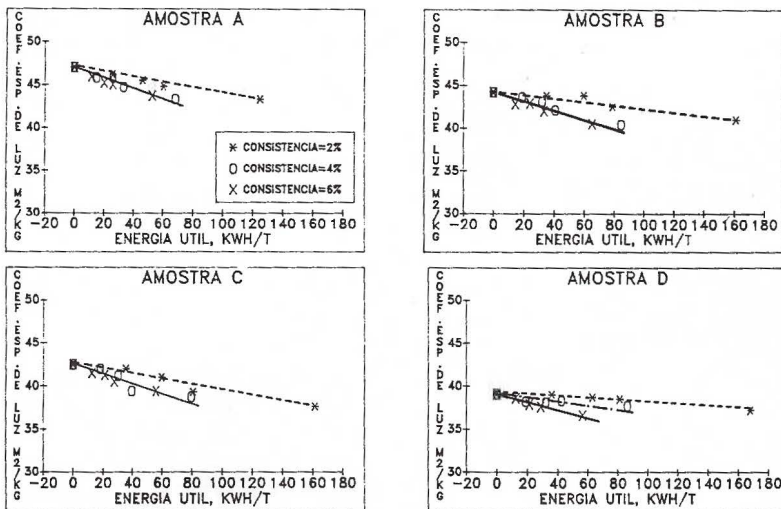


Figura 4 - Evolução do Coeficiente de Espalhamento de Luz com a Consistência e Energia Útil de Refino.

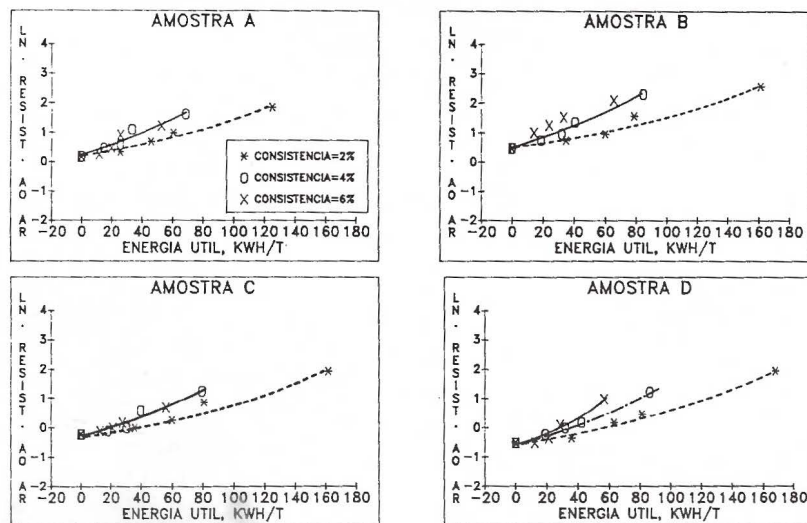


Figura 5 - Evolução da Resistência ao Ar-Gurley em Função da Consistência e Energia Útil de Refino.

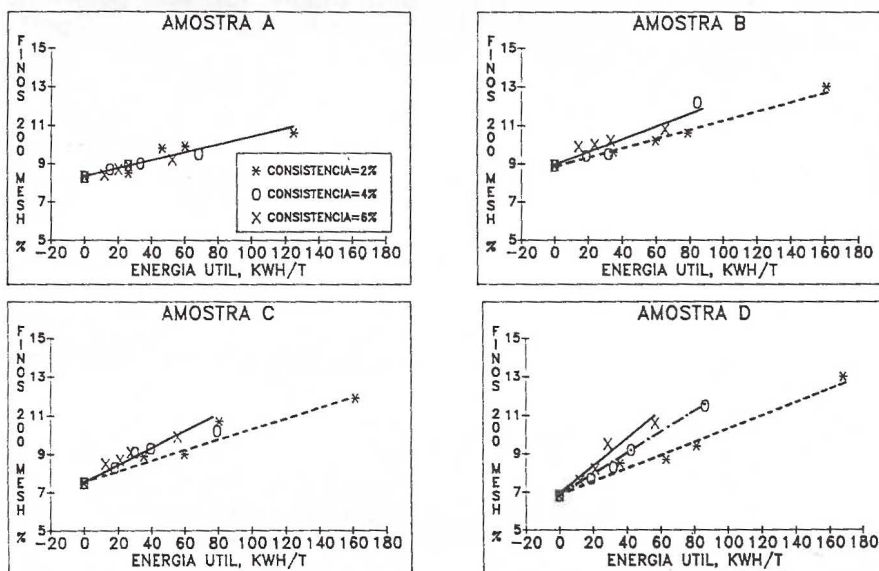


Figura 6 - Desenvolvimento do Teor de Finos com a Consistência e Energia Útil de Refino.

cas anatômicas no potencial de flexibilização das fibras durante o refino. Polpas com fibras de diferentes características estruturais, provavelmente, atingirão

o mesmo grau de flexibilização com diferentes níveis de hidratação e de consolidação da estrutura do papel.

Dentro de cada tipo de madei-

ra, as polpas com fibras mais rígidas (**Amostras B e D**) apresentaram, a uma mesma consolidação, maiores valores de tempo de drenagem dinâmica (figura 18) e de índice de retenção de água (figura 17). Do ponto de vista prático percebe-se para essas amostras dificuldades de drenagem e de prensagem em máquinas de papel. Para a produção de um mesmo tipo e gramatura de papel tais dificuldades implicam em menores velocidades de máquina nas mesmas condições de operação.

Outra importante propriedade do papel para impressão é a sua resistência ao arrancamento de vasos. Para as quatro amostras analisadas, o aumento da consolidação da estrutura do papel levou a acentuadas reduções no número de vasos arrancadas (figura 19).

Para as polpas de **E. globulus**, com mesmo número de vasos por miligrama e mesma resistência inicial ao arrancamento de vasos, a maior resistência superficial para a **Amostra D** está, provavelmente, relacionada com a maior superfície específica, permitindo melhor fixação dos elementos de vasos à superfície do papel. Outro fator a ser considerado é o consumo de energia útil para se atingir o mesmo grau de consolidação do papel. Estes dois fatores são mais acentuados na **Amostra D** (menor número de vasos arrancados) que na **Amostra C** (figura 20).

Nas amostras de **E. grandis**, as demandas de energia útil de refino e as superfícies específicas das amostras são similares para um mesmo grau de consolidação do papel. Na **Amostra A**, a maior resistência ao arrancamento de vasos é justificada pela maior flexibilização das fibras, possibilitando melhor fixação dos elementos de vaso. Para as polpas não refinadas, a menor resistência superficial da **Amostra A** é decorrente do maior número de vasos por miligrama e da menor consolidação da estrutura do papel.

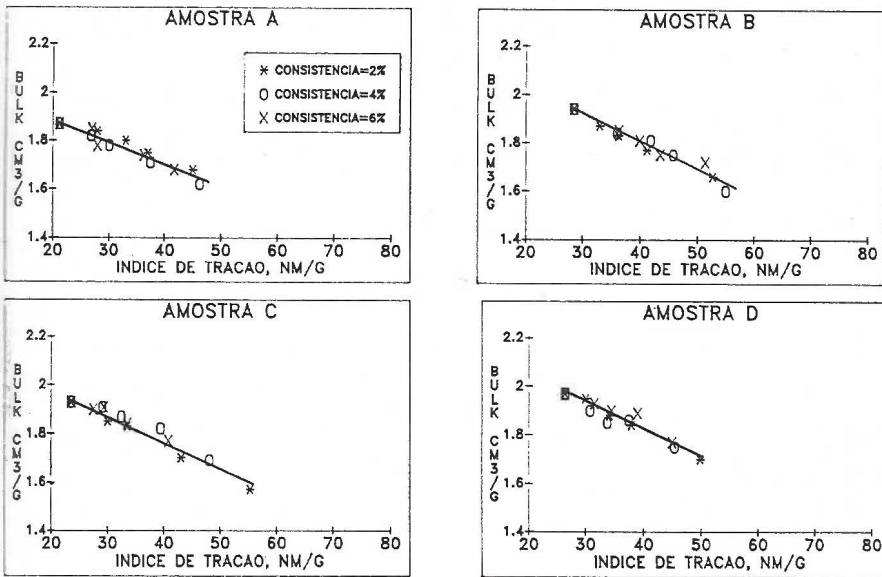


Figura 7 - Evolução do "Bulk" em Função do Índice de Tração.

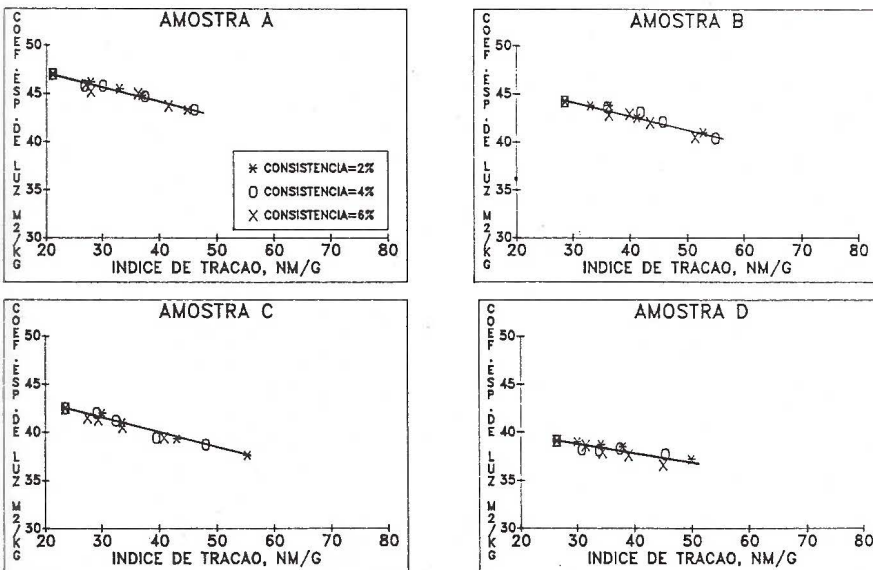


Figura 8 - Desenvolvimento do Coeficiente de Espalhamento de Luz com o Índice de Tração.

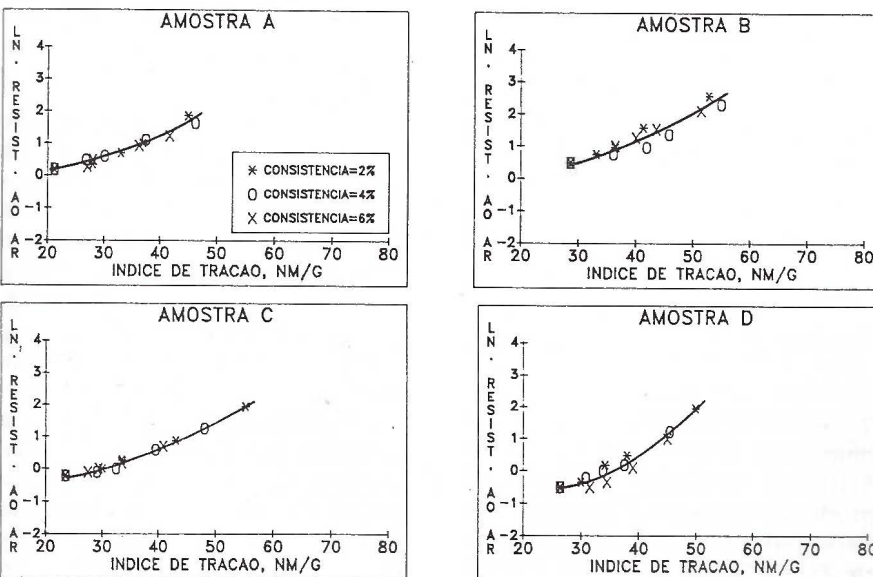


Figura 9 - Evolução da Resistência ao Ar-Gurley com o Índice de Tração.

3.3. Resistência a Úmido das Polpas

A performance das máquinas de papel depende das propriedades de resistência a úmido das polpas utilizadas (quebras) e das condições operacionais empregadas. Os fatores que influenciam a capacidade de ligação entre as fibras e suas interações com a água têm sido citados (19-27) como sendo os principais parâmetros determinantes da propriedade.

Neste estudo, as comparações entre as polpas foram realizadas através das determinações do "failure-envelope" (27-28). A comparação dos valores de resistência a úmido a um mesmo valor de secura foi descartada em função da variação desse parâmetro ao longo da máquina de papel, e pelo fato de diferentes polpas submetidas ao mesmo processo adquirirem diferentes níveis de secura.

O "failure-envelope" corresponde a uma relação gráfica entre os valores de índice de tração e alongamento a úmido, obtidos sob diferentes condições de preparo das amostras (variação da secura da polpa após curva de prensagem padrão). Para uma mesma polpa, com o aumento da secura ocorre aumento dos valores de índice de tração e redução dos valores de alongamento a úmido, obtendo-se, para a curva de prensagem, uma curva de variação da resistência a úmido com a secura da amostra.

Nesta metodologia duas ou mais polpas são comparadas a uma mesma condição de preparo das amostras, considerando-se os resultados de índice de tração e de alongamento a úmido. Maiores valores para uma destas propriedades, com os mesmos ou maiores valores para a outra, indicam maior nível de resistência a úmido, que em termos práticos correspondem à possibilidade de aumento da velocidade das máquinas quando da produção de um mesmo tipo de papel (27-29). As figuras 21 e 22 ilustram a evolução dessas duas propriedades com o refino, considerando-se a energia útil

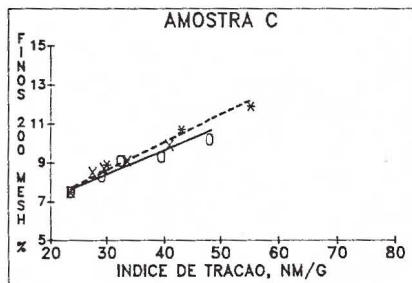
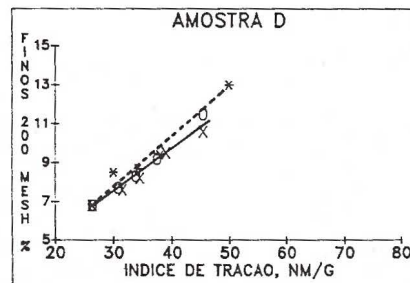
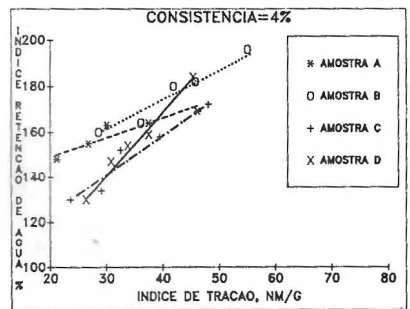
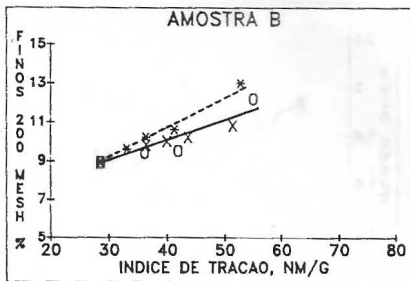
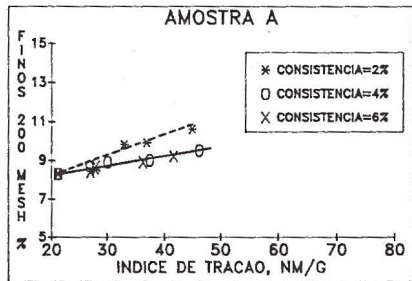


Figura 10 - Desenvolvimento do Teor de Finos em Função do Índice de Tração.

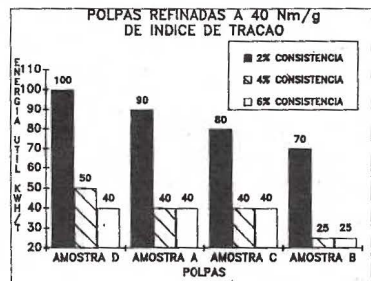


Figura 11 - Energia Útil de Refino Necessária para a Produção de Papéis com 40 Nm/g de Índice de Tração.

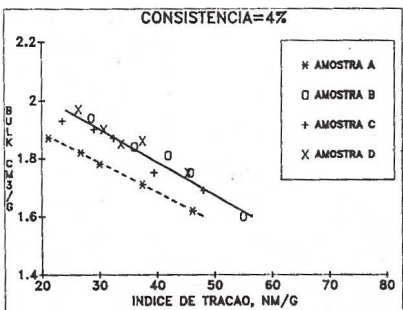


Figura 12 - Evolução do "Bulk" com o Índice de Tração

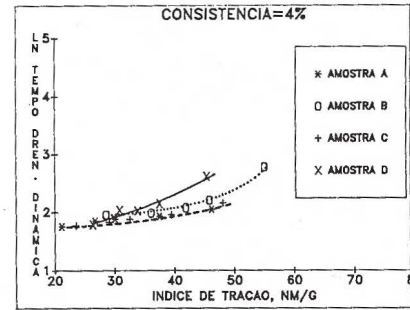


Figura 16 - Evolução do Tempo de Drenagem Dinâmica com o Índice de Tração.

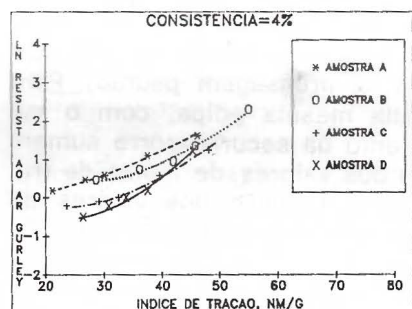


Figura 13 - Evolução da Resistência ao Ar-Gurley com o Índice de Tração.

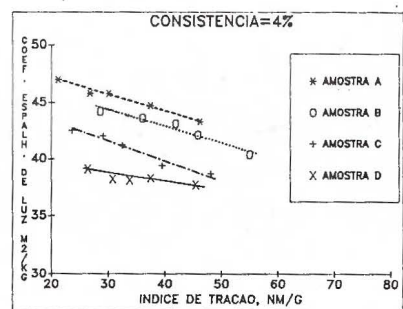


Figura 14 - Evolução do Coeficiente de Espalhamento de Luz com o Índice de Tração.

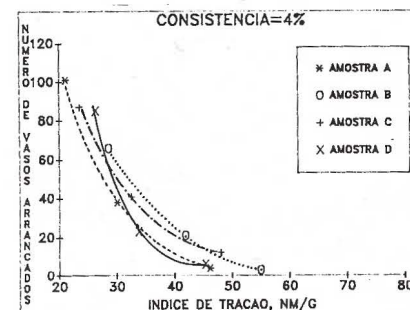


Figura 19 - Números de Vasos Arrancados em Função do Índice de Tração.

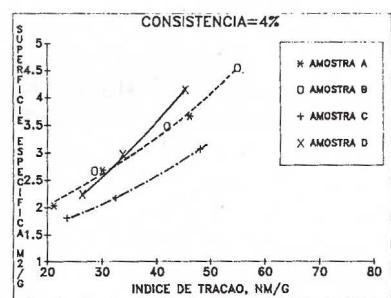


Figura 15 - Desenvolvimento da Superfície Específica com o Índice de Tração.

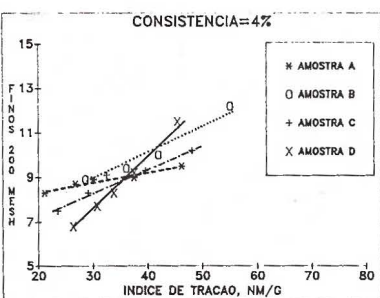


Figura 16 - Desenvolvimento do Teor de Finos com o Índice de Tração

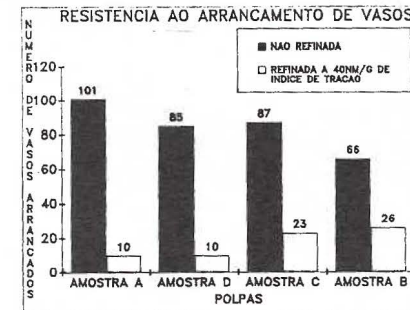


Figura 20 - Número de Vasos Arrancados para Diferentes Tipos de Papéis.

aplicada e um dos quatro níveis de prensagem. Os "failure-envelopes", para um mesmo grau de consolidação do papel acabado, foram obtidos pela interpolação dos resultados apresentados nas figuras 21 e

22. Este procedimento permitiu a comparação entre as quatro amostras, considerando-se a resistência a úmido, quando da produção de papéis com mesmas características mecânicas (figura 23).

Dentre as polpas de *E. grandis*, o maior "failure-envelope" da **Amostra A** deve-se ao seu maior alongamento a úmido. Como as **Amostras A e C** apresentaram a mesma superfície específica, o maior alongamento a úmido é, provavelmente, decorrente de maior flexibilização e maior número de dobras e de microcompressões nas fibras da **Amostra A** (16, 19, 28, 30, 32). A presença de dobras e de microcompressões é evidenciada pela redução dos valores de alongamento a úmido com o au-

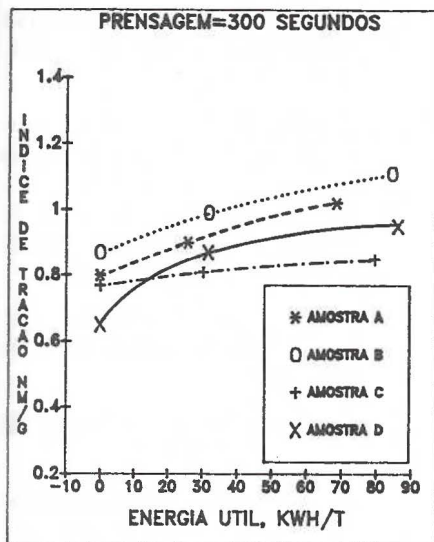


Figura 21 - Variação do Índice de Tração a Úmido - Refinos a 4% de Consistência.

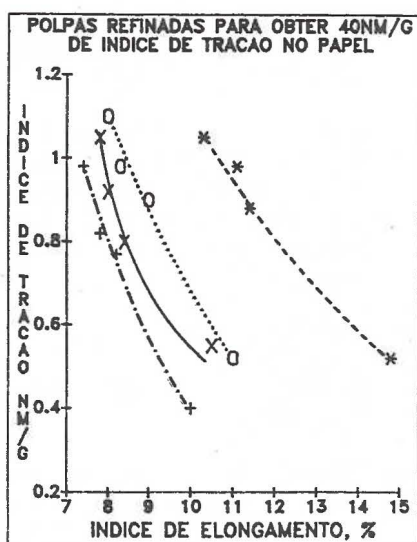


Figura 23 - "Failure Envelopes" Para Polpas Refinadas. Refinos a 4% de Consistência.

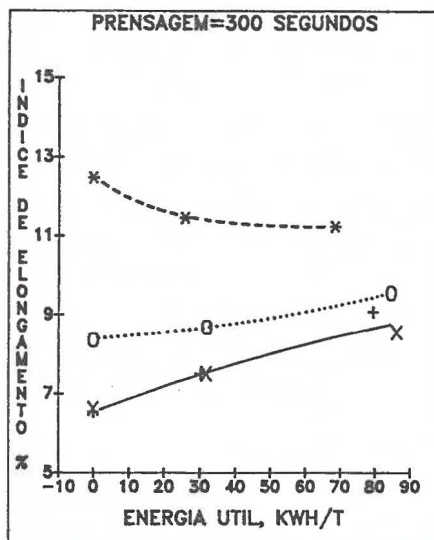


Figura 22 - Variação de Elongamento a Úmido - Refinos a 4% de Consistência.

mento da energia de refino (33), observado na Amostra A (figura 22).

Para as polpas de *E. globulus*, o maior "failure-envelope" da Amostra D também é atribuído ao seu maior alongamento a úmido, decorrente da maior superfície específica desta amostra em relação à da Amostra C. A maior superfície específica permite maior tensão superficial e maior adesão entre as fibras no estado úmido.

Dentre as espécies estudadas, as amostras de *E. grandis* apresentaram maiores níveis de resistência a úmido. Os fatores que condicionam o alongamento a úmido, para um mesmo nível

de consolidação seco, foram os principais na determinação da resistência a úmido e, portanto, das características de "runability" da máquina de papel.

4. CONCLUSÕES

Quatro amostras de polpas comerciais de *Eucalyptus* spp (Amostras A, B, C e D) foram comparadas quanto às características das polpas não refinadas e de desenvolvimento das propriedades do papel com o refino. Os diferentes resultados entre as amostras evidenciaram a existência de interação entre as características químicas e anatômicas das polpas e suas respostas ao refino.

Dentro de cada espécie de eucalipto analisada, a Amostra B (*E. grandis*) e Amostra D (*E. globulus*) apresentaram as modificações estruturais mais acentuadas em relação as Amostras A e E, respectivamente.

As diferentes respostas ao refino, observadas entre as amostras, provavelmente, relacionam-se com as características de floculação das mesmas com modificações estruturais mais acentuadas para as amostras de fibras mais rígidas (Amostra D).

Nas quatro amostras foram observadas diferentes combinações dos fatores que determinam o grau de consolidação da estrutura do papel. Tais diferen-

ças foram independentes da consistência de refino e resultantes das variações no consumo de energia útil aplicada entre as amostras.

A uma mesma consolidação, os principais fatores que condicionaram as propriedades do papel úmido e do produto acabado foram o desenvolvimento de superfície específica, os níveis de flexibilização das fibras e os teores de cátions e de pentosanas das amostras.

Para um mesmo valor de índice de tração (consolidação), os menores níveis de opacidade e de resistência ao ar foram determinados para as amostras de *E. globulus* (Amostras C e D). Estas amostras apresentaram menor número de fibras por grama e fibras mais rígidas que as amostras de *E. grandis*. O efeito do "deboding", resultante do teor de talco presente na Amostra B, elevou os valores de "bulk" para esta amostra a níveis similares aos determinados para as polpas ibéricas, e surpreendentemente superiores aos da Amostra A.

Dentre as polpas de *E. globulus*, as maiores resistências a úmido e ao arrancamento de vasos da Amostra D, foram atribuídas à sua superfície específica. Nas amostras de *E. grandis* estas resistências foram maiores para a Amostra A. Essa amostra, com menores teores de cátions e de pentosanas que os da Amostra B, requer maior quantidade de energia útil de refino para atingir um mesmo grau de consolidação. Devido a maior quantidade de energia útil aplicada, provavelmente, ocorre maior flexibilização das fibras, aumentando sua capacidade e resistência de ligação. Maiores níveis de resistência a úmido foram determinados para as polpas com maiores valores de alongamento a úmido (maiores tensão e coesão superficial).

Comparações de propriedades de polpas diferentes realizadas usando-se resultados obtidos para as amostras não refinadas para uma mesma consolidação, apresentaram tendências divergentes. Esses resultados indicam a necessidade de

um parâmetro de referência para a comparação de polpas. Adotou-se neste estudo o grau de consolidação da estrutura do papel acabado, o qual relaciona-se com a qualidade final do produto. Este procedimento é sugerido para futuras análises comparativas de polpas.

5. Bibliografia

1. MANFREDI, V.; VILELA, C. B. & CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E. Efeito da Consistência, Velocidade de Rotação dos Discos e Intensidade de Refino na Evolução das Propriedades Físicas da Polpa Refinada. IN.: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, XIX, São Paulo. 1986.
2. MANFREDI V. & CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E. Refining – Operational Variables vs Raw Materials. IN.: INTERNATIONAL CONFERENCE IN REFINING TECHNOLOGIES, England. 1986.
3. CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E. Aracruz Celulose S/A Relatório DI 016/89. 1984.
4. CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E. E. **Chemical Pulp Beating Related to Fiber Structure**. Suny College of Environmental Science and Forestry. Syracuse. 286 p. 1981. (Ph. D. Thesis).
5. DEMUNER, B. J. Aracruz Celulose S/A. Relatório DITP 02/87. Relatório DI 036/88. 1988.
6. CARPIN, M. A.; BARRICHELLO, L. E.; CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E. & VASCONCELLOS DIAS, R. L. A Influência do Número de Fibras por Grama nas Propriedades Óticas do Papel. IN.: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, XX, São Paulo, 1987.
7. MARK, R. E. Ed. **Handbook of Physical and Mechanical Testing of Paper and Paperboard**. Marcel Dekker, INC. New York. 1984, 508 p.
8. BRITT, K. W. **Tappi** 49(5): 202. 1965.
9. CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E. Aracruz Celulose S/A. Relatório DI 010/83. 1983.
10. LUCE, J. E. **Transverse Collapse of Wood Pulps Fibers: Fiber Models, The Physics and Chemistry of Wood Pulp Fibers**. Page, D. H. Ed. 278 TAPPI STAP n.º 8. 1970.
11. HIGGINS, H. G.; Young, J.; BALODIS, V.; PHILLIPS, F. H. & COLLEY, J., **Tappi** 56(8): 127. 1983.
12. CHANG, Y. C. The Applications of Pigments to Paper and Printing Technologies. IN: 73rd CPPA ANUAL MEETING, Montreal - Quebec. 1987.
13. BOWN, R. The Relationship Between Strength and Light Scattering Coefficient for Filled Papers. By PUNTON, V. Ed. **Papermaking Raw Materials**. Mechanical Engineering Publications Limited. London. vol. 2. 1985. p. 543-575.
14. DEMUNER, B. J. Aracruz Celulose S/A. Relatório DI 033/87. 1987.
15. SALLADA, O. Eucalyptus for Specialts Papers – IN: New Pulps for The Paper Industry L. Haas Ed. Miller Freeman, Brussels, 1979.
16. CLARK, J. D'A. **Pulp Technology and Treatment for Paper**. Miller Freeman Publ. San Francisco. 1978.
17. RETULAINNEN, E. & EBE-LING, K. Effect of Paper on the Lood – Elongation Behaviour of Fiber – to – Fiber Bonds. BY PUNTON, V. Ed. **Papermaking Raw Materials**. Mechanical Engineering Publications Limited. Lond. Vol. 1. 1985. p 229-263.
18. Casey, J. P. **Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology**. A Wiley Interscience Publication. New York. 1980. 1446 p.
19. PARSONEN, P. K. **Paperi Ja Puu** 11: 757. 1970.
20. ROBERTSON, A. A. **Svensk Papperstidn.** 66(12): 474. 1963.
21. LUNER, P. Wet Fiber Flexibility ae an Index of Pulp and Paper Properties. IN.: INTERNATIONAL CONFERENCE IN REFINING TECHNOLOGIES, England, 1986.
22. LYNE, L. M. & GALLAY, W. **Pulp Paper Canada** 55(11): 128. 1954.
23. ROBERTSON, A. A. **Tappi** 42 (12): 969. 1959.
24. ROBERTSON, A. A. Measurement and Significance of the Water Retention on Properties of Papermaking Fibers. IN.: Consolidation of the Paper Web. F. BOLAM Ed. B. P. B. M. A. p 90-115. 1966.
25. BRECHT, W. & ERFURT, H. **Tappi** 42(12): 959. 1959.
26. LYNE, L. M. & GALLAY, W. **Tappi** 37(12): 581. 1954.
27. SETH, R. S.; BARBE, M. C.; WILLIAMS, J. C. R. & PAGE, D. H. **Tappi** 65(3): 135. 1982.
28. SETH, R. A.; PAGE, D. H.; BARBE, MIC, & JORDAN, B. D. **Svensk Pappertidn.** 6:R36. 1984.
29. McDONALD, J. D. & PIKULIK, I. I. **Tappi** 71(2):71. 1988.
30. KIBBLEWHITE, R. P. **Transactions:** TR22. 1981.
31. PAGE, D. H. & TYDEMAN, P. A. IN.: Consolidation of the Paper Web. F. BOLAM Ed. B. P. B. M. A. p 371-392. 1966.
32. PAGE, D. H.; SETH, R. S.; JORDAN, B. D. & BARBE, M. C. Curl, Crimps, Kinds and Microcompression in Pulp Fibers – Their Origin, Measument and Significance. BY PUNTON, V. Ed. **Papermaking Raw Materials**. Mechanical Engineering Publications Limited. London. Vo. 1. 1985. p 183-227.
33. KIBBLEWHITE, R. P. & BROOKS, D. **Appita** 28(4): 227. 1975.