

Ar. Celso  
de  
Ronaldo 8/4/70

Celso Foelkel  
Engenheiro Agrônomo

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA  
CELULOSE SULFATO DE MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* Smith,  
*Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**

RONALDO ALGODOAL GUEDES PEREIRA

ENGENHEIRO - AGRÔNOMO

Instrutor da Cadeira n.º 22 - Silvicultura - ESALQ

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
«Luiz de Queiroz» da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Piracicaba - São Paulo - Brasil

Outubro - 1969

Aos meus pais

À minha esposa

Aos meus filhos

D E D I C O

# Í N D I C E

	Página
1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3 - MATERIAL E MÉTODOS .....	13
3.1 - Material .....	13
3.2 - Métodos .....	13
3.2.1 - Escôlha das árvores .....	13
3.2.2 - Derrubada e transporte .....	14
3.2.3 - Obtenção dos cavacos .....	14
3.2.4 - Produção de celulose .....	14
3.2.4.1 - Processo .....	14
3.2.4.2 - Condições de cozimento .....	15
3.2.4.3 - Preparo do licor de cozimento ..	16
3.2.4.4 - Cozimento .....	16
3.2.4.5 - Cálculo do rendimento bruto ....	16
3.2.4.6 - Depuração .....	17
3.2.4.7 - Cálculo do rendimento depurado .	17
3.2.4.8 - Determinação do número de per- manganato (N. P.) .....	18
3.2.5 - Preparo de amostras para testes físico- mecânicos .....	18
3.2.5.1 - Refinação .....	18
3.2.5.2 - Determinação do grau de refina- ção (grau Schopper-Riegler) ....	18
3.2.5.3 - Formação de fôlhas .....	19
3.2.6 - Testes físico-mecânicos .....	19
3.2.6.1 - Acondicionamento .....	19
3.2.6.2 - Gramatura .....	19

	Página
3.2.6.3 - Pêso específico aparente .....	19
3.2.6.4 - Resistência à tração .....	19
3.2.6.5 - Resistência ao arrebentamento ..	20
3.2.6.6 - Resistência ao rasgo .....	20
3.2.6.7 - Resistência ao dobramento .....	20
3.2.7 - Análise estatística dos resultados .....	20
4 - RESULTADOS .....	26
4.1 - Número de permanganato .....	26
4.2 - Granatura .....	26
4.3 - Rendimento bruto e depurado .....	26
4.4 - Grau de refinação .....	28
4.5 - Resistência à tração .....	37
4.6 - Resistência ao arrebentamento .....	47
4.7 - Resistência ao rasgo .....	57
4.8 - Resistência ao dobramento .....	67
4.9 - Pêso específico aparente .....	77
5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	88
6 - RESUMO E CONCLUSÕES .....	104
7 - SUMMARY AND CONCLUSIONS .....	108
8 - BIBLIOGRAFIA .....	112
9 - AGRADECIMENTOS .....	121

	Página
10 - GRÁFICOS .....	123
I - Relação de grau de refinação com tempo de refinação .....	124
II - Relação de resistência à tração com grau de refinação .....	125
III - Relação de resistência ao arrebentamento com grau de refinação .....	126
IV - Relação de resistência ao rasgo com grau de refinação .....	127
V - Relação de resistência ao dobramento com grau de refinação .....	128
VI - Relação de peso específico aparente com grau de refinação .....	129

## 1 - INTRODUÇÃO

Embora secundadas pelas Gimnospermas, as espécies da subdivisão Angiospermas vêm adquirindo progressiva importância industrial mercê dos avanços tecnológicos realizados nas últimas três a quatro décadas. Tais estudos, induzidos quer pela diminuição do estoque disponível de coníferas, quer pela necessidade de um aproveitamento mais racional de folhosas economicamente produtoras, vieram revelar características notáveis e específicas dessas essências para a produção de diversos tipos de papel.

Dentre as folhosas destacam-se as pertencentes ao gênero Eucalyptus, originário da Austrália e que fornece o maior número de espécies para a formação de florestas artificiais em todo o mundo. Representado por árvores de rápido crescimento e boa forma, aquêlê gênero recobre área de 1,6 milhões de hectares, segundo RYDHOLM (1965).

De acôrdo com PINHEIRO (1961) a área então coberta por eucaliptais em nosso país era de 560.000 hectares. Aquêlê mesmo autor menciona que 70% das sementes vendidas pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, eram representadas por Eucalyptus saligna Sm., E. alba Reinw. e E. grandis Hill ex Maiden, havendo grande predominância da primeira espécie mencionada, que segundo BASTOS (1961) representava 32% do total de sementes vendidas por aquêlê grande centro produtor. O E. alba e E. grandis ocupavam os lugares subsequentes com 18% e 9% do total respectivamente.

As três espécies mencionadas são efetivamente as mais utilizadas pela nossa indústria de celulose, atualmente, conforme conclusão de LEONE e colaboradores (1969).

O desenvolvimento apresentado por aquelas espécies, quando plantadas em solo de cerrado, se coadjuvado pelo emprêgo de mudas obtidas de sementes seleccionadas e pela fertilização, conforme preconiza MELLO (1963), autoriza a previsão de elevados índices de produtividade florestal.

Entretanto, a crescente demanda de celulose de fibra curta no mercado interno e as possibilidades potenciais para as exportações estão a exigir um conhecimento mais profundo, do ponto de vista tecnológico, das matérias primas utilizadas, de modo a se poder obter maior uniformidade e melhor qualidade do produto final.

Em que pesem os magníficos resultados obtidos pela nossa indústria na produção de celulose de eucalipto, são ainda bastante reduzidos os conhecimentos a respeito das espécies mais adequadas para determinados fins e da idade mais conveniente à exploração em termos de utilização econômica para fins industriais.

Embora E. saligna seja a espécie mais difundida, sua preferência pela indústria parece se basear principalmente no seu desenvolvimento florestal e nos resultados de reduzido número de trabalhos científicos.

Ademais, os trabalhos existentes somados às observações realizadas em conexão com as indústrias, não justificam, do ponto de vista industrial, a preferência de E. alba em relação a E. grandis.

O presente trabalho teve por objetivo o estudo das principais propriedades físico-mecânicas das pastas não branqueadas, obtidas pelo processo sulfato, das três espécies do gênero Eucalyptus mais utilizadas pela indústria brasileira de celulose de fibra curta.

Dada a complexidade das inter-relações existentes, acredita-se que somente através de um extenso programa de pesquisas organizado de maneira eficiente e objetiva se poderá atender às constantes indagações de ordem tecnológica das indústrias nacionais de celulose e papel, em fase de notável expansão.

O presente estudo tem caráter preliminar visando apenas averiguar se existem diferenças entre as espécies testadas e em suas idades de corte.

As possíveis diferenças que possam vir a ser constatadas deverão merecer os desdobramentos adequados com vistas a um melhor conhecimento de suas causas, para que possa trazer benefícios àquelas que se dedicam à eucalipto-cultura para a produção de celulose.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização de madeira de espécies florestais pertencentes à sub-divisão Angiospermas vem crescendo consideravelmente, conforme assinala RYDHOLM (1965), tendo contribuído com 15% da produção mundial de celulose em 1960.

Embora representando 50% da área florestal que recobre o globo, as folhosas apresentam algumas características que tem impedido o seu maior aproveitamento pela indústria de celulose. O mesmo RYDHOLM atribue êsse parcial desinterêsse ao fato daquelas espécies não ocorrerem em maciços puros, de muitas delas absorverem água com grande facilidade impedindo o transporte floreal - um dos mais baratos em diversas partes do mundo -, de apresentarem elevada densidade e principalmente apresentarem menor comprimento e menor uniformidade de fibra.

TANOLANG e WANGAARD (1961) revendo a literatura especializada, confirmam a importância dada ao comprimento de fibra pelos primeiros pesquisadores. Citando revisão de GRAFF e MILLER (1939) dos trabalhos feitos entre 1904 e 1920, observam que naquele período os investigadores eram indubitavelmente influenciados pelo conceito amplamente difundido de que a resistência do papel estava unicamente associada ao maior comprimento das fibras.

Os mesmos autores mencionam que o interêse por outras relações entre as dimensões das fibras e a resistência do papel foi estimulado quando Strachan em 1925 e Klein em 1928 reconheceram que a relação entre comprimento e largura da fibra, denominado "felting power", tinha maior influência sobre as propriedades mecânicas de celulose que o comprimento da fibra sozinho.

No relato apresentado, o TAPPI Forest Biology Committee (TAPPI, 1960) afirma que "tôdas as dimensões das fibras (comprimento, diâmetro e espessura de parede) são interdependentes de maneira complexa e pouco conhecida, e influenciam muitos aspectos da produção de papel".

Com o propósito de conhecer as características anatômicas e físicas de sete espécies do gênero Eucalyptus, com vistas à sua utilização na fabricação do papel, SCARAFUZZI (1961) chegou a conclusão de que fibras de pe-



redes finas com lumen largo adquirem a forma de fitas durante a moagem aumentando a área de contacto e consequentemente produzindo uma fôlha mais resistente. As fibras de paredes espessas, ao contrário, retêm sua forma tubular, não se interligando de maneira satisfatória e produzindo, portanto, uma fôlha de menor resistência. Sômente a resistência ao rasgo parece aumentar de vido a maior espessura da parede da fibra.

O mesmo autor (1965) observa que a densidade da madeira é considerada uma característica muito importante na produção de celulose por sua estreita relação com rendimento industrial e por sua influência sobre várias propriedades mecânicas do papel.

O problema da utilização de espécies folhosas com elevada espessura de parede de fibras e caracterizadas por alta densidade é discutido por COHEN (1960) com vistas ao possível aproveitamento do *Eucalyptus hamiphloia* para a produção de papel. Cozimentos realizados com madeira dessa espécie pelo processo sulfato de sua celulose com resistências ao estouro, à tração e ao dobramento bastante moderadas, mas com resistência ao rasgo relativamente alta.

SMEETS (1961) após estudos realizados em madeira de *E. saligna* de 6 anos, conclui haver uma forte correlação entre o comprimento de fibra e a idade dos anéis de crescimento ( $r = 0,98$ ), significativa ao nível de 1% de probabilidade. Acrescenta que até essa idade existiu apenas um efeito linear para as regressões, denotando êsse fato, a não estabilização do crescimento da fibra em comprimento.

JAMIE e colaboradores (1943) em estudo da madeira de choupo (*Populus* sp.) de árvores de 1 e 10 anos, observaram que o comprimento de fibra aumentou de 0,581 mm para 0,909 mm com o aumento da idade. Fazendo cozimentos com êsse material pelo processo sulfato, concluíram que a celulose obtida com exemplares de 10 anos foi superior em tôdas suas características tendo alcançado um rendimento de 53% em contraposição ao de 46% obtido com a madeira de 1 ano.

Já MARKOV e MATSELO (1960) trabalhando com madeira de espécies naturais e híbridos do gênero *Populus*, obtida de plantação realizada na Rússia, cuja idade variou de 5 a 15 anos, concluíram não haver influência da idade no rendimento e nas propriedades mecânicas da celulose sulfato.

MAZZEI e OVERBECK (1966) em estudo comparativo de E. saligna de 5, 8, 10, 15 e 20 anos de idade, concluíram que a celulose sulfato de madeira de 5 anos apresentou melhores resultados gerais de resistência, quando não branqueada e principalmente quando branqueada.

MATSON (1956) estudando as características da madeira de tensão em Eucalyptus sp. conclui que a sua celulose quando comparada àquela de madeira normal, apresenta resistências mecânicas inferiores nas propriedades que dependem da ligação inter-fibras para seu desenvolvimento. Atribui o fato ao menor teor de pentosanas e à presença de fibras de paredes mais espessas apresentadas pela madeira de tensão. Esta possuía fibras pouco mais curtas e densidade básica maior que a madeira normal.

HIGGINS (1969) observa que o maior teor em hemiceluloses em folhosas, quando comparadas às coníferas, é fator importante para a obtenção de maior rendimento e pelos seus efeitos benéficos na ligação inter-fibras e portanto, na resistência da celulose.

O relatório anual da AUSTRÁLIA DIVISION OF FOREST PRODUCTS (1953) apresenta resultados de um estudo feito em Pinus taeda coletado em floresta artificial. A madeira outonal e a madeira primaveril foram cozidas separadamente pelo processo sulfato. A pinhina — mais densa — apresentou maior resistência ao rasgo e maior volume específico, enquanto que a madeira primaveril, de menor densidade, superou aquela em resistência ao arrebentamento, à tração e ao dobramento.

Conjuntamente com os efeitos das características anatómicas mencionadas, o fator econômico contribuiu bastante para o aumento da utilização das folhosas pela indústria de celulose. Assim, REDHOLM (1965) assinala que a madeira de coníferas custa pelo menos 20% e frequentemente 50% mais que a de folhosas. Cita o exemplo das "celuloses solúveis" para a fabricação de rayon e acetato, onde o rendimento industrial não ultrapassa 40% e cuja única maneira de reduzir os custos do produto final reside no aproveitamento de folhosas, principalmente Liquidambar sp., Betula spp., Fagus spp. e Eucalyptus spp. Nesse caso o comprimento de fibra é de pequena importância.

Reforçando esse aspecto, PEREIRA (1967) relata que importante fábrica norueguesa, grande produtora de rayon e acetato, está montando no Brasil

indústria de elevada capacidade de produção para a fabricação de celulose sulfato, devendo utilizar principalmente eucalipto.

Os estudos anatómicos básicos realizados por diversos pesquisadores, demonstrando as possibilidades de utilização de espécies folhosas, associadas à necessidade econômica de aproveitamento racional de extensas florestas de angiospermas resultantes do uso intensivo das coníferas, especialmente nos países europeus e norte-americanos, induziu a um aceleramento nas pesquisas aplicadas visando a utilização das madeiras de fibra curta pela indústria de celulose e papel.

Assim, diversos autores, em vários países realizavam um grande número de investigações, amplamente difundidas pela literatura, principalmente, com espécies dos gêneros Populus, Betula, Fagus, Quercus, Liquidambar. Mais recentemente o gênero Eucalyptus começou a ser estudado, estudos êsses que foram sensivelmente intensificados a partir da década dos 40.

ANDRADE (1961) relata que em 1925 Navarro de Andrade enviava à Forestry Products Laboratory, em Madison, Estados Unidos da América do Norte, diversas amostras de Eucalyptus saligna e Eucalyptus tereticornis para testes de produção de celulose. Os resultados, segundo aquele técnico, foram considerados amplamente satisfatórios.

TEICHER (1961) informa que à firma Gordinho Krauss S. A. coube a primazia de haver instalado a primeira fábrica de celulose sulfato no Brasil e na América do Sul, a qual, em março de 1927, produziu celulose branqueada de eucalipto.

SCOTT (1940) analisa as perspectivas de utilização para a madeira do Eucalyptus saligna plantado na África do Sul. Verifica que aquela espécie produz celulose de fibra curta de bom rendimento, resistência moderada, e apropriada para máquinas de papel de alta velocidade, mas não adequada para a produção de papel "kraft".

Em 1958 foi dada à publicação um sumário dos trabalhos experimentais sobre produção de celulose e papel de eucalipto realizados pelo FOREST PRODUCTS LABORATORY (F. P. L.), de Madison, E. U. A. Diversas espécies foram testadas utilizando processos químicos, semi-químicos e mecânicos. Esse sumário que relata os trabalhos levados a efeito entre 1926 e 1957, foi re-

visto e revalidado por aquêlo Instituto em 1965 , representando, portanto , quase 40 anos de pesquisas com espécies do gênero Eucalyptus . Entre estas destacam-se E. saligna , E. tereticornis , E. kirtoniana , E. regnans , E. alba , E. gigantea , E. robusta .

No ítem referente a trabalhos conduzidos com madeira de E. saligna procedente do Brasil, aquêlo sumário mostra que utilizando 10% de produtos químicos calculados como óxido de sódio, obteve-se rendimento de 60% para celulose sulfato, a qual após refinamento apresentou características de resistência adequadas para confecção de papéis de embrulho.

Destaca ainda a obtenção de celulose sulfato com 54% de rendimento usando 12% de produtos químicos como óxido de sódio. A resistência dessa celulose desenvolveu-se rapidamente na moagem podendo ser utilizada de "per se" ou participar em alta percentagem na mistura com celulose de fibra longa para produção de papel "kraft" .

Outro aspecto de interesse relatado pelos pesquisadores do F. P. L. é que a mistura de celulose sulfato de E. saligna com celulose sulfato de uma espécie do gênero Pinus do norte dos E. U. A. apresentou apenas a resistência ao rasgo inferior à celulose sulfato de Pinus do sul, sendo comparável nas outras características.

Foi conseguido também um papel de boa qualidade para livro misturando-se 89% de celulose sulfato de E. saligna com celulose sulfato de uma conífera.

No sentido de demonstrar o interesse que tem existido pela utilização de espécies de Eucalyptus na produção de celulose, STEWART e WATSON (1961) apresentam uma extensa relação dos trabalhos realizados em diversas partes do mundo.

A preparação de celulose de eucalipto pelos processos mecânico , sulfito ácido e neutro e a produção de "celulose solúvel" são também relatados por aquêles pesquisadores.

A possibilidade de produção de pasta mecânica foi estudada por alguns investigadores procurando conhecer as melhores condições para sua aplicação. Assim SOMMERVILLE e BURKITT (1951) analisaram a pasta mecânica de E. regnans , concluindo que a maior resistência foi encontrada na madeira mais

central obtida de árvores de 150 a 500 anos. Madeira de mesma posição em árvores da segunda geração, com 12 a 25 anos, produziu uma pasta muito mais fraca.

Trabalhando com o processo mecânico ALICI e PASTINA (1961) testaram exemplares de *E. camaldulensis* de 8 a 14 anos de idade. Chegaram à conclusão que o resultado obtido era comparável àqueles conseguidos na Austrália com árvores jovens.

Entretanto, BOSIA (1961) em trabalho semelhante ao anterior e utilizando árvores daquela mesma espécie com 8, 14, 21 e 31 anos, concluiu que a melhor pasta mecânica foi obtida com madeira de 8 anos, a qual é similar ao produto conseguido na Austrália com árvores mais velhas de eucalipto.

A utilização do processo sulfito para produção de celulose de *E. saligna* é apresentada por JAYNE e BRANSCHIED (1959) em cozimentos realizados sob condições relativamente suaves. A madeira tinha densidade básica igual a 0,45. Os resultados conseguidos por aqueles autores a um grau Schopper-Riegler 65 com celulose não branqueada, levou-os a concluir que a mesma poderia ser usada na preparação de folhas bastante resistentes, sem misturá-la com celulose de fibra longa.

O interesse pelos processos semiquímicos na utilização do eucalipto é demonstrado por SOMMERVILLE e PEARSON (1958), BUGG e PEARSON (1958) e BUGG (1958). O objetivo de tais investigações era o aproveitamento daquela essência para a produção de papel para imprensa usando o processo soda fria.

DEAN e colaboradores (1964) propõem a utilização do processo soda fria para a produção de papel impermeável a partir de madeira de eucalipto.

O processo sulfito neutro semiquímico (NSSC) foi considerado por HIGGINS e colaboradores (1967), muito apropriado para os eucaliptos australianos.

BOSIA (1962) comparou 6 espécies de eucalipto pelos processos soda fria e bisulfito variando as condições de trabalho. Concluiu ser o *E. occidentalis* o mais promissor de todos.

BOSIA e colaboradores (1965) em outro estudo comparativo de espécies do gênero Eucalyptus, em que foram determinadas as propriedades químicas da madeira e as resistências da celulose concluíram que o E. globulus era o melhor para a produção de papel. No mesmo trabalho o E. viminalis produziu celulose semiquímica de cor clara com alto rendimento.

CEYTOLA (1968) relata os mais importantes resultados obtidos em cozimentos experimentais de algumas folhosas, durante os últimos 10 anos, em Milão, Itália. E. camaldulensis foi uma das espécies que mereceu particular atenção no estudo.

CEVALHO (1959) apresenta os resultados de estudos feitos na produção de celulose de E. saligna utilizando os processos sulfito neutro e sulfato. As celuloses branqueadas apresentando rendimentos de 50%, foram comparadas com uma celulose bissulfito de choupo produzida na Finlândia. Com o sem moagem o produto nórdico foi inferior às pastas de eucalipto, tendo aquela produzida pelo processo sulfito neutro superado a sulfato em resistência à tração e ao dobramento.

BARBADILLO (1967) apresenta um sumário dos experimentos com eucalipto levados a efeito na Espanha. E. globulus e E. camaldulensis e em menor escala E. saligna, E. syderoxyylon e E. claaphora foram testados pelos processos sulfato, sulfito neutro, NSSC, soda fria e mecânico.

Dentre os inúmeros processos utilizados na produção de celulose a partir de espécies de Eucalyptus, o processo sulfato foi o mais estudado. Além de permitir a obtenção de celulose com elevadas resistências mecânicas, os progressos tecnológicos realizados na década dos 30, possibilitando o branqueamento econômico sem perda significativa daquelas propriedades tornaram aquele processo o mais amplamente utilizado nos E. U. A., conforme assinala LIBBY (1962). Em nosso país concorreu com cerca de 90% da produção total de celulose de eucalipto de 1966, segundo LEONE e colaboradores (1969).

Além de alguns trabalhos já mencionados, KOSMÁL e GERVINKA (1958), após cozimentos experimentais concluiu que a celulose sulfato de E. marginata apresenta propriedades mecânicas inferiores àquela de "black poplar" (Populus sp.) e superiores a de "beechwood" (Fagus sp.). Afirma, ainda, que o E. marginata pode ser plantado na Europa e deve ser considerado como uma possível matéria prima para a produção de celulose para papel.

PHILLIPS e WATSON (1962) trabalhando com *E. calophylla*, *E. diversicolor* e *E. marginata* chegam à conclusão que árvores jovens dão maior rendimento na produção de celulose sulfato que árvores de maior idade. Dentre as três espécies estudadas o *E. marginata* apresentou as maiores resistências, embora inferiores à da celulose de *E. regnans*.

SRISVASTAVA e LATHUR (1964) afirmam ser possível a preparação de celulose sulfato de *E. grandis* com rendimento e resistência satisfatórios.

MYBURGH (1967) faz referência a experimentos realizados na África do Sul visando à produção de celulose sulfato a partir de eucalipto.

É interessante ressaltar que os trabalhos de pesquisas desenvolvidos com folhosas constituíram uma base tecnológica, assaz sólida, que permitiu à indústria a utilização daquelas essências em escala comercial. Assim, LYON (1960) relata que 34% de produção total de celulose de importante firma norte-americana é derivada da madeira de espécies folhosas dos gêneros *Liquidambar* e *Quercus*, obtida em grande parte pelo processo sulfato.

Observa, ainda, aquele autor, que a qualidade do papel é frequentemente melhorada com a adição de celulose de fibra curta devido ao seu maior volume específico, boa opacidade, maior lisura de superfície e melhor formação quando comparada àquela fabricada de coníferas.

Finalizando suas observações, aquele técnico destaca que através de estudos e do desenvolvimento de novas técnicas, a percentagem de resistência ao arremontamento e ao rasgo da celulose sulfato de folhosas nativas do Sul dos Estados Unidos quando comparadas àquela obtida de *Pinus* spp. da mesma região, apresentou aumentos de 38% para 87% e de 34% para 64% respectivamente. Note-se que tais progressos foram realizados ao mesmo tempo em que o grau de alvura subia de 75,4 GE para 81,2 GE.

RYDHOLM e GEDDI (1967) realizaram uma ampla investigação para determinar a celulose ideal ou a combinação de celuloses para a produção de papéis finos do ponto de vista da qualidade e da economia. Usando variantes de processos normais e uma variedade de espécies florestais desenvolveram o trabalho em condições de laboratório e através de testes em escala semi-industrial e industrial em diversas fábricas.

Dentre as matérias primas utilizadas no referido estudo incluíam-se as celuloses sulfato de Betula sp. , Liquidambar sp. , Quercus sp. e E. globulus. Este destacou-se pela qualidade do papel produzido e boa velocidade de alcançada na máquina. Concluem dizendo que a celulose do futuro para papéis finos será sulfato de eucalipto.

Os mesmos autores afirmam ter estudado outras espécies de eucalipto e que o E. saligna deu resultados equivalentes ao E. globulus.

Em nosso país, os progressos tecnológicos realizados nos últimos 20 anos permitiram alcançar resultados notáveis. Assim, KROGH e WARREN (1965) citam a fabricação de papel, em escala comercial, utilizando 100% de celulose de eucalipto. Argumentam, aqueles autores que devido ao baixo comprimento de fibra, certas precauções especiais devem ser tomadas no trabalho industrial, dentre elas a refinação de massa a consistências maiores que 4%. Finalizam dizendo que para produção de papel em alta velocidade seria necessária a adição de 20% de celulose de fibra longa.

Para se poder aquilatar integralmente as possibilidades industriais das espécies folhosas na produção de celulose e papel é conveniente a análise de algumas previsões realizadas por órgãos especializados.

Trabalho preparado pelo "STANFORD RESEARCH INSTITUTE" (1954) mostra que o aumento percentual estimado para o consumo de madeira para celulose nos Estados Unidos da América do Norte, entre os anos de 1952 e 1975, seria de 94% para toda a madeira, sendo de 67% para coníferas e 257% para folhosas.

Relatório da CEPAL (1962) aponta que a participação das folhosas na produção total de celulose, na América Latina, deverá aumentar de 22% em 1958/59 para 25% em 1965 atingindo 31% em 1975. Essas percentagens representam, em valores absolutos, 400.000 metros cúbicos de madeira em 1958-1959, 1.200.000 metros cúbicos em 1965 e 4.000.000 metros cúbicos em 1975, em volume sólido sem casca. É interessante notar que o consumo de folhosas, em menos de 20 anos, aumentará em aproximadamente 900%.



KAUSHIK e QURESHI (1969) afirmam que as plantações industriais foram agora reconhecidas como uma parte essencial da silvicultura indiana. Essas plantações têm recebido crescente atenção desde 1961-62, nos projetos das "Espécies Econômicas e de Rápido Crescimento", patrocinado pelo Governo da Índia.

Aquêles autores consideram existir diversos aspectos envolvidos no planejamento das plantações industriais, o mais importante dos quais é o seu entrosamento com as necessidades atuais e futuras das indústrias e da Nação.

De modo a atender àquela condição, destacam os autores a necessidade de ser cuidadosamente estudada a extensão e a localização das florestas artificiais. Justificam essa precaução pelo fato da madeira se constituir em matéria prima volumosa e pesada, cujos custos de corte e principalmente transporte influenciam vitalmente o custo total de produção.

Sugerem, também, como medidas prioritárias, a escolha adequada da espécie para os fins comerciais desejados, aliada a condições de clima e solo que permitam sua perfeita adaptação, de modo a ser obtido um crescimento rápido com rendimentos bastante econômicos.

Ressaltam, ainda, que a escolha das espécies deve ser norteadada por estudos sobre a qualidade de suas madeiras, tendo em vista uma ou mais utilizações.

Dentro dessa linha de idéias e face às possibilidades reconhecidas da eucaliptocultura em nosso país, estudos que envolvam a melhor utilização das espécies cultivadas devem merecer toda atenção.

Os resultados obtidos com o presente trabalho poderão apresentar subsídios a um melhor aproveitamento das extensas áreas de cerrados existentes, atendendo concomitantemente às necessidades das indústrias de celulose.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Material

O material utilizado na experimentação foi obtido de árvores das espécies E. saligna Sm , de 5 e 7 anos , E. alba Reinw , de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden , de 7 anos, retiradas de povoamentos pertencentes à Champion Celulose S. A. , em Mogi Guaçu , Estado de São Paulo. O plantio foi feito originalmente no espaçamento de 2 x 2 m .

Os naciços foram instalados em solo do tipo latosol vermelho-amarelo fase arenosa ( COMISSÃO DE SOLOS, 1960) . Situam-se a 47°07' de longitude Oeste de Greenwich e 22°11' de latitude sul, em altitude de 580 m . Com base no sistema de Kooppen , o clima é do tipo CMA , ou seja clima mesotérmico, de inverno seco, ou que a temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C .

Na preparação do material a ser trabalhado, as árvores foram derrubadas, seccionadas em toros e transformadas em cavacos em picador industrial.

#### 3.2 - Métodos

Em povoamentos de Eucalyptus saligna Sm e Eucalyptus alba Reinw, de 5 e 7 anos, foram escolhidos os talhões mais representativos no tocante ao desenvolvimento médio das espécies naquelas idades, para aquele local. O único talhão existente de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden, de 7 anos, apresentava desenvolvimento semelhante aos das outras espécies.

##### 3.2.1 - Escolha das árvores

Nos talhões escolhidos foram sorteadas 15 árvores por espécie e por idade, em 3 repetições de 5 árvores. As árvores sorteadas foram eliminadas se apresentarem bifurcações, tortuosidades, espiralizações excessivas e diâmetros (DAP) inferiores a 8 cm (limite comercial) .

### 3.2.2 - Derrubada e transporte

Após o sorteio, as árvores foram derrubadas e seccionadas em toros de 2 m de comprimento, a partir da base até um diâmetro mínimo de 8 cm. Os toros de cada repetição de 5 árvores foram imediatamente descascados, marcados e embilhados conjuntamente e transportados para a fábrica de Champion Celulose S. A.

### 3.2.3 - Obtenção dos cavacos

Os toros de 5 árvores foram postos, ao acaso, sobre a esteira rolante que alimentava um picador industrial de 200 HP.

Por três vezes o picador foi desligado, recolhendo-se, após misturar convenientemente, amostras de cavacos de uma esteira rolante. Esse procedimento possibilitou a coleta de material de todas as alturas de cada uma das 5 árvores.

Foram coletados, desse modo, para cada repetição, aproximadamente 80 kg de cavacos por espécie e por idade, isto é, por tratamento, dos quais cerca de 20 kg foram enviados ao laboratório de controle de qualidade da própria indústria para classificação de acordo com método T 16 ts - 61.

Os restantes 60 kg foram transportados para o laboratório de celulose e papel da Cadeira de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", onde, após o seu recebimento, foram colocados em tabuleiros de madeira, em condições ambientes, para sofrer breve secagem natural. A seguir foram novamente ensacados.

Antecedendo a cada cozimento, três amostras de 50 g foram retiradas dos sacos de cavacos para determinação da percentagem de umidade.

### 3.2.4 - Produção da celulose

#### 3.2.4.1 - Processo

Foi utilizado o processo químico sulfato.

### 3.2.4.2 - Condições de cozimento

Com o objetivo principal de fazer uma comparação rigorosa entre os tratamentos estudados e também de obter celulose branqueável, procurou-se trabalhar com número de permanganato igual a  $15,0 \pm 1,0$ .

Destarte, o estabelecimento das condições adiante mencionadas baseou-se naquelas utilizadas por algumas indústrias nacionais de celulose e nos trabalhos de GUHA e colaboradores (1965), HELLER (1951), KRISTOV e colaboradores (1966), OVERBECK (1968), MONSALUD e colaboradores (1965) e MAZZEI e OVERBECK (1966), e só foi possível após uma série de cozimentos preliminares. Tinha necessidade de variar a percentagem de alcali ativo e de usar temperatura máxima diferente em alguns casos.

Alcali ativo .....	12,75% a 14,00%
Sulfidez .....	25,00%
Atividade .....	88,00%
Temperatura máxima .....	165°C e 170°C
Tempo até temperatura máxima .....	120 minutos
Tempo a temperatura máxima .....	30 minutos
Relação licor: madeira .....	4 litros: 1 kg

A preocupação em utilizar faixas estreitas de variação do número de permanganato para a comparação de diversas celuloses pode ser encontrada nos trabalhos de ALGAR e colaboradores (1959), TAMOLANG e WANGAARD (1966), WANGAARD (1962), MAZZEI e OVERBECK (1966), BAREFOOT e colaboradores (1966) e ARTUZ-SIEGEL e colaboradores (1968).

As considerações de RYDQVIST (1965) e as conclusões de TODA e KIJIMA (1961) justificam também o critério adotado no presente trabalho.

#### 3.2.4.3 - Preparo do licor de cozimento

Os compostos químicos utilizados no cozimento -- hidróxido de sódio (soda cáustica) , sulfeto de sódio e carbonato de sódio (barrilha leve) -- foram conservados em soluções aquosas, armazenados separadamente em garrações. O licor era preparado na hora do cozimento em função da quantidade de madeira seca em estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  , da percentagem de álcali ativo, sulfidez e atividade, e da relação licor-madeira. Na determinação do volume final do licor de cozimento, levou-se em conta a unidade da madeira e quando necessário era adicionada água para completá-lo.

#### 3.2.4.4 - Cozimento

Os cozimentos foram conduzidos em digestor de aço inoxidável, rotativo (2.3 rpm) , de 20 litros de capacidade, aquecido eletricamente e dotado de termômetro e manômetro.

A quantidade de cavacos por cozimento foi a equivalente a 1 kg de madeira seca em estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  . Colocada a madeira, adicionava-se o licor no volume previsto e calculado fechando-se a tampa do digestor.

Foram realizados 4 cozimentos com madeira proveniente de cada lote de 5 árvores em 3 repetições, ou seja 12 cozimentos por espécie e por idade. Para os 5 tratamentos o total foi de 60 cozimentos.

Completado o cozimento, o digestor era aberto, sendo a celulose recolhida em uma caixa de madeira cujo fundo era constituído por uma tela de malhas finas. Após uma lavagem inicial o excesso de água era eliminado por compressão manual, recolhendo-se a celulose em saco plástico para pesagem.

#### 3.2.4.5 - Cálculo do rendimento bruto

O rendimento bruto foi calculado pela relação entre o peso seco de celulose não depurada e o peso seco de madeira utilizada (1 kg) e expresso em percentagem.

Para êsse cálculo se obtava o pêso úmido total de celulose e três amostras de 50 g cada uma foram secadas em estufa a  $105^{\circ}\text{C} + 3^{\circ}\text{C}$  até pêso constante. Conhecida a percentagem média de unidade da celulose, calculou-se o pêso sêco de celulose obtida no cozimento e conseqüentemente o rendimento bruto.

#### 3.2.4.6 - Depuração

Consistiu na separação dos rejeitos da celulose através de peneira de fendas com 0,2 mm de abertura.

Para a depuração a celulose bruta foi desintegrada em desintegrador padrão de 3.000 rpm por 25 minutos.

O material depurado foi armazenado úmido em sacos plásticos.

#### 3.2.4.7 - Cálculo do rendimento depurado

O rendimento depurado ou líquido foi calculado pela relação entre o pêso sêco de celulose depurada e o pêso sêco de madeira utilizada (1 kg) e expresso em percentagem.

Para seu cálculo foi determinada a percentagem de rejeitos, utilizando-se o classificador de fibras BK 6/12 tipo Brecht & Holl com peneira de fendas de 0,2 mm. Uma suspensão de fibras contendo 10 g sêca de celulose não depurada em 1,5 litros de água foi lavada durante 10 minutos à pressão de água de 0,3 atm tendo o êmbolo um curso de 12 mm.

A quantidade retida na peneira relacionada com o pêso inicial de 10 g e multiplicada por 100, expressa a percentagem de rejeitos, a qual nos permitiu determinar o pêso sêco de celulose depurada obtida no cozimento e conseqüentemente o rendimento depurado.

Dada a baixa percentagem de rejeitos encontrada para os 5 tratamentos e sua relativa semelhança, procedeu-se a determinação da mesma apenas para um cozimento por repetição dentro de cada tratamento.

### 3.2.4.8 - Determinação do número de permanganato (N. P.)

O número de permanganato é, por definição, o número de mililitros de uma solução decinormal de permanganato de potássio ( $0,1 N K_2MnO_4$ ) que reage com uma grama de celulose seca sob certas condições específicas e cuidadosamente controladas.

A determinação do N. P. foi feita de acordo com o método T 214 m-50, da TAPPI.

### 3.2.5 - Preparo de amostras para testes físico-mecânicos

#### 3.2.5.1 - Refinação

A refinação da celulose foi feita em moinho Jokro-Mühle, utilizando 15 g. secas por panela, à consistência de 56% de acordo com Merkblatt V/105 da VEREIN DER ZELLSTOFF- UND PAPIER- CHEMIKER UND - INGENIEURE (V. Z. P. C. I.). A refinação foi conduzida em 6 tempos a partir de 30 minutos e a intervalos iguais de 30 minutos, até 180 minutos.

Após o tempo de refinação preconizado, a panela era retirada do moinho e o material transferido para o desintegrador, onde se adicionava água até completar volume de dois litros. Procedia-se a uma desintegração por 5 minutos, a 2.000 rpm, e transferia-se a suspensão para o homogenizador, completando-se o volume para 3 litros.

#### 3.2.5.2 - Determinação do grau de refinação (grau Schopper-Riegler)

Para cada tempo de refinação foi determinado o grau de refinação ou grau Schopper-Riegler ( $^{\circ}SR$ ) de acordo com Merkblatt 107 da VZPCI. O grau Schopper-Riegler foi corrigido para 2 g. secas quando necessário.

### 3.2.5.3 - Formação de fôlhas

A formação de fôlhas deu-se em Formador de Fôlhas F S S/2, tipo Kothen-Rapid de dois secadores, de acordo com Merkblatt 106 da VZPCI.

Foram confeccionadas 7 fôlhas por tempo de refinação ou sejam 42 por cozimento, num total de 504 por espécie e por idade. Para os 5 tratamentos considerados, foram feitas 2.520 fôlhas.

As fôlhas, após retiradas da máquina formadora, foram numeradas para posterior identificação e acondicionadas.

### 3.2.6 - Testes físico-mecânicos

#### 3.2.6.1 - Acondicionamento

As fôlhas destinadas aos testes físico-mecânicos foram acondicionadas durante 48 horas, em ambiente climatizado, a temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $50\% \pm 2\%$ , conforme método T 220 m-60 da TAPPI.

#### 3.2.6.2 - Gramatura

A gramatura foi determinada de acordo com o método T 220 m-60 da TAPPI e expressa em  $\text{g/m}^2$ .

#### 3.2.6.3 - Dêso específico aparente

Determinação feita segundo o método T 220 m-60 da TAPPI e expressa em  $\text{g/cm}^3$ .

#### 3.2.6.4 - Resistência à tração

Determinação feita segundo métodos T 404 os-61 e T 220 m-60 da TAPPI e expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros.



### 3.2.6.5 - Resistência ao arrebentamento

Determinação feita segundo métodos T 403 ts-63 e T 220 m-60 da TAPPI e expressa pelo índice de arrebentamento.

### 3.2.6.6 - Resistência ao rasgo

Determinação feita segundo métodos T 414 ts-65 e T 220 m-60 da TAPPI, utilizando concomitantemente 7 corpos de provas e realizando 5 ensaios por conjunto, e expressa pelo índice de rasgo.

### 3.2.6.7 - Resistência ao dobramento

Determinação feita em Dobrador de Fôlhas DF/200 tipo Kohler-Holin, de garras verticais, com ângulo de flexão de  $156^{\circ}$  para cada lado, a 200 dobraduras duplas por minuto. Foi utilizado pêsso de 400 g, sendo realizadas 10 leituras por cozimento. É expressa em número de dobras duplas.

### 3.2.7 - Análise estatística dos resultados

Com base na maneira como foram feitas as observações, nos diversos tratamentos, foi realizada uma análise de variância preliminar, que obedeceu ao esquema dado no Quadro 1.

QUADRO 1 - Esquema da análise de variância de uma dada propriedade físico-mecânica, dos tratamentos estudados aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos.

Causa de Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamento (E)	4	S Q <sub>1</sub>	Q M <sub>1</sub>	Q M <sub>1</sub> /Q M <sub>4</sub>
Tempo (T)	5	S Q <sub>2</sub>	Q M <sub>2</sub>	Q M <sub>2</sub> /Q M <sub>6</sub>
Interação E x T	20	S Q <sub>3</sub>	Q M <sub>3</sub>	Q M <sub>3</sub> /Q M <sub>6</sub>
Repetição dentro de Tratamento (R/E)	10	S Q <sub>4</sub>	Q M <sub>4</sub>	Q M <sub>4</sub> /Q M <sub>4</sub>
Cozimento dentro de Tratamento dentro de Repetição (C/E/R)	45	S Q <sub>5</sub>	Q M <sub>5</sub>	Q M <sub>5</sub> /Q M <sub>7</sub>
Interação T x R/E	50	S Q <sub>6</sub>	Q M <sub>6</sub>	Q M <sub>6</sub> /Q M <sub>7</sub>
Interação T x C/E/R	225	S Q <sub>7</sub>	Q M <sub>7</sub>	
Total	359			

$$\overline{Q M} = \frac{45 \times Q M_5 + 50 \times Q M_6}{95}$$

Sendo a principal finalidade deste trabalho comparar os tratamentos em níveis preestabelecidos de grau de refinação, procedeu-se a uma análise de regressão. Esta análise foi feita com a média de 4 cozimentos nas 3 repetições em cada tratamento, ou seja com os dados que compõem o Quadro 2.

QUADRO 2 - Esquema ilustrativo da obtenção das médias utilizadas para a realização da análise de regressão para uma dada propriedade físico-mecânica em cada tratamento.

Tempos Repetição	1	2	3	4	5	6
R <sub>1</sub>	$\bar{y}_{11}$	$\bar{y}_{12}$	$\bar{y}_{13}$	$\bar{y}_{14}$	$\bar{y}_{15}$	$\bar{y}_{16}$
	$\bar{x}_{11}$	$\bar{x}_{12}$	$\bar{x}_{13}$	$\bar{x}_{14}$	$\bar{x}_{15}$	$\bar{x}_{16}$
R <sub>2</sub>	$\bar{y}_{21}$	$\bar{y}_{22}$	$\bar{y}_{23}$	$\bar{y}_{24}$	$\bar{y}_{25}$	$\bar{y}_{26}$
	$\bar{x}_{21}$	$\bar{x}_{22}$	$\bar{x}_{23}$	$\bar{x}_{24}$	$\bar{x}_{25}$	$\bar{x}_{26}$
R <sub>3</sub>	$\bar{y}_{31}$	$\bar{y}_{32}$	$\bar{y}_{33}$	$\bar{y}_{34}$	$\bar{y}_{35}$	$\bar{y}_{36}$
	$\bar{x}_{31}$	$\bar{x}_{32}$	$\bar{x}_{33}$	$\bar{x}_{34}$	$\bar{x}_{35}$	$\bar{x}_{36}$

$\bar{y}$  = média dos 4 cozimentos para uma dada propriedade físico-mecânica, num dado tratamento nas 3 repetições ;

$\bar{x}$  = grau de refinação correspondente.

Os dados do Quadro 2 foram analisados conforme mostra o Quadro 3 .

QUADRO 3 - Esquema da análise de regressão com os dados do Quadro 2 ( $\bar{y}$  = propriedade físico-mecânica ; média de 4 cozimentos nas 3 repetições ;  $\bar{x}$  = grau de refinação correspondente) realizada para uma dada propriedade físico-mecânica , em cada tratamento.

Causa de Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Entre repetição	2	--	--	---
Regressão linear	1	S Q <sub>8</sub>	Q M <sub>8</sub>	Q M <sub>8</sub> / Q M <sub>13</sub>
Regressão quadrática	1	S Q <sub>9</sub>	Q M <sub>9</sub>	Q M <sub>9</sub> / Q M <sub>13</sub>
Regressão cúbica	1	S Q <sub>10</sub>	Q M <sub>10</sub>	Q M <sub>10</sub> / Q M <sub>13</sub>
Desvios da regressão	12	S Q <sub>11</sub>	Q M <sub>11</sub>	Q M <sub>11</sub> / Q m <sub>12</sub>
Total	(17)	--	--	---
Resíduo	50	S Q <sub>12</sub>	Q M <sub>12</sub>	
Erro	62	S Q <sub>13</sub>	Q M <sub>13</sub>	

$$Q M_{13} = \frac{12 \times Q M_{11} + 50 \times Q M_{12}}{62}$$

$$Q M_{12} = \frac{Q M_6}{4}$$

Q M<sub>6</sub> : do Quadro 1

Esta análise visou determinar o tipo de equação de regressão que melhor explica a relação entre a propriedade físico-mecânica dada e o grau de refinação da celulose.

Pelo fato dos valores do grau de refinação não serem igualmente espaçados não foi possível empregar polinômios ortogonais. Por essa razão também a estimação dos parâmetros das equações foi feita empregando-se o processo geral que se resume na resolução do sistema de equações normais para um modelo matemático, isto é:  $X' X \hat{B} = X' Y$ , conforme GRAYBILL (1961).

Com base nas significâncias observadas na análise de regressão (Quadro 3) procedeu-se a:

- a - estimação dos parâmetros da equação de regressão para cada propriedade físico-mecânica em cada tratamento;
- b - estimação dos valores de  $\hat{y}$  (propriedade físico-mecânica) para os graus de refinação de 30, 45 e 60 °SR;
- c - estimação do desvio padrão dos valores de  $\hat{y}$  (propriedade físico-mecânica) aos graus de refinação de 30, 45 e 60 °SR.

Os valores de grau de refinação 30, 45 e 60 °SR foram escolhidos para a comparação dos tratamentos por representarem o início de refinação (30 °SR), um dos níveis mais comumente utilizados pela indústria (45 °SR) por aliar resistência à boa drenagem na máquina de papel e um ponto mais elevado (60 °SR) para dar uma melhor idéia da influência do desenvolvimento de interligação das fibras nas propriedades físico-mecânicas estudadas.

Para os três valores de  $\hat{y}$  referentes a 30, 45 e 60 °SR, foram determinados os intervalos de confiança da seguinte forma:

$$I. C. = \hat{Y} \pm t (5\%) s \hat{y}$$

onde  $s \hat{y}$  é o erro da estimativa de  $\hat{Y}$ .

Com base nos intervalos de confiança foi possível comparar as celuloses dos 5 tratamentos, dentro de cada teste físico-mecânico, aos valores pré-determinados de grau de refinação.

Dado a complexidade das análises tôdas, as mesmas foram realizadas com o auxílio de computador eletrônico IBM-1130-4 k, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

No caso do rendimento de celulose foi realizada uma análise da variância simples. Para estabelecer a relação do grau de refinação com o tempo de refinação foi feita uma análise de regressão utilizando-se polinômios ortogonais, uma vez que a variável tempo era igualmente espaçada.

#### 4 - RESULTADOS

##### 4.1 - Número de permanganato

O número de permanganato da celulose de todos os cozimentos realizados foi igual a  $15,0 \pm 1,0$  conforme fôra pré-estabelecido.

##### 4.2 - Gramatura

A gramatura média das folhas de celulose utilizadas na determinação dos valores básicos referentes às propriedades físico-mecânicas estudadas foi de  $59 \pm 2 \text{ g/m}^2$ .

##### 4.3 - Rendimento bruto e depurado

Os valores médios de rendimento bruto e depurado e suas respectivas análises estatísticas aparecem nos quadros de números I a III.

QUADRO I - Valores médios de 12 cozimentos, por tratamento, dos rendimentos bruto e depurado, em percentagem, para a celulose sulfato de E. saligna Sa de 5 e 7 anos, E. alba Rainw de 5 e 7 anos e E. grandis Mill ex Maiden de 7 anos.

Tratamento	Rendimento	
	bruto %	depurado %
<u>E. saligna</u> - 5 anos	54,99	54,78
<u>E. saligna</u> - 7 anos	55,36	55,07
<u>E. alba</u> - 5 anos	55,90	55,57
<u>E. alba</u> - 7 anos	53,99	53,75
<u>E. grandis</u> - 7 anos	54,63	54,36

QUADRO II - Análise da variância do rendimento bruto de celulose sulfato

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamentos	4	6,2750	0,56
Repetições dentro de Tratamentos	10	11,2480	2,21 *
Cozimento dentro de Repetições	45	5,0318	
Total	(59)		

C. V. = 4,10 %

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.



QUADRO III - Análise da variância do rendimento depurado da celulose sulfato

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamentos	4	11,1442	2,30
Erro	10	4,8516	
Total	(14)		

C. V. = 4,03 %

#### 4.4 - Grau de refinação

Os dados relativos ao grau de refinação e suas respectivas análises estatísticas aparecem nos quadros de números IV a X, sendo também apresentadas as equações de regressão determinadas para cada tratamento.

QUADRO IV - Valores do grau de refinação expresso em Grau Schopper-Riegler ( $^{\circ}$ SR) aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de *E. saligna* Su de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	29,0	46,0	51,0	74,5	80,5	85,5
2	36,0	50,0	67,5	73,5	82,5	83,5
3	32,0	48,5	63,5	71,5	79,0	86,0
4	32,5	47,0	61,0	69,0	79,0	84,5
5	32,0	45,0	61,0	70,0	82,0	86,5
6	26,0	40,0	55,0	70,5	78,5	84,0
7	30,0	43,0	60,0	80,0	82,0	87,5
8	35,0	51,0	71,0	78,5	88,0	91,0
9	36,0	52,0	69,5	78,5	86,5	86,5
10	26,5	40,5	56,5	67,5	79,5	83,5
11	36,5	56,0	67,0	81,0	89,0	89,0
12	32,0	47,0	64,0	78,0	87,0	89,0
Médias	31,96	47,17	62,25	74,46	82,79	86,37

Média geral = 64,17

QUADRO V - Valores do grau de refinação, expresso em grau Schopper-Riegler ( $^{\circ}$ SR), aos tempos de refinação, de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. saligna Sa, de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	29,0	42,0	46,0	56,5	74,5	82,0
2	25,5	32,0	43,0	55,0	65,5	77,0
3	28,0	39,0	42,0	49,0	61,0	73,5
4	26,0	40,0	48,0	69,5	79,5	83,5
5	26,0	43,0	45,0	71,0	79,0	81,0
6	24,5	47,5	47,0	73,0	71,0	80,0
7	25,0	34,0	46,5	62,0	70,0	77,0
8	29,0	39,0	52,0	67,0	77,0	84,0
9	28,0	37,0	48,0	68,0	75,5	82,0
10	27,5	38,0	54,0	71,0	79,0	83,0
11	29,0	40,5	55,0	71,0	80,0	84,5
12	31,0	42,0	58,0	68,5	80,0	85,5
Médias	27,37	39,50	48,71	65,96	74,00	81,08

Média geral = 56,10

QUADRO VI - Valores do grau de refinação, expresso em grau Schopper-Riegler (°SR), aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Rainier, de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	23,0	44,0	51,0	61,0	72,5	81,5
2	27,0	44,0	60,0	75,0	80,0	84,5
3	28,0	43,5	51,0	70,5	80,5	81,5
4	30,0	46,0	64,0	72,0	79,5	85,5
5	29,0	41,0	53,0	65,0	77,0	85,0
6	31,0	44,0	60,0	74,5	82,5	87,5
7	32,0	46,0	61,0	73,0	80,5	84,5
8	31,0	46,0	60,0	72,5	80,5	87,5
9	29,5	40,0	52,0	61,0	72,0	80,0
10	33,5	45,5	62,0	73,0	81,0	86,0
11	30,0	44,0	61,0	74,5	83,5	88,5
12	33,0	49,0	65,5	75,5	86,0	89,0
Médias	29,75	44,42	58,37	70,62	79,62	85,08

Média geral = 61,31

QUADRO VII - Valores do grau de refinação, expresso em grau Schopper-Riegler ( $^{\circ}$ SR) aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Reintz, de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	23,0	31,0	43,0	52,0	65,5	77,5
2	25,0	39,0	47,0	59,0	72,0	80,0
3	21,0	30,0	44,0	49,0	65,5	77,5
4	22,0	30,0	39,0	47,0	62,0	73,5
5	28,0	38,0	54,0	69,0	76,5	82,0
6	32,5	39,5	57,0	77,0	84,0	83,0
7	26,5	52,0	52,5	77,0	83,0	84,0
8	27,0	40,0	53,0	67,0	77,0	83,0
9	28,0	40,5	54,0	68,0	76,5	84,5
10	28,0	38,0	51,0	64,0	74,0	81,0
11	30,0	43,0	62,0	73,5	84,5	86,5
12	28,0	40,0	55,0	68,5	76,5	82,5
Médias	26,58	38,42	51,37	64,25	74,92	81,25

Média geral = 56,13

QUADRO VIII - Valores do grau de refinação, expresso em grau Schopper-Riegler ( $^{\circ}$ SR), aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de *E. grandis* Mill ex Maiden, de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	30,0	45,0	59,0	72,5	80,5	83,5
2	30,0	43,0	59,0	72,0	79,5	84,0
3	29,5	42,5	57,0	69,5	77,5	82,5
4	29,5	42,5	57,5	68,5	80,5	82,5
5	35,0	49,0	66,5	77,5	86,0	91,0
6	32,0	48,0	64,0	75,5	85,5	90,0
7	32,0	47,0	64,5	75,5	85,5	89,5
8	32,0	48,0	66,0	78,0	86,0	91,0
9	34,0	51,0	68,5	77,5	85,5	83,5
10	26,0	47,0	54,0	77,5	84,5	83,5
11	25,0	36,0	51,0	66,0	78,5	85,0
12	31,0	49,0	66,5	79,0	87,0	90,0
Médias	30,50	45,67	61,12	74,08	83,04	86,33

Média geral = 63,46

QUADRO IX - Análise da variância do grau de refinação, expresso em grau Schopper-Riegler ( $^{\circ}$ SR), de celulose sulfato das espécies *E. saligna* Su de 5 e 7 anos, *E. alba* Reinw de 5 e 7 anos e *E. grandis* Hill ex Maiden de 7 anos, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos.

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamentos (E)	4	274,12	3,81 *
Repetições dentro de Tratamentos	10	71,93	
Tempos (T)	5	6.834,71	1.667,41 **
Interação E x T	20	6,93	1,89 *
Erro	50	3,66	
Total	89		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

d.m.s. (Tukey) 5% (para as médias gerais dos tratamentos) = 9,32

d.m.s. (Tukey) 5% (para as médias em cada tempo de refinação) = 4,43

QUADRO X - Análise de regressão relacionando grau de refinação, expresso em grau Schopper-Riegler ( $^{\circ}$ SR), com tempo de refinação, dentro de cada tratamento. Valores de F relativos aos efeitos linear, quadrático, cúbico e aos desvios da regressão e respectivas significâncias e coeficientes de variação.

Causa de Variação	G. L.	T r a t a m e n t o s				
		S <sub>5</sub>	S <sub>7</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>7</sub>	G <sub>7</sub>
Regressão Linear	1	1.791,73**	1.774,79**	1.822,55**	1.833,41**	1.913,34**
Regressão quadrática	1	70,72**	8,71*	42,34**	13,12*	71,12**
Regressão cúbica	1	3,11	8,01*	1,61	5,17	5,35
Desvios da regressão	2	0,0563	4,80	0,0129	0,0133	0,0218
Coefficiente de Variação		2,98%	3,41%	3,12%	3,41%	3,01%

S<sub>5</sub> - E. saligna , 5 anos

A<sub>5</sub> - E. alba , 5 anos

S<sub>7</sub> - E. saligna , 7 anos

A<sub>7</sub> - E. alba , 7 anos

G<sub>7</sub> - E. grandis , 7 anos

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade



Equações para grau de refinação expresso em grau Schopper-Riegler (°SR) , para os 5 tratamentos (referentes à média de suas repetições) .

I - E. saligna - 5 anos

$$\hat{Y} = 10,6601 + 0,7270 x - 0,001688 x^2$$

II - E. saligna - 7 anos

$$\hat{Y} = 12,1901 + 0,4953 x - 0,0005928 x^2$$

III - E. alba - 5 anos

$$\hat{Y} = 10,8820 + 0,6497 x - 0,001307 x^2$$

IV - E. alba - 7 anos

$$\hat{Y} = 10,4490 + 0,5296 x - 0,0007276 x^2$$

V - E. grandis - 7 anos

$$\hat{Y} = 9,8126 + 0,7407 x - 0,001694 x^2$$

$\hat{Y}$  = valor estimado do grau de refinação para um dado tratamento

x = tempo de refinação

#### 4.5 - Resistência à tração

Os dados relativos à resistência à tração e suas respectivas análises estatísticas aparecem nos quadros de números XI a XVIII, sendo também apresentadas as equações de regressão determinadas para cada tratamento.

QUADRO XI - Valores da resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros, nos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de *P. saligna* Sa, de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	10.300	12.000	12.830	13.270	13.210	13.480
2	11.420	12.230	13.770	14.110	14.910	14.260
3	10.720	12.680	12.080	11.860	13.050	12.170
4	8.710	9.670	10.850	11.280	11.820	11.160
5	11.570	12.350	13.000	14.090	13.870	12.660
6	13.310	13.330	14.270	15.830	15.380	15.490
7	11.590	12.760	13.480	14.840	14.420	15.050
8	12.510	13.600	14.410	15.550	14.840	14.540
9	11.190	13.070	13.210	14.020	14.740	14.830
10	10.450	12.480	13.070	11.660	12.620	12.230
11	12.020	13.350	14.030	14.970	14.810	13.310
12	11.130	12.590	13.230	14.000	14.670	14.050
Médias	11.243	12.551	13.402	13.790	14.028	13.602

QUADRO XIII - Valores da resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos, para celulose sulfato de *B. saligna* Sm de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	9.370	12.050	12.030	13.490	12.730	13.800
2	9.370	10.190	11.530	11.430	12.070	12.090
3	9.150	9.610	10.860	10.700	11.030	12.330
4	9.060	10.560	11.020	12.530	12.250	13.230
5	9.200	11.150	11.530	12.660	12.650	12.410
6	9.520	11.630	10.110	12.660	11.850	12.370
7	9.310	9.440	10.750	11.200	11.490	12.090
8	9.970	11.690	10.960	12.060	13.210	13.160
9	10.550	11.280	11.600	12.850	13.430	12.730
10	10.330	11.170	12.190	12.770	13.560	13.810
11	10.720	11.810	12.350	12.940	13.780	13.490
12	10.370	11.330	12.610	14.020	14.530	14.690
Médias	9.743	10.992	11.462	12.446	12.715	13.017

QUADRO XIII - Valores da resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Reino de 5 anos.

Comimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	9.570	11.280	10.520	11.270	11.790	13.340
2	9.770	10.940	12.160	12.160	12.690	12.650
3	10.440	12.210	12.140	12.450	13.960	14.010
4	10.410	11.090	11.310	13.530	13.190	12.970
5	8.680	9.780	10.150	10.550	11.120	11.270
6	8.560	9.680	10.240	11.090	11.300	11.090
7	8.690	10.030	10.490	10.530	11.680	11.440
8	8.310	9.370	9.770	11.110	11.120	10.860
9	9.350	11.420	11.890	11.930	12.530	13.590
10	10.890	12.870	12.800	13.130	13.730	14.180
11	10.560	12.370	12.830	13.390	14.110	14.050
12	10.760	12.110	12.690	12.380	12.510	13.320
Médias :	9.665	11.100	11.458	11.960	12.484	12.731

QUADRO XIV - Valores da resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Reinv. de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	9.390	11.390	11.730	11.730	11.940	12.730
2	9.140	11.230	10.770	11.200	13.010	11.970
3	8.640	9.730	11.130	11.380	11.030	12.870
4	9.500	9.680	11.350	11.600	11.800	11.740
5	8.430	8.930	10.040	10.830	10.950	11.450
6	9.010	9.400	9.710	11.500	11.130	12.030
7	8.830	10.900	10.140	12.040	12.210	11.770
8	9.730	10.480	10.630	13.090	11.100	11.760
9	8.590	9.610	11.000	10.050	10.990	11.770
10	7.370	8.340	9.230	10.030	10.200	10.750
11	8.390	9.370	10.410	10.880	11.760	11.150
12	8.580	9.950	11.080	11.560	12.410	12.030
Médias	8.800	9.918	10.602	11.324	11.544	11.835

QUADRO XV - Valores da resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em metros, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose de E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	9.370	10.380	12.250	11.920	12.600	12.230
2	9.980	10.540	11.600	12.340	12.960	13.310
3	10.130	11.850	12.030	12.090	11.690	13.160
4	8.880	9.820	10.850	12.070	11.960	12.730
5	11.970	13.410	12.340	13.350	13.850	13.670
6	11.810	12.130	12.970	14.360	14.510	13.760
7	12.130	12.350	12.970	13.940	13.640	14.170
8	10.950	11.920	13.040	13.930	14.020	12.570
9	11.410	12.000	13.270	13.620	13.260	14.430
10	10.290	11.970	11.870	13.060	14.470	13.110
11	10.070	10.800	11.850	11.750	12.550	14.100
12	9.800	13.070	12.840	13.690	14.250	13.400
Médias	10.566	11.687	12.407	13.010	13.313	13.387

QUADRO XVI - Análise da variância da resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos.

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamento (E)	4	58.050.704	3,72 *
Tempo (T)	5	75.163.456	243,86 ***
Interação E x T	20	345.030	1,12
Repetições dentro de Tratamento (R/E)	10	15.623.610	13,58 ***
Cozimento dentro de Tratamento dentro de Repetições (C/E/R)	45	2.085.296	8,40 ***
Interação T x R/E	50	308.225	1,24
Interação T x C/E/R	225	248.266	
Total	359		

\*\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade



QUADRO XVII - Análise da regressão relacionando resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, com grau de refinação, dentro de cada tratamento. Valores de F relativos aos efeitos linear, quadrático, cúbico e aos desvios da regressão e respectivas significâncias e coeficientes de variação.

Causa de Variação	G. L.	T r a t a m e n t o s				
		S <sub>5</sub>	S <sub>7</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>7</sub>	G <sub>7</sub>
Regressão Linear	1	179,46**	301,46**	247,04**	242,83**	232,90**
Regressão Quadrática	1	12,73**	6,46**	3,43	6,90*	4,25*
Regressão Cúbica	1	0,39	0,37	4,54*	0,00005	0,006
Desvios da Regressão	12	1,26	0,85	0,66	1,14	1,16
Coefficiente de Variação		2,18%	2,33%	2,32%	2,64%	2,26%

S<sub>5</sub> - *E. saligna*, 5 anos

A<sub>5</sub> - *E. alba*, 5 anos

S<sub>7</sub> - *E. saligna*, 7 anos

A<sub>7</sub> - *E. alba*, 7 anos

G<sub>7</sub> - *E. grandis*, 7 anos

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Equações para a resistência à tração expressa pelo comprimento de auto-ruptura para os 5 tratamentos (referentes à média de suas repetições).

I - E. saligna - 5 anos

$$\hat{Y} = 13.262,74 + 41,191767 (x - 64,17) - 0,556376 (x - 64,17)^2$$

II - E. saligna - 7 anos

$$\hat{Y} = 11.375,82 + 56,930700 (x - 56,10) - 0,400998 (x - 56,10)^2$$

III - E. alba - 5 anos

$$\hat{Y} = 11.365,88 + 34,999203 (x - 61,31) - 0,158252 (x - 61,31)^2 + 0,022332 (x - 61,31)^3$$

IV - E. alba - 7 anos

$$\hat{Y} = 10.917,78 + 50,604797 (x - 56,13) - 0,649220 (x - 56,13)^2$$

V - E. grandis - 7 anos

$$\hat{Y} = 12.512,26 + 46,736192 (x - 63,46) - 0,289811 (x - 63,46)^2$$

$\hat{Y}$  = valor estimado do comprimento de auto-ruptura em metros

x = grau de refinação

QUADRO XVIII.a - Valores estimados da resistência à tração da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 30 °SR, expressa pelo comprimento de auto-ruptura e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Valor do comprimento de auto-ruptura (m)	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	11.205,57	10.853,74 - 11.557,39	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	10.116,77	9.873,71 - 10.359,83	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	9.750,50	9.452,49 - 10.048,50	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	9.152,22	8.912,49 - 9.391,95	-.-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	10.624,01	10.306,24 - 10.941,77	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>

QUADRO XVIII.b - Valores estimados da resistência à tração da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 45 °SR, expressa pelo comprimento de auto-ruptura e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Valor do comprimento de auto-ruptura (m)	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	12.268,62	12.063,14 - 12.474,10	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	11.194,48	10.995,48 - 11.393,48	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	10.976,20	10.706,16 - 11.246,24	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	10.274,13	10.072,98 - 10.475,28	-.-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	11.550,75	11.345,81 - 11.755,69	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>

QUADRO XVIII.c - Valores estimados da resistência à tração da celulose sulfato das espécies *E. saligna* Sm de 5 e 7 anos, *E. alba* Reinw de 5 e 7 anos e *E. grandis* Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 60 °SR, expressa pelo comprimento de auto-ruptura e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Valor do comprimento de auto-ruptura (m)	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações <sup>(1)</sup>
<i>E. saligna</i> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	13.081,30	12.851,99 - 13.310,61	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , G <sub>7</sub>
<i>E. saligna</i> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	12.091,75	11.884,66 - 12.298,84	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>
<i>E. alba</i> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	11.639,71	11.430,52 - 11.848,90	A <sub>7</sub>
<i>E. alba</i> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	11.103,90	10.898,07 - 11.309,73	-.-
<i>E. grandis</i> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	12.347,08	12.119,15 - 12.575,01	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>

(1) Observações: tratamentos cujos intervalos de confiança não se sobrepõem ao correspondente da linha.

#### 4.6 - Resistência ao arrebentamento

Os dados relativos à resistência ao arrebentamento e suas respectivas análises estatísticas aparecem nos quadros de números XIX a XXVI, sendo também apresentadas as equações de regressão determinadas para cada tratamento.

QUADRO XIX - Valores da resistência ao arrebatamento, expressa pelo índice de arrebatamento, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de L. saligna Sm. de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	62,8	77,2	74,1	73,8	85,3	87,7
2	70,2	79,6	85,6	87,8	85,8	93,5
3	65,0	72,9	76,1	76,4	83,4	86,8
4	56,4	64,0	67,5	69,7	72,0	74,3
5	80,9	83,4	88,3	88,4	89,7	91,2
6	87,2	88,9	99,0	98,6	95,8	101,2
7	77,2	89,4	89,3	101,8	106,7	98,8
8	86,1	91,7	97,1	95,8	100,3	99,7
9	74,8	94,8	91,9	98,0	98,1	91,6
10	65,3	75,9	82,8	80,6	79,6	81,0
11	75,6	87,0	89,0	94,8	101,1	98,1
12	69,1	77,7	85,7	86,5	98,6	100,5
Médias	72,6	81,9	85,5	87,8	91,4	91,9

QUADRO XXI - Valores da resistência ao arrebentamento, expressa pelo índice de arrebentamento, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para calulose sulfato de *E. saligna* Sm de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	66,5	72,9	73,4	77,9	80,5	85,7
2	58,9	62,3	68,1	70,0	72,9	74,0
3	55,5	55,3	62,1	65,2	72,1	75,5
4	54,0	64,4	68,3	69,5	79,8	85,6
5	60,6	81,5	79,7	87,6	98,2	95,2
6	67,0	84,6	70,2	93,8	93,5	93,9
7	64,3	73,0	77,7	79,7	88,0	90,0
8	68,4	74,0	79,3	84,9	86,1	82,9
9	65,7	77,0	79,4	90,6	87,6	98,5
10	72,0	79,4	81,1	89,4	95,7	96,8
11	72,2	76,2	86,7	90,4	94,3	98,2
12	74,9	83,7	92,3	96,2	105,5	107,7
Médias	65,0	73,7	76,5	82,9	87,8	90,3

QUADRO XIII - Valores da resistência ao arrebatamento, expressa pelo índice de arrebatamento, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Reinw de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	54,5	68,5	69,6	74,9	75,6	82,2
2	54,8	62,1	76,9	76,3	77,0	82,3
3	61,4	70,1	72,1	81,4	88,0	83,7
4	57,1	72,2	72,4	80,5	85,5	82,8
5	59,3	68,7	74,4	73,4	78,1	83,8
6	60,6	70,7	73,7	77,5	84,5	78,2
7	59,8	65,1	69,0	69,8	81,0	77,0
8	51,5	62,4	68,1	68,4	77,4	80,0
9	54,0	74,7	76,0	76,0	78,8	82,3
10	72,4	82,2	83,8	87,3	90,7	97,0
11	65,6	85,7	86,7	96,0	98,6	98,1
12	68,8	82,3	78,4	81,4	87,9	92,8
Médias	60,0	72,1	75,6	78,7	82,6	85,0

QUADRO XIII - Valores da resistência ao arrebentamento, expressa pelo índice de arrebentamento, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	57,0	69,4	68,2	71,6	74,7	83,9
2	54,2	60,6	68,1	70,4	74,4	76,0
3	52,2	55,2	66,5	67,5	73,3	84,0
4	54,3	55,9	66,9	70,8	71,5	73,6
5	56,1	65,8	71,5	72,3	79,1	76,0
6	65,9	60,0	73,4	78,6	76,9	91,5
7	52,7	70,0	72,6	90,0	91,6	86,6
8	61,7	73,4	78,2	85,8	71,9	82,7
9	52,2	59,5	65,5	67,6	72,9	79,8
10	43,4	52,1	62,0	64,0	70,0	75,9
11	49,3	62,2	71,7	71,8	84,0	82,5
12	50,4	63,8	68,4	77,6	82,9	92,4
Médias	54,1	62,3	69,0	74,0	77,0	82,1



QUADRO XXXIII - Valores da resistência ao arrebentamento, expressa pelo índice de arrebentamento, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos, para celulose sulfato de E. Grandis Hill ex linden de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	58,5	76,6	75,9	82,9	85,1	94,1
2	65,9	69,7	74,2	81,0	85,7	86,5
3	64,0	78,7	75,9	72,7	85,1	88,6
4	61,3	71,0	81,2	87,3	88,7	92,5
5	73,0	84,6	83,6	88,6	96,6	98,0
6	70,7	75,8	74,8	84,4	90,3	96,0
7	78,6	84,7	82,8	83,8	91,2	94,2
8	69,5	74,4	82,4	83,7	89,5	94,6
9	69,3	80,0	79,5	84,0	86,1	88,7
10	62,7	75,1	76,8	90,1	93,4	90,1
11	58,5	68,2	70,5	75,2	80,7	88,0
12	68,0	76,1	75,5	87,7	90,2	93,7
Médias	66,7	76,2	77,8	83,4	88,5	92,1

QUADRO XXIV - Análise da variância da resistência ao arrebetamento, expressa pelo índice de arrebetamento, da celulose sulfato das espécies *E. saligna* Sm de 5 e 7 anos, *E. alba* Reinw de 5 e 7 anos e *E. grandis* Hill ex Maiden de 7 anos aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos.

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamento (E)	4	2.406,66	2,38
Tempo (T)	5	4.862,53	289,09 **
Interação E x T	20	30,97	1,84
Repetições dentro de Tratamento (R/E)	10	1.013,14	16,55 **
Cozimento dentro de Tratamento dentro de Repetições (C/E/R)	45	110,51	8,42 **
Interação T x R/E	50	16,82	1,28
Interação T x C/E/R	225	13,13	
Total	359		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

QUADRO XXV - Análise de regressão relacionando resistência ao arrebentamento, expressa pelo índice de arrebentamento, com grau de refinação, dentro de cada tratamento. Valores de F relativos aos efeitos linear, quadrático, cúbico e aos desvios de regressão e respectivas significâncias e coeficientes de variação.

Causa de Variação	G. L.	T r a t a m e n t o s				
		S <sub>5</sub>	S <sub>7</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>7</sub>	G <sub>7</sub>
Regressão Linear	1	184,68***	345,71**	290,41**	372,45**	298,58**
Regressão Qua- drática	1	4,47*	1,74	6,22*	3,04	1,30
Regressão Cúbica	1	2,32	2,89	6,22*	2,09	8,30*
Desvios da Regres- são	12	0,81	0,68	0,87	0,97	0,83
Coefficiente de Variação		2,36%	2,50%	2,67%	2,93%	2,49%

S<sub>5</sub> - E. saligna , 5 anos

A<sub>5</sub> - E. alba , 5 anos

S<sub>7</sub> - E. saligna , 7 anos

A<sub>7</sub> - E. alba , 7 anos

G<sub>7</sub> - E. grandis , 7 anos

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Equações para a resistência ao arrebatamento, expressa pelo índice de arrebatamento, para os 5 tratamentos (referentes à média de suas repetições).

I - E. saligna - 5 anos

$$\hat{Y} = 85,499002 + 0,322770 (x - 64,17) - 0,000901 (x - 64,17)^2$$

II - E. saligna - 7 anos

$$\hat{Y} = 79,400754 + 0,452812 (x - 56,10)$$

III - E. alba - 5 anos

$$\hat{Y} = 76,895557 + 0,222791 (x - 61,31) - 0,000868 (x - 61,31)^2 + \\ + 0,000282 (x - 61,31)^3$$

IV - E. alba - 7 anos

$$\hat{Y} = 69,755555 + 0,476378 (x - 56,13)$$

V - E. grandis - 7 anos

$$\hat{Y} = 79,054587 + 0,246115 (x - 63,46) + 0,006923 (x - 63,46)^2 + \\ + 0,000310 (x - 63,46)^3$$

$\hat{Y}$  = valor estimado do índice de arrebatamento

x = grau de refinação

QUADRO XXVI.a - Valores estimados da resistência ao arrebetamento da celulose sulfato das espécies *E. saligna* Sm de 5 e 7 anos, *E. alba* Reinw de 5 e 7 anos e *E. grandis* Hill ex Maiden, de 7 anos, ao grau de refinação de 30<sup>o</sup>SR, expressa pelo índice de arrebetamento e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Índice de arrebetamento	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações <sup>(1)</sup>
<i>E. saligna</i> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	73,42	70,93 - 75,91	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , G <sub>7</sub>
<i>E. saligna</i> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	67,58	66,00 - 69,16	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>
<i>E. alba</i> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	59,83	57,58 - 62,08	.-
<i>E. alba</i> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	57,31	55,70 - 58,92	.-
<i>E. grandis</i> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	67,31	64,91 - 69,71	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>

QUADRO XXVI.b - Valores estimados da resistência ao arrebetamento da celulose sulfato das espécies *E. saligna* Sm de 5 e 7 anos, *E. alba* Reinw de 5 e 7 anos e *E. grandis* Hill ex Maiden, de 7 anos, ao grau de refinação de 45<sup>o</sup>SR, expressa pelo índice de arrebetamento e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Índice de arrebetamento	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações <sup>(1)</sup>
<i>E. saligna</i> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	78,98	77,53 - 80,43	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , G <sub>7</sub>
<i>E. saligna</i> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	74,37	73,29 - 75,45	(A <sub>5</sub> ), A <sub>7</sub>
<i>E. alba</i> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	71,72	69,68 - 73,76	A <sub>7</sub>
<i>E. alba</i> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	64,45	63,34 - 65,56	.-
<i>E. grandis</i> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	74,97	72,88 - 77,06	A <sub>7</sub>

QUADRO XXVI.c - Valores estimados da resistência ao arrebatamento da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Rainw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 60 °SR, expressa pelo índice de arrebatamento e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Índice de arrebatamento	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	84,14	82,52 - 85,76	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	81,87	80,22 - 82,12	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	76,60	75,02 - 76,18	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	71,60	70,62 - 72,58	-.-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	76,27	76,64 - 79,90	A <sub>7</sub>

(1) Observações: tratamentos cujos intervalos de confiança não se sobrepõem ao correspondente da linha.

#### 4.7 - Resistência ao rasgo

Os dados relativos à resistência ao rasgo e suas respectivas análises estatísticas aparecem nos quadros de números XXVII a XXXIV, sendo também apresentadas as equações de regressão determinadas para cada tratamento.

QUADRO XXVII - Valores da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, aos tempos de refinagão de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de *E. saligna* Sm de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	109,9	138,7	150,3	122,0	128,6	106,5
2	153,4	127,8	133,4	121,5	109,7	107,3
3	129,7	126,9	122,7	122,4	114,1	111,6
4	122,8	132,0	153,1	131,2	126,0	119,5
5	87,5	90,2	89,3	91,5	84,8	71,3
6	120,2	107,6	104,2	104,0	99,6	96,3
7	127,5	130,0	120,3	114,4	106,8	85,0
8	124,4	122,3	118,3	116,6	97,0	69,6
9	142,8	128,7	126,1	128,7	112,7	105,3
10	135,4	154,0	137,5	140,1	122,1	105,3
11	137,0	123,1	127,8	121,2	92,8	89,1
12	121,3	126,0	127,7	116,1	102,8	76,6
Médias	126,0	125,6	125,9	119,1	108,2	95,3

QUADRO XXVIII -- Valôres da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de D. saligna Sm de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	141,1	133,9	126,9	126,9	122,7	115,7
2	135,4	125,7	126,8	123,0	131,5	128,7
3	120,4	123,7	135,0	124,5	118,3	142,7
4	114,4	135,1	125,7	135,5	147,3	110,4
5	105,7	121,1	119,8	116,8	105,3	106,8
6	111,5	116,1	109,4	120,6	114,3	111,0
7	104,7	122,5	119,9	118,5	113,2	113,6
8	124,5	113,5	120,4	117,6	105,8	96,9
9	130,9	124,7	142,6	129,9	119,1	109,9
10	145,3	137,6	134,4	130,9	124,2	111,4
11	134,3	138,7	133,4	123,3	112,4	106,7
12	149,0	148,5	141,2	126,7	125,0	108,5
Médias	126,4	128,4	128,0	124,7	120,0	113,5



QUADRO XXIX - Valores da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Reinw de 5 anos

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	113,2	120,4	124,5	145,4	133,6	125,0
2	120,7	147,8	120,4	118,8	116,0	101,5
3	151,2	118,9	129,5	124,6	113,1	118,3
4	125,2	118,9	116,9	123,2	112,7	99,5
5	102,4	125,2	123,0	123,8	114,9	109,2
6	105,8	122,7	113,0	106,9	104,2	84,0
7	111,1	117,5	113,5	115,0	111,2	99,7
8	105,5	117,2	115,1	115,5	106,7	95,0
9	114,7	107,3	111,4	121,2	109,2	100,7
10	111,2	114,4	120,6	112,0	107,2	101,5
11	113,4	120,7	120,8	120,4	106,9	100,8
12	120,9	125,7	117,2	133,9	113,4	90,9
Médias	116,3	121,4	118,8	121,7	112,4	102,8

QUADRO XXXI - Valores da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Rainw de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	111,4	139,1	125,3	136,4	120,3	124,0
2	94,7	126,0	127,4	129,6	125,0	131,2
3	112,9	108,5	120,7	139,1	140,9	119,4
4	113,5	139,1	138,5	139,3	125,4	124,6
5	111,5	132,7	147,9	147,9	135,4	125,4
6	119,9	133,7	143,9	139,1	120,3	118,7
7	120,0	131,3	124,2	125,9	122,7	121,8
8	91,3	142,9	137,2	127,6	123,6	118,1
9	108,4	111,7	130,6	127,6	129,4	123,6
10	87,8	106,7	131,1	129,9	125,0	118,7
11	109,3	121,0	124,7	131,7	125,2	112,0
12	118,5	143,2	134,5	133,5	126,6	122,8
Médias	108,3	128,0	132,2	134,0	126,6	121,7

QUADRO XXXI - Valores da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de *E. grandis* Hill ex Maiden de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	113,4	111,9	109,7	110,8	106,3	101,4
2	114,0	120,0	125,7	122,8	122,9	108,9
3	120,0	123,9	127,4	120,8	110,8	108,7
4	110,0	125,3	130,2	115,4	106,8	102,9
5	101,8	97,9	92,3	84,6	84,3	69,3
6	92,3	93,1	94,9	92,6	89,9	72,6
7	92,2	86,9	97,8	87,2	80,0	74,8
8	84,3	83,1	91,2	87,5	75,3	73,6
9	155,3	140,1	137,9	135,1	123,9	133,0
10	125,6	139,4	147,8	133,4	125,7	122,7
11	124,0	160,6	135,6	135,3	140,2	121,2
12	164,5	168,4	148,2	138,5	114,5	103,1
Médias	116,4	120,9	119,9	113,7	106,7	99,3

QUADRO XXXIII - Análise da variância da resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, da celulose sulfato das espécies *B. saligna* Su de 5 e 7 anos, *B. alba* Reinw de 5 e 7 anos e *B. grandis* Mill ex Maiden de 7 anos, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos.

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamento (E)	4	2.024,10	0,48
Tempo (T)	5	3.070,35	36,85 **
Interação E x T	20	427,04	5,12 **
Repetições dentro do Tratamento (R/E)	10	4.235,51	34,13 **
Cozimento dentro do Tratamento dentro de Repetições (C/E/T)	45	169,44	2,36 **
Interação T x R/E	50	83,32	1,16
Interação T x C/E/R	225	71,94	
Total	359		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

QUADRO XXIII - Análise da regressão relacionando resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, com grau de refinação, dentro de cada tratamento. Valores de F relativos aos efeitos linear, quadrático, cúbico e aos desvios da regressão e respectivas significâncias e coeficientes de variação.

Causa de Variação	G. L.	T r a t a m e n t o s				
		S <sub>5</sub>	S <sub>7</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>7</sub>	G <sub>7</sub>
Regressão Linear	1	72,00**	14,95**	13,19**	11,85**	30,85**
Regressão Quadrática	1	28,38**	5,83*	19,40**	45,72**	20,64**
Regressão Cúbica	1	8,14**	0,85	3,77	1,29	1,30
Desvios da Regressão	12	1,16	1,54	0,65	0,89	0,71
Coeficientes de Variação		3,97%	3,89%	3,81%	3,61%	3,93%

S<sub>5</sub> - E. saligna , 5 anos

A<sub>5</sub> - E. alba , 5 anos

S<sub>7</sub> - E. saligna , 7 anos

A<sub>7</sub> - E. alba , 7 anos

G<sub>7</sub> - E. grandis , 7 anos

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Equações para a resistência ao rasgo, expressa pelo índice de rasgo, para os 5 tratamentos (referentes à média de suas repetições) .

I - E. saligna - 5 anos

$$\hat{Y} = 125,437401 - 0,676555 (x - 64,17) - 0,022976 (x - 64,17)^2$$

II - E. saligna - 7 anos

$$\hat{Y} = 127,368897 - 0,261911 (x - 56,10) - 0,010521 (x - 56,10)^2$$

III - E. alba - 5 anos

$$\hat{Y} = 212,272639 - 0,299830 (x - 61,31) - 0,015120 (x - 61,31)^2$$

IV - E. alba - 7 anos

$$\hat{Y} = 134,179291 + 0,102229 (x - 56,13) - 0,023775 (x - 56,13)^2$$

V - E. grandis - 7 anos

$$\hat{Y} = 119,134287 - 0,421836 (x - 63,46) - 0,015559 (x - 63,46)^2$$

$\hat{Y}$  = valor estimado do índice de rasgo

x = grau de refinação

QUADRO XXXIV.a - Valores estimados da resistência ao rasgo, da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 30 °SR, expressa pelo índice de rasgo e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Índice de rasgo	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	121,73	116,00 - 127,46	-.-
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	127,05	122,79 - 131,31	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	115,86	111,13 - 120,59	-.-
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	115,26	111,42 - 119,10	-.-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	115,78	110,79 - 120,77	-.-

QUADRO XXXIV.b - Valores estimados da resistência ao rasgo da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 45 °SR, expressa pelo índice de rasgo e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Índice de rasgo	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	129,96	126,61 - 133,31	A <sub>5</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	128,98	125,49 - 132,47	A <sub>5</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	122,14	119,00 - 125,28	-.-
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	130,09	126,86 - 133,32	A <sub>5</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	121,60	118,39 - 124,81	-.-

QUADRO XXXIV.c - Valôres estimados da resistênciã ao rasgo da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 60<sup>o</sup>SR, expressa pelo índice de rasgo e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Índice de rasgo	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	127,86	124,12 - 131,60	G <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	126,19	122,56 - 129,82	.-.
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	121,64	118,25 - 125,03	.-.
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	134,22	130,92 - 137,52	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , G <sub>7</sub>
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	120,41	116,83 - 123,99	.-.

(1) Observações: tratamentos cujos intervalos de confiança não se sobrepõem ao correspondente da linha.

#### 4.8 - Resistência ao dobramento

Os dados relativos à resistênciã ao dobramento e suas respectivas análises de variância aparecem nos quadros de números XXXV a XLII, sendo também apresentadas as equações de regressão determinadas para cada tratamento.



QUADRO XXIV - Valores da resistência ao dobramento expressa em número de dobras duplas, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. saligna, Sm de 5 anos.

Cozimento Número	Tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	410	1.440	1.220	2.080	2.680	2.790
2	1.010	1.340	2.440	2.410	2.800	4.420
3	610	1.750	1.550	2.250	2.650	3.140
4	610	1.200	2.070	3.260	3.900	4.830
5	1.700	1.640	1.630	2.570	2.290	2.910
6	1.170	1.410	2.130	1.950	2.380	2.900
7	1.040	1.650	2.470	3.410	2.770	3.050
8	1.470	1.720	2.030	2.610	3.850	4.900
9	1.410	2.510	2.560	2.520	3.070	4.380
10	420	1.210	2.160	2.560	3.010	3.310
11	1.320	1.320	2.170	2.810	3.570	3.680
12	1.030	1.840	2.170	3.050	4.100	4.870
Médias	1.033	1.669	2.050	2.540	3.096	3.765

QUADRO XXVI - Valores da resistência ao dobramento expressa em número de dobras duplas, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de L. saligna, Sm de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	560	1.310	1.130	2.180	2.760	3.740
2	220	550	1.050	1.200	1.730	2.290
3	250	330	630	1.100	1.710	2.040
4	170	810	870	1.890	2.520	3.440
5	350	1.000	950	1.830	1.930	1.870
6	330	1.360	1.090	1.930	1.560	2.360
7	230	550	850	1.280	1.790	1.970
8	350	660	1.330	1.780	2.440	2.300
9	480	1.070	1.250	2.820	2.360	2.550
10	610	1.110	1.930	2.260	2.660	2.680
11	520	1.100	1.790	2.170	2.410	3.040
12	550	1.190	1.990	2.790	2.970	4.520
Médias	385	922	1.238	1.940	2.236	2.733

QUADRO XLVII - Valores da resistência ao dobramento expressa em número de dobras duplas, aos tempos de refinação de 30 a 150 minutos para celulose sulfato de C. alba Rainier de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	210	1.030	1.150	1.950	2.060	3.390
2	320	860	1.570	2.830	3.210	3.090
3	470	1.150	1.250	1.830	2.630	1.950
4	420	1.120	1.600	2.530	2.400	2.320
5	200	730	1.190	1.740	2.290	2.340
6	430	1.190	1.760	2.920	2.610	2.840
7	480	1.180	1.500	1.870	2.360	2.930
8	520	1.160	1.820	1.930	2.170	2.220
9	340	810	1.350	1.590	2.120	2.650
10	910	1.620	2.230	2.500	3.240	2.730
11	670	1.380	2.220	2.730	2.850	3.380
12	610	1.310	1.620	2.370	2.430	2.830
Médias	465	1.128	1.605	2.232	2.552	2.727

QUADRO XXVIII - Valores da resistência ao dobramento, expressa em número de dobras duplas, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de D. alba Reimw de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	170	500	900	890	1.350	1.850
2	180	590	600	1.000	1.560	1.730
3	90	240	760	860	1.160	1.450
4	120	290	730	870	1.160	1.550
5	210	490	1.170	1.720	2.370	2.640
6	850	860	1.260	3.000	2.990	3.200
7	230	1.730	1.540	2.600	3.300	2.550
8	320	670	1.500	2.670	2.000	3.240
9	110	450	910	1.190	2.050	2.710
10	110	330	670	950	1.320	1.800
11	120	470	1.160	1.380	2.060	2.660
12	190	560	990	1.760	2.130	2.410
Médias	225	598	1.016	1.574	1.987	2.316

QUADRO XXXIX - Valores da resistência ao dobramento expressa em número de dobras duplas, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	500	1.130	1.620	2.070	2.130	2.550
2	490	1.080	1.700	2.290	2.560	3.120
3	570	980	1.360	1.940	2.600	2.560
4	450	1.000	1.460	1.930	2.670	4.120
5	1.070	1.800	2.290	2.550	2.890	3.310
6	970	1.760	2.160	2.050	3.130	3.670
7	1.100	1.740	2.080	2.200	3.300	5.240
8	820	1.530	2.390	2.960	3.390	6.140
9	680	1.510	1.800	2.510	2.710	4.050
10	230	1.170	1.460	2.890	3.170	3.470
11	240	520	930	1.770	2.700	2.680
12	450	860	2.590	2.910	2.870	3.280
Médias	648	1.261	1.697	2.338	2.843	3.724

QUADRO XL - Análise da Variância da resistência ao dobramento, expressa em número de dobras duplas, da celulose sulfato das espécies E. galigna Sm de 5 e 7 anos, B. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Mill ex Maiden de 7 anos, aos tempos de refinação de 30 e 180 minutos.

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamento (E)	4	13.353.722	5,18 *
Tempo (T)	5	51.899.351	242,94 **
Interação E x T	20	285.982	1,34
Repetições dentro de Tratamento (R/E)	10	2.576.143	7,52 **
Cozimento dentro de Tratamento dentro de Repetições (C/E/R)	45	485.404	3,84 **
Interação T x R/E	50	213.630	1,69 *
Interação T x C/E/R	225	126.245	
Total	359		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

QUADRO XLI - Análise da regressão relacionando resistência ao dobramento, expressa em número de dobras duplas, com grau de refinação, dentro de cada tratamento. Valores de F relativos aos efeitos linear, quadrático, cúbico e aos desvios de regressão e respectivas significâncias e coeficientes de variação.

Causa de Variação	G. L.	T r a t a m e n t o s				
		S <sub>5</sub>	S <sub>7</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>7</sub>	G <sub>7</sub>
Regressão Linear	1	249,83**	233,39**	259,91**	187,51**	295,51**
Regressão Quadrática	1	7,25**	0,43	0,04	0,25	8,04**
Regressão Cúbica	1	2,99	0,76	0,04	0,02	6,34**
Desvios da Regressão	12	1,19	0,66	0,16	1,06	1,47
Coeficientes de Variação		9,91%	14,18%	11,84%	16,05%	11,39%

S<sub>5</sub> - E. saligna , 5 anos

A<sub>5</sub> - E. alba , 5 anos

S<sub>7</sub> - E. saligna , 7 anos

A<sub>7</sub> - E. alba , 7 anos

G<sub>7</sub> - E. grandis , 7 anos

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Equações para resistência ao dobramento expressa em número de dobras duplas, para os 5 tratamentos (referentes à média de suas repetições) .

I - E. saligna - 5 anos

$$\hat{Y} = 2173,485426 + 49,598792 (x - 64,17) + 0,531788 (x - 64,17)^2$$

II - E. saligna - 7 anos

$$\hat{Y} = 1576,014240 + 41,877215 (x - 56,10)$$

III - E. alba - 5 anos

$$\hat{Y} = 1732,611112 + 41,207594 (x - 61,31)$$

IV - E. alba - 7 anos

$$\hat{Y} = 1297,333333 + 38,411324 (x - 56,13)$$

V - E. grandis - 7 anos

$$\hat{Y} = 1766,984004 + 32,539181 (x - 63,46) + 1,128634 (x - 63,46)^2 + 0,036169 (x - 63,46)^3$$

$\hat{Y}$  = valor estimado do número de dobras duplas

x = grau de refinação



QUADRO XLII.a - Valores estimados da resistência ao dobramento da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 30 °SR, expressa em número de dobras duplas, e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Número de dobras duplas (400 g)	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observação (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	1.099,62	808,49 - 1.390,75	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	483,02	305,34 - 660,70	..-
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	494,40	305,86 - 682,94	..-
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	283,65	100,64 - 466,66	..-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	605,69	318,34 - 893,04	..-

QUADRO XLII.b - Valores estimados da resistência ao dobramento da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 45 °SR, expressa em número de dobras duplas, e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Número de dobras duplas (400 g)	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	1.418,11	1.248,08 - 1.588,14	S <sub>7</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	1.111,18	989,53 - 1.232,83	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	1.112,51	982,58 - 1.242,44	..-
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	859,81	733,71 - 985,91	..-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	1.243,18	1.093,13 - 1.593,23	A <sub>7</sub>

QUADRO XLIII.c - Valores estimados da resistência ao dobramento da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 60<sup>o</sup>SR, expressa em números de dobras duplas, e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Número de dobras duplas (400 g)	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações <sup>(1)</sup>
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	1.975,90	1.786,15 - 2.165,65	A <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	1.739,33	1.631,84 - 1.846,82	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	1.730,63	1.630,76 - 1.830,50	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	1.435,98	1.324,29 - 1.547,67	.-.
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	1.686,41	1.491,03 - 1.881,79	.-.

(1) Observações: tratamentos cujos intervalos de confiança não se sobrepõem ao correspondente da linha.

#### 4.9 - Peso específico aparente

Os dados relativos ao peso específico aparente das folhas e suas respectivas análises estatísticas aparecem nos quadros de números XLIII a L, sendo também apresentadas as equações de regressão determinadas para cada tratamento.

QUADRO XLIII - Valores do peso específico aparente, expresso em  $g/cm^3$ , aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de *D. saligna* Ga de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	0,623	0,643	0,657	0,689	0,722	0,749
2	0,633	0,651	0,656	0,692	0,718	0,735
3	0,620	0,648	0,689	0,686	0,716	0,743
4	0,621	0,644	0,670	0,673	0,699	0,744
5	0,674	0,696	0,728	0,744	0,780	0,865
6	0,632	0,667	0,679	0,706	0,729	0,756
7	0,622	0,654	0,696	0,727	0,745	0,817
8	0,643	0,666	0,697	0,727	0,776	0,862
9	0,631	0,670	0,697	0,718	0,765	0,774
10	0,611	0,637	0,669	0,680	0,712	0,749
11	0,643	0,674	0,674	0,725	0,800	0,830
12	0,620	0,656	0,694	0,716	0,755	0,839
Médias	0,631	0,659	0,684	0,707	0,744	0,789

QUADRO XLIV - Valores do peso específico aparente, expresso em  $\text{g/cm}^3$ , aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. saligna Sm de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	0,618	0,651	0,652	0,678	0,707	0,742
2	0,604	0,630	0,636	0,657	0,680	0,702
3	0,622	0,651	0,651	0,668	0,679	0,701
4	0,592	0,636	0,645	0,679	0,703	0,740
5	0,626	0,672	0,654	0,712	0,736	0,748
6	0,619	0,662	0,682	0,702	0,696	0,732
7	0,631	0,652	0,666	0,682	0,708	0,725
8	0,615	0,633	0,656	0,685	0,707	0,751
9	0,594	0,636	0,636	0,681	0,708	0,725
10	0,592	0,606	0,653	0,684	0,702	0,728
11	0,599	0,622	0,652	0,680	0,709	0,762
12	0,603	0,614	0,651	0,674	0,700	0,734
Médias	0,610	0,639	0,653	0,682	0,703	0,732

QUADRO XLV - Valôres do pêsco específico aparente, expresso em  $\text{g/cm}^3$ , aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Rainy de 5 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	0,599	0,642	0,646	0,672	0,698	0,737
2	0,620	0,643	0,677	0,675	0,728	0,773
3	0,624	0,638	0,661	0,684	0,673	0,744
4	0,628	0,659	0,687	0,706	0,735	0,765
5	0,587	0,610	0,634	0,632	0,668	0,699
6	0,575	0,607	0,643	0,655	0,684	0,747
7	0,585	0,610	0,628	0,645	0,685	0,696
8	0,579	0,600	0,629	0,649	0,689	0,742
9	0,606	0,630	0,650	0,658	0,675	0,691
10	0,620	0,643	0,670	0,687	0,717	0,742
11	0,609	0,632	0,662	0,685	0,703	0,771
12	0,603	0,634	0,662	0,668	0,704	0,757
Médias	0,603	0,629	0,654	0,668	0,696	0,739

QUADRO XLVI - Valôres do pêsso específico aparente, expresso em  $\text{g/cm}^3$ , aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de E. alba Reinw de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	0,577	0,602	0,625	0,632	0,646	0,685
2	0,593	0,626	0,625	0,646	0,664	0,685
3	0,590	0,606	0,641	0,640	0,687	0,684
4	0,586	0,602	0,617	0,628	0,656	0,687
5	0,612	0,634	0,655	0,663	0,682	0,732
6	0,630	0,639	0,656	0,700	0,727	0,729
7	0,602	0,642	0,648	0,697	0,727	0,737
8	0,600	0,627	0,653	0,699	0,694	0,730
9	0,574	0,589	0,609	0,634	0,663	0,710
10	0,571	0,587	0,599	0,621	0,634	0,676
11	0,560	0,586	0,620	0,636	0,673	0,704
12	0,594	0,606	0,640	0,650	0,677	0,714
Médias	0,591	0,612	0,632	0,654	0,672	0,706

QUADRO XVIII - Valores do peso específico aparente, expresso em  $\text{g/cm}^3$ , aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos para celulose sulfato de *P. grandis* Hill ex Maidan de 7 anos.

Cozimento Número	tempo em minutos					
	30	60	90	120	150	180
1	0,603	0,628	0,648	0,678	0,699	0,742
2	0,604	0,630	0,661	0,679	0,702	0,740
3	0,603	0,621	0,650	0,681	0,704	0,727
4	0,599	0,624	0,644	0,665	0,706	0,736
5	0,647	0,678	0,712	0,731	0,766	0,832
6	0,651	0,672	0,701	0,717	0,757	0,808
7	0,644	0,674	0,705	0,727	0,771	0,838
8	0,636	0,677	0,697	0,721	0,762	0,822
9	0,592	0,624	0,652	0,677	0,698	0,702
10	0,569	0,618	0,623	0,670	0,698	0,698
11	0,569	0,593	0,619	0,639	0,659	0,702
12	0,594	0,632	0,662	0,675	0,714	0,779
Médias	0,609	0,639	0,664	0,685	0,722	0,760

QUADRO XLVIII - Análise da variância do peso específico aparente, expresso em  $\text{g/cm}^3$ , da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, aos tempos de refinação de 30 a 180 minutos.

Causa de Variação	G. L.	Q. M.	F
Tratamento (E)	4	0,032476	2,48
Tempo (T)	5	0,146775	459,96 **
Interação E x T	20	0,000643	2,01 *
Repetições dentro de Tratamento (R/E)	10	0,013105	21,78 **
Comimento dentro de Tratamento dentro de Repetições (C/E/R)	45	0,000916	5,74 **
Interação T x R/E	50	0,000319	2,00 **
Interação T x C/E/R	225	0,000160	
Total	359		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade



QUADRO XLIX - Análise da regressão relacionando peso específico aparente, expresso em  $g/cm^3$ , com grau de refinação, dentro de cada tratamento. Valores de F relativos aos efeitos linear, quadrático, cúbico e aos desvios da regressão e respectivas significâncias e coeficientes de variação.

Causa de Variação	G. L.	T r a t a m e n t o s				
		S <sub>5</sub>	S <sub>7</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>7</sub>	G <sub>7</sub>
Regressão Linear	1	501,78**	419,31**	447,74**	304,84**	507,03**
Regressão Quadrática	1	31,15**	2,82	17,96**	2,88	20,38**
Regressão Cúbica	1	21,14**	7,06*	13,82**	1,61	16,78**
Desvios da Regressão	12	1,65	0,42	0,52	1,25	1,24
Coeficiente de Variação		1,35%	1,26%	1,28%	1,42%	1,34%

S<sub>5</sub> - E. saligna , 5 anos

A<sub>5</sub> - E. alba , 5 anos

S<sub>7</sub> - E. saligna , 7 anos

A<sub>7</sub> - E. alba , 7 anos

G<sub>7</sub> - E. grandis , 7 anos

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Equações para o peso específico aparente expresso em  $\text{g/cm}^3$ , para os 5 tratamentos (referentes à média de suas repetições).

I - E. saligna - 5 anos

$$\hat{Y} = 0,677558 + 0,001576 (x - 64,17) + 0,000087 (x - 64,17)^2 + 0,000002 (x - 64,17)^3$$

II - E. saligna - 7 anos

$$\hat{Y} = 0,663222 + 0,001602 (x - 56,10) + 0,000020 (x - 56,10)^2 + 0,000001 (x - 56,10)^3$$

III - E. alba - 5 anos

$$\hat{Y} = 0,651096 + 0,001464 (x - 61,31) + 0,000046 (x - 61,31)^2 + 0,000001 (x - 61,31)^3$$

IV - E. alba - 7 anos

$$\hat{Y} = 0,644388 + 0,001914 (x - 56,13)$$

V - E. grandis - 7 anos

$$\hat{Y} = 0,661511 + 0,001559 (x - 63,46) + 0,000063 (x - 63,46)^2 + 0,000001 (x - 63,46)^3$$

$\hat{Y}$  = valor estimado do peso específico aparente em  $\text{g/cm}^3$

x = grau de refinação

QUADRO L.a - Valores estimados do peso específico aparente da celulose sulfato das espécies E. saligna Sa de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 30 °SR, expressa em g/cm<sup>3</sup> e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	0,6228	0,6093 - 0,6363	A <sub>7</sub>
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	0,6178	0,6103 - 0,6253	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	0,6033	0,5938 - 0,6127	..-
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	0,5943	0,5871 - 0,6015	..-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	0,6072	0,5962 - 0,6180	..-

QUADRO L.b - Valores estimados do peso específico aparente da celulose sulfato das espécies E. saligna Sa de 5 e 7 anos, E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 45 °SR, expressa em g/cm<sup>3</sup> e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos (S <sub>5</sub> )	0,6612	0,6511 - 0,6713	A <sub>5</sub> , A <sub>7</sub> , (G <sub>7</sub> )
<u>E. saligna</u> - 7 anos (S <sub>7</sub> )	0,6466	0,6395 - 0,6537	A <sub>7</sub>
<u>E. alba</u> - 5 anos (A <sub>5</sub> )	0,6329	0,6243 - 0,6415	..-
<u>E. alba</u> - 7 anos (A <sub>7</sub> )	0,6230	0,6181 - 0,6280	..-
<u>E. grandis</u> - 7 anos (G <sub>7</sub> )	0,6421	0,6327 - 0,6516	A <sub>7</sub>

QUADRO L.c - Valores estimados do peso específico aparente da celulose sulfato das espécies E. saligna Sm de 5 e 7 anos , E. alba Reinw de 5 e 7 anos e E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos, ao grau de refinação de 60 °SR , expressa em  $g/cm^3$  e seus respectivos intervalos de confiança.

Tratamento	Peso específico aparente ( $g/cm^3$ )	Intervalo de Confiança ao nível de 5% de probabilidade	Observações (1)
<u>E. saligna</u> - 5 anos ( $S_5$ )	0,6723	0,6647 - 0,6800	$A_5$ , $A_7$ , $G_7$
<u>E. saligna</u> - 7 anos ( $S_7$ )	0,6698	0,6625 - 0,6771	$A_5$ , $A_7$
<u>E. alba</u> - 5 anos ( $A_5$ )	0,6492	0,6426 - 0,6559	..-
<u>E. alba</u> - 7 anos ( $A_7$ )	0,6518	0,6474 - 0,6562	..-
<u>E. grandis</u> - 7 anos ( $G_7$ )	0,6567	0,6494 - 0,6642	..-

(1) Observações: tratamentos cujos intervalos de confiança não se sobrepõem ao correspondente da linha.

## 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As análises da variância dos resultados obtidos para resistência da celulose sulfato à tração e ao arrebatamento em função do tempo de refinação, quadros XVI e XXIV, mostram existir diferença estatística entre as médias dos tratamentos estudados ao nível de 5% de probabilidade apenas para a primeira propriedade físico-mecânica mencionada, diferença essa aparentemente constante ao longo do tempo, uma vez que a interação E x T não apresentou significância.

Considerando-se, entretanto, que para o trabalho industrial a média dos tratamentos apresenta reduzido valor prático, a não constatação de diferenças estatísticas entre as mecmas não invalida as comparações.

Por outro lado, os valores alcançados para uma dada propriedade físico-mecânica em pontos determinados da refinação, constituem elementos de grande interesse para a indústria.

Por essas razões procedeu-se a comparações dos diversos tratamentos, para cada uma das propriedades estudadas, em pontos pré-determinados de refinação utilizando-se análises de regressão. Dessa maneira foi possível constatar algumas diferenças entre os mesmos.

A análise de variância das regressões estabelecidas para a resistência à tração mostrou haver uma grande constância entre os tratamentos no que se refere ao tipo de equação.

Com exceção do E. alba de 5 anos onde houve influência do efeito cúbico os demais apresentaram variações que se encaixam em curvas de natureza quadrática, quando aquela propriedade físico-mecânica é relacionada com grau de refinação.

No caso da resistência ao arrebatamento já não houve a mesma homogeneidade entre os diversos tratamentos quando a relação é estabelecida com grau de refinação. Assim para o E. saligna e E. alba ambos de 7 anos a relação foi de caráter linear, sendo quadrática para o E. saligne de 5 anos. Para os outros 2 tratamentos a equação determinada foi de 3.<sup>o</sup> grau. Dada a heterogeneidade dos tipos das equações e à falta de elementos comparativos, face ao reduzido número de

trabalhos correlatos, torna-se difícil uma possível uniformização das equações. Por se tratar de um estudo inicial nas condições utilizadas e dada a grande variação encontrada na matéria-prima como assinala PRYOR (1968 e 1969) optou-se por seguir à risca os resultados das análises estatísticas para a propriedade mencionada deixando as prováveis interpretações para futuros estudos.

Os valores esperados para ambas as propriedades físico-mecânicas mostram bastante consonância com os valores observados e portanto as curvas estabelecidas representam bem a relação entre resistência à tração e ao arrebitamento e grau de refinação nas condições do presente trabalho.

Não seria necessário ressaltar que a determinação de equações para as propriedades da celulose acima mencionadas bem como para as demais, possibilita esperar, nas condições do experimento, os valores a serem alcançados ao longo da refinação conhecendo-se apenas um dado inicial.

É óbvio que as equações estabelecidas no presente estudo não deverão servir para as condições normais de trabalho industrial, entretanto, acredita-se ser perfeitamente possível a sua determinação mediante o auxílio da estatística e da computação eletrônica como elementos complementares.

Partindo do princípio que um dos objetivos do autor era mostrar àqueles que trabalham nas indústrias as vantagens da determinação de uma equação que relacione as variáveis consideradas, como um interessante meio auxiliar no controle de qualidade da produção, consideram-se satisfatórios os resultados alcançados.

Os valores encontrados para resistência à tração e ao arrebitamento da celulose de *E. saligna*, se considerados de maneira geral, estão de acordo com os verificados pelo FOREST PRODUCTS LABORATORY (1956) e BARRICHELLO (1968). São superiores entretanto aos determinados por NAZZEI e OVERBECK (1966), provavelmente por terem aqueles autores utilizado condições de cozimento diferentes daquelas do presente trabalho.

GUFI (1967) encontrou valores de comprimento de auto-ruptura ao redor de 8.900 m e de índice de arrebitamento de 60,0 para celulose sulfato branqueada de *E. grandis*.

Os dados dos quadros XVIII.a , XVIII.b e XVIII.c mostram que puderam ser constatadas diferenças ao nível de 5% de probabilidade entre a resistência à tração dos tratamentos quando se comparou suas celuloses aos níveis de refinação de 30 , 45 e 60 °SR . Assim, inicialmente (30 °SR) o E. saligna de 5 anos supera os outros tratamentos exceto o E. grandis de 7 anos, do qual não difere estatisticamente.

À medida que a refinação se desenvolve o E. saligna de 5 anos passa a diferir de todos os outros tratamentos, superando-os a 45 e 60 °SR .

O E. grandis de 7 anos diferiu do E. alba em ambas as idades estudadas nos três níveis de refinação, não diferenciando entretanto do E. saligna de 7 anos. Este tratamento superou o E. alba de mesma idade em todos os pontos de comparação e E. alba de 5 anos somente a 60 °SR .

Nota-se afinal que E. alba de 7 anos foi superado por todos os tratamentos a 30 , 45 e 60 °SR , apresentando os valores mais baixos para resistência à tração.

No que diz respeito à resistência ao arrebatamento, observa-se que a celulose de E. saligna de 5 anos apresentou os melhores resultados superando todos os outros tratamentos nos três níveis de refinação estabelecidos para as comparações.

O E. saligna de 7 anos difere inicialmente do E. alba em ambas as idades passando a superar, além d'esses, o E. grandis no ponto mais elevado de moagem.

O E. ~~saligna~~ de 7 anos diferiu do E. alba de 5 anos, apenas inicialmente e da mesma espécie com 7 anos em todos os graus de refinação considerados. A resistência ao arrebatamento da celulose sulfato deste último tratamento foi superada inclusive por aquela de madeira mais jovem da mesma espécie a partir do segundo nível de moagem.

Essas observações nos levam a inferir que a celulose sulfato do E. saligna de 5 anos apresentou os melhores resultados para resistência à ~~tração~~ ao arrebatamento, aparecendo E. alba de 7 anos como o pior tratamento, nas condições da experiência. Comportamento esse praticamente igual ao observado para resistência à tração.

Além, DINWOODIE (1965) considera as variações entre aquelas duas propriedades físico-mecânicas bastante semelhantes, sugerindo a conveniência de estudá-las conjuntamente.

Atentando-se para o fato de que os cozimentos da madeira das espécies e idades estudadas foram conduzidos em condições bastante semelhantes e que as celuloses produzidas apresentaram número de permanganato quase idênticos e que podem ser considerados iguais do ponto de vista prático, acredita-se que as diferenças observadas na resistência à tração e ao arrebatamento não devam ser atribuídas a fatores de natureza química.

É de se esperar que nessas condições o teor de hemicelulose, cujo aumento, segundo Runkel (1952), Sadler e Kostjak (1962) citados por DINWOODIE (1965) e WATSON (1961) ocasiona aumento na resistência à tração, tenha se mantido a níveis comparáveis para os diversos tratamentos.

DINWOODIE (1965) relatando trabalho de Peteri (1954) observa que na produção de celulose de folhosas tropicais por processos químicos os fatores químicos não têm importância, enquanto que o mesmo WATSON (1961) e Watson e Phillips citados também por DINWOODIE chegaram a resultados que mostram não haver evidência de um teor ótimo de lignina e hemiceluloses para o desenvolvimento da resistência máxima à tração e ao arrebatamento nas celuloses obtidas de *Eucalyptus* sp. e *Pinus radiata*.

Por essas razões é bastante provável que se possa atribuir as diferenças constatadas entre as celuloses estudadas a variações de natureza física ou anatômica, ou a cubas, apresentadas pelas suas respectivas madeiras.

A densidade da madeira e as características morfológicas de suas fibras não foram determinadas por fugirem ao escopo do presente trabalho, cuja principal finalidade era verificar apenas se existiam ou não diferenças entre as principais propriedades físico-mecânicas das celuloses comparadas.

Entretanto, parece existir evidências de que parte ponderável das diferenças pode ser atribuída à densidade básica da madeira, sendo esta considerada como consequência direta da espessura da parede da fibra.



SCARAMEZZI (1961) trabalhando com diversas espécies do gênero Eucalyptus conclui existir tendências para uma forte relação entre densidade básica da madeira e espessura da parede celular dentro da mesma espécie.

Por outro lado DADSWELL (1960) afirma que para espécies de um mesmo gênero, haverá estreita correlação entre espessura da parede da fibra e a densidade básica da madeira, tendo a espécie de parede mais espessa maior densidade. Esse fato foi confirmado por WATSON (1969) o qual assegurou que para as espécies estudadas no presente trabalho, dadas as suas naturais semelhanças, tal correlação deveria ser esperada.

A semelhança das espécies testadas pode ser ressaltada pela facilidade com que se cruzam, conforme assinala PINOR (1969) .

As densidades básicas do E. saligna Sm de 5 e 7 anos , de E. alba Reinw de 5 e 7 anos e de E. grandis Hill ex Maiden de 7 anos foram determinadas por FERREIRA (1968 e 1969) , utilizando madeira dos mesmos povoamentos artificiais que forneceram material para o presente trabalho e são as seguintes:

<u>Espécies</u>	<u>Idade</u>	<u>Densidade básica</u>
<u>E. saligna</u>	5 anos	0,528 ± 0,008
<u>E. saligna</u>	7 anos	0,550 ± 0,008
<u>E. alba</u>	5 anos	0,556 ± 0,007
<u>E. alba</u>	7 anos	0,575 ± 0,006
<u>E. grandis</u>	7 anos	0,550 ± 0,007

O aumento da densidade básica com a idade, verificado por aquêle autor, vem confirmar os trabalhos de YANDLE (1956) , DESCH (1932) , SPURR e HSIUNG (1954) , que concluíram haver um aumento mais rápido nos primeiros anos, mantendo-se depois em determinado nível.

Das afirmações e conclusões dos diversos pesquisadores citados, pode-se inferir que devem existir diferenças na espessura da parede das fibras da madeira das espécies e idades estudadas. Pode-se inferir ainda que o E. saligna de 5 anos deve apresentar fibras com paredes menos espessas que os outros tratamentos, aparecendo o E. alba de 7 anos no extremo oposto quanto aquela característica morfológica.

A importância da espessura da parede da fibra na resistência à tração e ao arrebatamento reside no fato das fibras de paredes mais finas adquirirem a forma de fitas durante a refinação da celulose aumentando a área de contacto, e consequentemente produzindo folhas de maior resistência àquelas testes e outros exceto o rasgo, segundo SCARANZZI (1961) e DADSWELL (1960) já citados.

HIGGINS (1969) afirma que celulose kraft de eucalipto derivadas de espécies de baixa densidade, como por exemplo *E. regnans* jovem, pode desenvolver melhor resistência ao arrebatamento que aquela obtida de pinho. Eucaliptos de alta densidade, segundo o mesmo autor, não conduzem a tão bons resultados para aquela propriedade, porque as fibras de paredes mais espessas não se interligam rapidamente à medida que a moagem se desenvolve.

Os resultados obtidos no presente trabalho vão confirmar as conclusões dos autores mencionados, ou seja, a superioridade demonstrada pela celulose de *E. saligna* de 5 anos ao que diz respeito à resistência à tração e ao arrebatamento. A ordem decrescente da resistência àquelas testes é acompanhada de maneira bastante semelhante e inversamente pelos tratamentos que apresentaram densidades crescentes, culminando com o *E. alba* de 7 anos.

Estudo realizado por DINWOODIE (1965) já citado, também ilustra a importância da espessura da parede celular. Trabalhando com 16 árvores que representavam 14 espécies, esse autor verificou que aquela característica ou a sua relação com o diâmetro da fibra era a mais importante variável influenciando inversamente a resistência à tração e ao arrebatamento. Isto porque a fibra com tais características tem boa flexibilidade, o que determina durante a refinação o seu achatamento e o seu grau de adaptabilidade dentro da folha, do que resulta maior área de contacto para a interligação das fibras.

O mesmo DINWOODIE após extensa revisão da literatura pertinente conclui que a principal dimensão da fibra relacionada com resistência à tração e ao arrebatamento é a espessura de sua parede, ou então, a relação espessura da parede/diâmetro da fibra, ou uma relação similar, quando a comparação é feita entre madeiras bastante diferentes.

No que tange a análise da variância dos resultados obtidos para resistência ao rasgo em função do tempo de refinação, o quadro XXXII mostra não haver diferença significativa entre as médias dos tratamentos ao nível de 5% de probabilidade.

A diferença significativa entre os diversos tempos de refinação verificada naquela análise preliminar era fato já esperado e está bem fundamentada pela literatura. A significância da interação E x T mostra existir diferenças no comportamento dos tratamentos entre si, à medida que a moagem progride.

A análise de variância das regressões relacionando resistência ao rasgo e grau de refinação, quadro XXXIII, mostra existir significância estatística para o efeito quadrático para todos os tratamentos. No caso do E. saligna houve também significância para o efeito cúbico. Dada a predominância da relação caracterizada por equação de 2.º grau em 4 tratamentos, admitiu-se, por razões de ordem prática, que também aquela espécie seria representada por curva de natureza quadrática.

Dessa maneira, as comparações realizadas com os valores estimados para aquela propriedade físico-mecânica a 30, 45 e 60 °SR, conforme se observa nos quadros XXXIV.a, b, c, mostram que inicialmente a celulose sulfato de E. saligna de 7 anos, supera as obtidas de três outros tratamentos, exceção feita para a da mesma espécie cortada a idade mais jovem.

Ao nível de refinação de 45 °SR as celuloses de E. saligna de 5 e 7 anos e de E. alba de 7 anos não diferem estatisticamente entre si, mas superam aquelas dos outros dois tratamentos na resistência ao rasgo.

No ponto mais elevado de moagem, utilizado para fazer as comparações, ou seja 60 °SR, a celulose de E. saligna de 5 anos suplanta apenas a do E. grandis de 7 anos. Nesse ponto também, o E. alba de 7 anos difere estatisticamente dos demais tratamentos, exceção feita ao E. saligna de 5 anos. Entretanto, se examinamos cuidadosamente os valores da resistência ao rasgo para esses dois tratamentos, quadro XXXIV.c e considerarmos a pequena faixa de superposição de seus intervalos de confiança, poderemos admitir que o E. alba de 7 anos tende a superar o E. saligna de 5 anos no que diz respeito àquela propriedade da celulose.

DADSWELL (1960) afirma que apesar do comprimento da fibra ser de fundamental importância na resistência ao rasgo, a espessura de sua parede é também importante. Segundo esse autor, embora as fibras de paredes mais espessas sejam mais resistentes à refinação, não se interligando rapidamente, a sua pequena flexibilidade é de valor para produzir um aumento naquela propriedade da celulose. Dêsse modo fibras de paredes finas de mesmo comprimento que fibras de paredes mais espessas produzem folhas menos resistentes ao rasgo, mas superiores em outras propriedades.

A resposta à refinação apresentada pela celulose de E. saligna de 5 anos e de E. alba de 7 anos, como pode ser observado no Gráfico I, vem confirmar a conclusão daquele autor. As curvas examinadas diferem estatisticamente em todos os tempos considerados.

Há também evidências de que a resistência ao rasgo da celulose do E. alba de 7 anos passe a superar a apresentada por E. saligna de 5 anos a partir de 60 °SR à medida que a refinação se desenvolve. Esse fato viria também concordar com a afirmativa de Dadswell.

Observando o Gráfico IV, onde as curvas representam a relação existente entre a resistência ao rasgo e o grau de refinação nota-se que os tratamentos cujas madeiras apresentam menores densidades já têm uma resistência inicial maior que as mais densas, a qual aumenta muito pouco caindo logo a seguir. Por outro lado a celulose de E. alba de 7 anos, a de maior densidade básica apresenta resistência reduzida no início mas que aumenta bastante e durante mais tempo atingindo seu valor máximo a 60 °SR.

Segundo trabalho do INSTITUTE OF PAPER CHEMISTRY (1944), que empõe a teoria de van den Akker sobre o mecanismo do rasgo, amplamente aceita, durante o raggamento de uma folha um certo número de fibras são puxadas intactas para fora, enquanto outras são quebradas. O trabalho dispendido no primeiro caso é bem maior que no segundo, embora a força requerida naquele seja menor. Como a resistência ao rasgo é igual à soma dos dois trabalhos dividida pelo dobro do comprimento da linha de rasgo, uma folha que ao rasgar apresente um pequeno número de fibras quebradas terá um alto valor para aquela propriedade mecânica.

Ainda de acôrdo com aquêles autores, a ascendência inicial da curva relacionando resistência ao rasgo com grau de refinação é devido ao fato que nesse estágio da moagem o trabalho de fricção no arrancamento aumenta em decorrência de um maior enovelamento causado por um pequeno aumento na interligação das fibras. Durante ôsse período somente um número reduzido de fibras será rompido. À medida que a refinação prossegue um número menor delas será retirado intacto da estrutura da fôlha, produzindo, consequentemente uma redução na resistência ao rasgo.

DENWOODIE (1965) , após extensa análise de inúmeros trabalhos relacionando as propriedades físico-mecânicas da celulose e do papel com características físicas e anatômicas da madeira, conclue que um aumento na espessura da parede das fibras resultará em menor interligação das mesmas com a refinação e que desde que essa interligação esteja acima de um certo mínimo ela acarretará um aumento na resistência ao rasgo, devido em parte a um menor grau de concentração das forças que ocasionam o rasgamento.

É provável que se possa atribuir, pelo menos em parte, as considerações feitas pelos autores citados, van den Akker e Dinwoodie , a causa da crescente resistência ao rasgo da celulose de L. alba de 7 anos, quando esta propriedade é relacionada com grau de refinação.

Trabalhos apresentados por DADSWELL e WATSON (1962) e WATSON e DADSWELL (1964) reconheceram a existência de um nível crítico da interligação das fibras em relação à resistência ao rasgo. Segundo aquêles autores, em celulose de fibra curta o nível crítico nunca seria atingido na celulose sem refinação e raramente o seria na pasta refinada. Desse modo aquela resistência aumentaria com a moagem.

A provável discrepância desse ponto de vista com os resultados do presente trabalho ou que a resistência ao rasgo declina após um período crescente , que é variável entre os tratamentos como se observa no Gráfico IV , pode ser considerada perfeitamente normal por se tratar de celulose produzida com madeira jovem, de acôrdo com a opinião de WATSON (1969) .

Watson e Dadswell (1964) já citados, afirmam que na celulose de fibra curta a distribuição de força é menos ampla do que naquela de fibra longa, donde a energia requerida para destacar fibras inteiras ser relativamente baixa, do que resulta em baixo valor para a resistência ao rasgo.

A correlação positiva entre a resistência ao rasgo e o comprimento da fibra, segundo van den Akker, já mencionado, é devido ao fato de que o trabalho de fricção para avançar fibras inteiras, depende diretamente do comprimento médio das mesmas, sendo teoricamente proporcional a este comprimento.

A resistência ao rasgo apresentada pelas celuloses de E. saligna de 7 anos nos níveis de moagem 30 e 45 °SR, e aquela de E. alba de 7 anos a 45 e 60 °SR, como mostram os quadros XXIV.a, b, c, poderão ser parcialmente devidas ao comprimento da fibra pelas razões expostas por Watson e Dadswell e van den Akker.

SANTOS (1961) após estudos realizados com plantas de E. saligna de 6 anos, conclui haver uma forte correlação entre o comprimento da fibra e a idade dos anéis de crescimento ( $R = 0,98$ ), significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Além, diversos autores como Dadswell, Dinwoodie e Watson, já citados, confirmaram a importância do comprimento da fibra na resistência ao rasgo.

Alguns autores, Clark, Petroff e Normand, citados por DINWOODIE (1965) são de opinião que comprimento da fibra e densidade básica da madeira ou espessura da parede celular têm aproximadamente a mesma importância em sua influência na resistência ao rasgo.

TEICLANG e WANGAARD (1961) estudando folhosas tropicais e temperadas verificaram que tanto a influência do comprimento como da espessura da fibra sobre a resistência ao rasgo foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados obtidos para a resistência ao rasgo da celulose de E. saligna de 5 anos contradizem, pelo menos em parte, as conclusões dos diversos autores. Subsídios que possam contribuir para o melhor entendimento do assunto poderão, talvez, ser obtidos através de estudos orientados de forma específica.

Por outro lado, deve ser ressaltado o fato de que a resistência ao rasgo apresentada pela celulose de *E. alba* de 7 anos, a 60 °SR, ponto no qual superou praticamente todos os outros tratamentos, tem relativo significado do ponto de vista industrial para certos tipos de papel.

Em que diz respeito a resistência ao dobramento, a análise da variação dos resultados obtidos em função do tempo de refinação mostra haver diferença significativa no nível de 5% de probabilidade para as médias dos tratamentos, conforme mostra o quadro XL. A influência do tempo novamente mostrou-se altamente significativa.

As regressões estabelecidas para essa propriedade da celulose em função do grau de refinação mostram haver significância para o efeito linear em todos os tratamentos embora em dois delas *E. saligna* de 5 anos e *E. grandis* de 7 anos tenha havido também significância para o efeito quadrático. Para este último tratamento houve ainda significância para o efeito cúbico.

Quando as comparações das resistências ao dobramento apresentadas pelas celuloses estudadas foram realizadas a um mesmo grau de moagem puderam ser constatadas diferenças significativas entre alguns dos tratamentos.

Assim, o *E. saligna* de 5 anos diferiu estatisticamente de três outros tratamentos com exceção de *E. grandis* de 7 anos a 30 °SR e 45 °SR, como se pode observar nos quadros XLII.a,b. No segundo grau de refinação mencionado o *E. saligna* e *E. grandis* ambos de 7 anos superaram o *E. alba* de mesma idade, embora não diferindo entre si nem do *E. alba* de 5 anos.

Quando as curvas atingiram 60 °SR somente a celulose de *E. alba* de 7 anos foi inferior às demais exceto ao *E. grandis* de mesma idade, conforme mostra o quadro XLII.c.

Evidenciou-se mais uma vez a superioridade da celulose de *E. saligna* de 5 anos, principalmente em relação àquela produzida com madeira de *E. alba* cortada aos 7 anos.

A pequena atenuação dada pelos pesquisadores à resistência da celulose ao dobramento torna difícil uma discussão mais aprofundada das diferenças observadas entre os diversos tratamentos. DUNWOODIE (1965) já citado atribui parte

dêsse desinterêsse ao alto grau de variação comumente verificado em testes consecutivos de uma mesma amostra.

O mesmo Dinwoodie assinala que diversos autôres (Watson e Hodder , Haywood , Hammond e Billington) estabeleceram relação entre resistência ao dobramento e densidade da madeira. Verificou, também, que a espessura da parede celular apresentava correlação com aquela propriedade da celulose. Conclui, entretanto, à luz da sua revisão dos estudos de inúmeros pesquisadores, que a flexibilidade e a resistência da fibra parecem ser os principais fatores influenciando o dobramento.

Os resultados obtidos neste trabalho parecem indicar forte correlação entre densidade básica da madeira e resistência ao dobramento. A celulose de E. saligna de 5 anos apresentou os melhores resultados nos três graus de refinação utilizados para as comparações, enquanto que aquela de E. alba de 7 anos portou-se como a pior, apresentando os valores mais baixos ao longo da moagem.

No que se refere ao peso específico aparente das fôlhas de celulose, a análise de variância dos valores observados para os diversos tratamentos, mostrou não haver diferença significativa entre suas médias, conforme se pode observar no quadro XLVIII . A influência do tempo de refinação foi, outra vez, altamente significativa.

A análise de variância das regressões estabelecidas para peso específico aparente em função do grau de refinação, quadro XLIX mostrou significância para os efeitos linear , quadrático e cúbico para as celuloses de E. saligna e E. alba ambos de 5 anos e E. grandis de 7 anos, ao nível de 1% de probabilidade. Para E. alba de 7 anos somente o efeito linear apresentou significância, enquanto para E. saligna de 7 anos, além dêsse efeito houve também significância para a regressão de natureza cúbica.

Quando as comparações entre os diversos tratamentos foram feitas a níveis determinativos de refinação, notou-se que inicialmente (30 °SR) , apenas a celulose de E. alba de 7 anos diferiu daquelas produzidas com E. saligna contado nas duas idades estudadas, conforme se observa no quadro L.a . No ponto seguinte da curva de moagem, isto é, a 45 °SR , o E. alba de 7 anos continuou



inferiorizado pelos mesmos tratamentos e mais o E. grandis de 7 anos, como mostra o quadro L.b .

Do ponto mais elevado da curva de refinação, utilizado para as comparações, isto é, a 60<sup>3</sup>SR as celuloses de E. saligna de 5 e 7 anos, embora não diferindo entre si, superam os demais tratamentos, como se pode notar no quadro L.c .

Uma vez mais verifica-se que existem diferenças acentuadas entre as celuloses dos tratamentos cujas madeiras apresentam as densidades extremas, isto é, E. saligna de 5 anos e E. alba de 7 anos.

A relação entre peso específico aparente das fôlhas e as características físicas e anatômicas da madeira foram estudadas por ARTUZ-SIEGEL e colaboradores (1966) . Trabalhando com essências folhosas verificaram que a 450 ml e 300 ml CSF (Canadian Standard freeness) o peso específico aparente de suas fôlhas de celulose variava de 0,488 a 0,729 g/cm<sup>3</sup>, e era altamente influenciado pela relação largura do lumen / diâmetro da fibra (L/D) . Esse efeito resulta da tendência das fibras com elevada relação L/D tomarem a forma de fitas mais prontamente, produzindo assim maior compactação nas fôlhas.

Segundo o mesmo DIMWOODIE (1965) , há uma concordância mais ou menos geral, de que o volume específico aparente de celulose, que é o inverso de seu peso específico aparente, é diretamente proporcional à densidade básica da madeira ou à alguma característica altamente correlacionada com a mesma como percentagem de madeira cutonal ou a relação espessura da parede / diâmetro do lumen.

Aquilo mesmo autor utilizando análise de regressão múltipla, verificou que dentro da amplitude das dimensões das fibras, considerada em seu estudo, a espessura da parede foi ligeiramente mais significativa que a relação comprimento / diâmetro de fibra e que regressões incluindo ambas as variáveis foram responsáveis por 76 a 90% da variação no volume específico aparente da celulose refinada.

BAREFOOT e colaboradores (1966) verificaram que em vários níveis de refinação a densidade básica da madeira livre de extrativos foi, o melhor indicador individual do peso específico aparente de celulose, variando inversamente.

A relação de Runkel ( $2 w/l$ , onde  $w$  representa a espessura da parede e  $l$  o diâmetro do lumen) foi a melhor das relações embora ainda inferior à densidade básica da madeira.

Com referência à refinação das celuloses observa-se que a análise da variância dos resultados obtidos para grau de refinação em relação a tempo de refinação mostra haver diferença entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade quando se aplica o teste F para a comparação, conforme se observa no quadro IX. Quando se determina a diferença mínima significativa, pelo teste de Tukey notam-se que as médias não diferem estatisticamente entre si, como mostra aquêles mesmo quadro.

Verifica-se, entretanto, que as celuloses de E. saligna de 5 anos e de E. grandis de 7 anos embora não diferindo entre si, diferem estatisticamente daquelas obtidas de E. saligna e E. alba ambos de 7 anos quando a comparação é feita em cada um dos tempos de refinação. A da celulose de E. alba de 5 anos, é semelhante àquelas dos dois primeiros tratamentos mencionados, mas difere dos dois últimos a 60, 90, 120 e 150 minutos.

O menor tempo dispendido pelas celuloses de E. saligna de 5 anos e de E. grandis de 7 anos para atingir um determinado grau de refinação representa resultado de grande interesse industrial pois implica em menor consumo de energia para obter os mesmos valores para a maioria das propriedades da celulose, estudadas no presente trabalho.

ARTUZ-SIEGEL e colaboradores (1968) verificaram que as celuloses de diversas espécies folhosas analisadas apresentavam valores crescentes para grau de moagem na razão inversa da densidade básica de suas madeiras, e da espessura da parede de suas fibras, antes do início da refinação.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam as conclusões daqueles autores, no entanto, se levarmos em conta que o comportamento das várias celuloses a 30 minutos foi uma repetição do que sucedeu sem refinação, dados estes que não aparecem no trabalho, mas que foram obtidos pelo autor.

WANGAARD (1962) em seu estudo de celulose de folhosas verificou que 84% da variação no grau de refinação era devido à espessura da parede da fibra. Quanto maior a densidade menor o grau de refinação atingido no mesmo tempo.

As conclusões daquele autor podem ser atribuídas, pelo menos parte das diferenças encontradas para os diversos tratamentos, quando o grau Schopper Riegler é relacionado com o tempo de moagem, principalmente no que se refere aquelas existentes entre os tratamentos de densidades extremas.

O comportamento diferente das curvas de refinação de *E. saligna* e *E. grandis*, ambas de 7 anos, parece não estar de acordo com as conclusões de diversos autores consultados. É possível que se possa atribuir esse fato a prováveis diferenças entre outras características das fibras que não espessura da parede, ou ainda a alguma relação entre elas. Aliás, DIMWOODIE (1965) trabalhando com coníferas observou influência do comprimento de fibra e da relação comprimento: diâmetro da fibra, além da espessura da parede, na refinação de celulose.

No que diz respeito ao rendimento industrial de celulose verificou-se não haver diferença significativa entre os tratamentos quer comparando-se os rendimentos brutos ou os depurados, como se pode depreender da análise de variância apresentada nos quadros II e III.

Alguns autores, entre os quais MITCHELL (1956) e WATSON (1961) observaram haver correlação positiva entre rendimento e densidade da madeira.

Por outro lado KURRLE (1963) trabalhando com *Picea rubens*, menciona existir uma tendência para menor percentagem de rendimento associada a madeira de maior densidade básica.

É provável, que o fato de os cozimentos do presente experimento terem sido conduzidos de modo a acrescentar o mesmo número de permanganato tenha sido a causa da semelhança dos rendimentos. Aliás, COLE e colaboradores (1966) trabalhando com três espécies de coníferas e comparando-as a uma mesma percentagem de rendimento verificaram não haver diferença significativa entre os respectivos números de kappa.

Entretanto, BAREFOOT e colaboradores (1966) relata resultados conflitantes no que diz respeito à influência da densidade da madeira no rendimento quando comparando celuloses com número de permanganato igual a 25,0. Concluem afirmando serem necessários maiores estudos para esclarecer êsse ponto.

Embora não tenha havido diferenças significativas entre os rendimentos das celuloses das espécies e idades estudadas, os resultados gerais verificados para as propriedades físico-mecânicas indicam a superioridade daquela obtida de E. saligna de 5 anos. Torna-se necessário, entretanto, estudar as possibilidades de adotar um manejo florestal adequado que venha permitir o seu corte àquela idade.

Embora a produção de madeira seja naturalmente menor aos 5 anos de idade se comparada àquela obtida aos 7 anos, nas condições atuais de trabalho, é possível que as diferenças existentes possam ser reduzidas, ou quiçá, eliminadas, se forem empregadas mudas obtidas de sementes selecionadas e fertilização mineral, além de outras práticas silviculturais, técnica e economicamente viáveis.

Ressalte-se ainda o aspecto financeiro envolvido na antecipação do recebimento do capital inicialmente investido e a possibilidade de obter um corte a mais no período total de rotação que, atualmente é de 20 a 22 anos.

Outro aspecto que pode ser considerado positivo é o que diz respeito aos resultados alcançados pela celulose de E. grandis. Relegado sempre a um terceiro plano, dentre as espécies estudadas, apresentou características tecnológicas que indicam o seu maior aproveitamento nos reflorestamentos que vem se realizando em extensas áreas do Brasil.

Êsses resultados vieram mostrar ainda a imediata necessidade de se estudar a madeira de E. grandis cortada aos 5 anos de idade, a qual deverá, provavelmente, apresentar resultados bastante semelhantes àquêles obtidos com E. saligna de 5 anos, dadas as características botânicas comuns das duas espécies.

## 6 - RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo comparar a madeira obtida de Eucalyptus saligna Smith e Eucalyptus alba Rainw de 5 e 7 anos e Eucalyptus grandis Hill et Linden de 7 anos para a produção de celulose sulfato.

Foram utilizadas 15 árvores por espécie e por idade (tratamento) em 3 repetições de 5 árvores. De cada lote de 5 árvores, após sua transformação em cavacos, foram retiradas amostras e realizados 4 cozimentos pelo processo sulfato. Foram feitos 12 cozimentos por tratamento, em 3 repetições, perfazendo um total de 60 cozimentos.

As condições de cozimento foram estabelecidas de modo que a celulose obtida tivesse número de permanganato igual a  $15,0 \pm 1,0$ . Visou-se com essa medida poder comparar as celuloses obtidas com teor de lignina praticamente iguais.

A refinação da celulose foi feita em moino Jokro-Mühle, a 150 rpm, a consistência de 6%, e 6 tempos igualmente espaçados, a partir de 30 minutos e até 150 minutos.

Para a realização dos ensaios físico-mecânicos foram preparadas 7 folhas por tempo de refinação, ou sejam 42 por cozimento, num total de 2.520 folhas, utilizando-se desfibrador tipo Høthen-Rapid de dois secadores.

Foram investigadas as seguintes propriedades físico-mecânicas da celulose: resistência à tração, ao arrastamento, ao rasgo e ao dobramento e o vâso específico aparente.

Com os dados obtidos foram estabelecidas equações de regressão para cada propriedade físico-mecânica da celulose de todos os tratamentos, em função do grau de refinação.

A comparação das celuloses obtidas para cada uma das propriedades estudadas foi feita em níveis de refinação de 30, 45 e 60 °SR.

Devido ao elevado número de dados e à complexidade das análises realizadas os cálculos foram feitos com auxílio de computador eletrônico IBM-1130-4K, da E. S. A. "União de Luízes".

Da discussão dos resultados podem ser tiradas as conclusões seguintes:

1) A celulose sulfato de madeira de E. saligna cortado aos 5 anos de idade apresentou, aos níveis de refinação de 30, 45 e 60 °SR, maior resistência à tração, ao arrebatamento, ao dobramento e maior peso específico aparente que os outros tratamentos.

2) A celulose sulfato de madeira de E. alba cortado aos 7 anos de idade apresentou, aos mesmos níveis de refinação de 30, 45 e 60 °SR, ~~menor~~ <sup>menor</sup> resistência à tração, ao arrebatamento, ao dobramento e menor peso específico aparente que os outros tratamentos.

3) A celulose sulfato de madeira de E. grandis de 7 anos, embora mostrando comportamento semelhante a de E. saligna de 7 anos e de E. alba de 5 anos, no que se refere à resistência à tração, a 30, 45 e 60 °SR, tende a apresentar certa superioridade em relação àqueles dois tratamentos.

4) As celuloses sulfato de E. saligna e de E. grandis, ambos de 7 anos, apresentaram valores semelhantes para resistência ao arrebatamento a 30 e 45 °SR, havendo tendência para pequena superioridade daquela de E. saligna a 60 °SR. E. alba de 5 anos foi inferior a êsses dois tratamentos naqueles pontos.

5) Não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas na resistência ao dobramento quer entre as celuloses sulfato de E. grandis de 7 anos e de E. saligna de 5 anos quer entre aquelas de E. saligna de 7 anos e de E. alba de 5 anos aos graus de refinação estabelecidos para as comparações.

6) A celulose sulfato de E. saligna de 7 anos não diferiu estatisticamente daquela obtida da mesma espécie cortada a idade jovem no que se refere ao peso específico aparente aos níveis de moagem considerados.

7) A celulose de E. saligna de 7 anos foi a que apresentou maior resistência ao rasgo a 30 °SR, superando os outros tratamentos, com exceção daquela obtida de madeira da mesma espécie cortada aos 5 anos da qual não diferiu estatisticamente.

8) Ao nível de refinação de 45 °SR as celuloses sulfato de E. saligna de 5 e 7 anos e de E. alba de 7 anos apresentaram os maiores valores para resistência ao rasgo. Embora não diferindo entre si, superaram os outros dois tratamentos.

9) A 60 °SR a celulose sulfato de E. alba de 7 anos apresentou a maior resistência ao rasgo não diferindo estatisticamente apenas daquela obtida de E. saligna de 5 anos, embora mostrasse tendências para superar também este tratamento.

10) Há evidências palpáveis de que os resultados obtidos para as propriedades físico-mecânicas das celuloses estudadas estejam correlacionados com a densidade básica de suas madeiras, especialmente aqueles encontrados para E. saligna de 5 anos e E. alba de 7 anos.

11) A determinação de equações de regressão para as propriedades físico-mecânicas pode ser um útil meio auxiliar para o controle de qualidade nas indústrias de celulose.

12) Houve predominância de equações de regressão de natureza quadrática para resistência à tração e resistência ao rasgo e de natureza cúbica para peso específico aparente quando essas propriedades físico-mecânicas da celulose sulfato foram relacionadas com grau de refinação.

13) A celulose sulfato de E. saligna de 5 anos e de E. grandis de 7 anos refinaram mais rapidamente que as obtidas dos outros tratamentos. Aquelas feitas com madeira de E. saligna e E. alba, ambos de 7 anos, apresentaram refinação semelhante mas inferior às demais.

14) Não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as percentagens de rendimento bruto ou depurado das celuloses estudadas.

15) Com base nos resultados obtidos, o E. saligna deve ser a espécie preferida para a produção de celulose sulfato branqueável. Recomenda-se, entretanto, o estudo de práticas florestais, técnica e economicamente adequadas, que permitam adotar uma rotação de 5 anos para sua melhor utilização em termos industriais.

16) Dentro do manejo florestal adotado nas condições reinantes no país, onde o corte dos povoamentos de eucalipto é realizado aos 7 anos de idade, recomenda-se maior incentivo ao reflorestamento com E. grandis dada a superioridade geral das propriedades físico-mecânicas de sua celulose quando comparada àquela obtida de E. alba.

17) Os resultados obtidos para a celulose sulfato de E. grandis de 7 anos, indicam a necessidade de imediatos estudos da madeira dessa espécie cortada aos 5 anos, a qual deverá, provavelmente, comportar-se de maneira bastante semelhante ao E. saligna de 5 anos, dadas as suas características botânicas comuns.

18) Nos casos de utilização de povoamentos já existentes de E. alba, para a produção de celulose sulfato branqueável, a sua exploração deverá ser realizada preferivelmente quando os maciços florestais estiverem com 5 anos.



## 7 - SUMMARY AND CONCLUSIONS

The purpose of this experiment was to compare the sulfate pulps from the wood of 5- and 7- year old Eucalyptus saligna (Smith) and Eucalyptus alba (Reinw) and 7-year old Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden) .

Fifteen trees per species and age (treatment) were used in three repetitions of 5 trees each. After chipping, four samples were taken from each lot of 5 trees for cooking by the sulfate process. Therefore, 12 cooks were made per treatment for a total of 60 cooks.

Cooking conditions were established to obtain bleachable pulp with a permanganate number of  $15,0 \pm 1,0$  . The objective was to compare pulps with practically the same amount of lignin.

The pulp was beat in 6 times, at a consistency of 8% with a Jokro-Muhle laboratory refiner, at 150 r.p.m. , every 30 minutes beginning with 30 minutes.

Seven pulp sheets per beating time for a total of 42 sheets were prepared in a Kothen-Rapid sheet forming machine. Therefore 2,520 sheets were made for the five treatments.

The following physical-mechanical properties of the pulps were studied: tensile and bursting strengths ; tear resistance ; fold endurance and sheet density.

The data were used to establish regression equations relating each physical-mechanical property of pulp to the degree of slowness as measured by the Schopper-Riegler method.

The properties of the pulps were compared at 30 , 45 and 60 °SR of slowness.

Due to the large amount of data obtained and to the complexity of the statistical analyses the necessary calculations were carried out on the IBM-1130-4K computer of E. S. A. "Luiz de Queiroz" .

The following conclusions were determined from the analyses of the results:

- 1) The sulfate pulp of 5- year old E. saligna showed the highest tensile and bursting strengths, folding endurance and sheet density, at 30 , 45 and 60 °SR of slowness.
- 2) The sulfate pulp of 7- year old E. alba showed the lowest tensile and bursting strengths, folding endurance and sheet density at the same 30 , 45 and 60 °SR of slowness.
- 3) The sulfate pulps of E. grandis and E. saligna , both cut at 7 years of age, and that of 5- year old E. alba showed similar behavior as to tensile strength, at 30 , 45 and 60 °SR of slowness. It was observed, however , that the pulp from E. grandis tended to be slightly superior to the other two treatments.
- 4) Similar results for bursting strength were obtained for the sulfate pulps from E. saligna and E. grandis, both of 7 years, at 30 and 45 °SR of slowness. The former showed a slight superiority over the latter at 60 °SR . The pulp from 5- year old E. alba was inferior to both of the others at the three levels of slowness.
- 5) No statistically significant differences were observed in folding endurance either between the sulfate pulps of 7- year old E. grandis and 5- year old E. saligna or between the 7- year old E. saligna and 5- year old E. alba at the three slowness levels established for the comparisons.
- 6) No statistically significant differences were observed in sheet density values between the sulfate pulps obtained from E. saligna cut at the two different ages, at 30 , 45 and 60 °SR of slowness.
- 7) The sulfate pulp of 7-year old E. saligna showed the highest tear resistance at 30 °SR which was statistically different from the other treatments with the exception of the younger wood of the same species.

8) At 45 °SR of slowness, the best results for tear resistance were attained by the sulfate pulps from E. saligna, of both ages, and from 7- year old E. alba. Their similar behavior was superior, however, to those obtained from the other two treatments.

9) At 60 °SR of slowness, the tear resistance reached by the sulfate pulp from 7- year old E. alba was the highest and differed statistically from all treatments except the 5-year old E. saligna, even though a certain tendency for the inferiority of the last mentioned treatment, was observed.

10) There was strong evidence that the results obtained for the physical-mechanical properties of the sulfate pulps, from the various treatments, were correlated with the basic density of the woods, specially those obtained from the pulps of 5- year old E. saligna and 7- year old E. alba.

11) The determination of regression equations for the physical-mechanical properties may be useful as an auxiliary means in the quality control of production in pulp mills.

12) The regression equations relating tensile strength and tear resistance to pulp slowness were predominantly of the quadratic type. While for sheet density most of the equations were of the cubic type.

13) The sulfate pulps of 5- year old E. saligna and 7- year old E. grandis beat at a faster rate than those obtained from other treatments. The slowest pulps were the E. saligna and E. alba, both with 7 years.

14) No statistically significant differences were obtained either between total yields or screened yields of the sulfate pulps investigated.

15) Based on the results of this experiment, *E. saligna* should be considered the most desirable species for the production of bleachable sulfate pulp. It is recommended, however, that the technical and economic aspects of silvicultural practices, be investigated, to determine if a rotation of five years is possible which would permit a better utilization of this species from an industrial point of view.

16) The forest management practices adopted in this country indicate a cutting cycle of seven years for eucalypt stands. Given these circumstances, it is recommended that a greater incentive be placed on the planting of *E. grandis* in the reforestation programs, due to the general superiority of its pulp as compared to that from *E. alba*.

17) The results obtained by the sulfate pulp of *E. grandis* of seven years indicate an immediate necessity of investigating the five-year old wood of this species, which probably will show a similar behavior to *E. saligna*, cut at 5 years, due to its common botanical characteristics.

18) The results indicate that if the existing stands of *E. alba* are utilized for production of bleachable sulfate pulp the plantations should be cut when 5 years old.

3 - BIBLIOGRAFIA

- ALGAR, W. H. , H. W. HANSEN & K. LINKE. 1959. The bleaching of eucalypt kraft pulp at the Maryvale mill of Australian Paper Manufacturers Ltd. TAPPI 42 (2): 174A - 177A . In Chem. Abstr. 53: 13.592 (1959) .
- AMICI, V. & F. PASTINA. 1961. Mechanical pulp from Eucalyptus camaldulensis. Cellulosa e carta (Roma) 17 (3): 17-34. In Chem Abstr. 55: 7.825 (1961) .
- ANDRADE, E. M. de. 1961. O Eucalipto. Cia Paulista de Estradas de Ferro. Jundiai, S. P. 667 p.
- ARTUZ-SIEGEL, E. A. , F. F. WANGAARD & F. N. TAMOLANG. 1968. Relationships between fiber characteristics and pulp-sheet properties of Philippine hardwoods. TAPPI 51 (6): 261-267 .
- AUSTRALIA DIVISION OF FOREST PRODUCTS. 1953. Commonwealth Sci. Ind. Research Organization, Div. For. Prod. Ann. Rept. 1952/53. 42 p. In TAPPI monograph series n.º 24: 20 (1962) .
- BARBADILLO, P. 1967. Summary of Spanish experiments on the pulping of eucalypts. APPITA 21 (2): 27-40. In Chem. Abstr. 68: 14.180 (1968) .
- BAREFOOT, A. C. , R. G. HITCHINGS & E. L. ELLWOOD. 1966. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines. III. Effect of fiber morphology in pulps examined at a constant permanganate number. TAPPI 49 (4): 137-147 .
- BARRICHELLO, L. M. G. 1968. Celulose sulfato de kiri e eucalipto. 1.ª Convenção Anual ABCP. São Paulo. 16 p.
- BASTOS, A. M. 1961. O eucalipto no Brasil. II.ª Conferência Mundial do Eucalipto, Relatório e Documentos 1: 214-221 .

- BOSIA, A. 1961. Bleaching of groundwood pulp of Eucalyptus wood. *Celulosa e carta* 12 (4): 5-13. In Chem. Abstr. 55: 7.830 (1961) .
- 1963. Characteristics of paper made from six Eucalyptus species. *Cellulosa e carta*. In Chem. Abstr. 59: 11.754 (1963) .
- , et al. 1965. Papermaking characteristics of six Eucalyptus species. *Cellulosa e carta* 16 (9): 7-27. In Chem Abstr. 64: 6.804 (1965) .
- BUGG, E. J. 1958. Latest data on cold soda pulping at Australian newsprint mills. *Paper Trade Journal* 142 (51): 26-8. In Chem. Abstr. 53: 9.665 c , (1959) .
- BUGG, E. J. & A. J. PEARSON. 1958. Manufacture of cold soda pulp from Eucalypt woods. *Paper Trade Journal* 142 (51): 16-24. In Chem. Abstr. 53: 9.665 b (1959) .
- CARVALHO, J. S. 1959. Pastas semiquímicas e químicas de Eucalyptus saligna Smith. Dir. Geral Serv. Flor. Aquic. Min. Econ. Alcobaga. Portugal. 42 p.
- CENTOLA, G. 1963. The possibilities of utilization of some hardwoods in the paper industry. *Ind. Carta* 1 (5): 216-28. In Chem. Abstr. 60: 759 (1964) .
- CEPAL. 1962. El papel y la celulosa en America Latina. Situacion actual y tendencias futuras de su demanda , producción e intercambio. Naciones Unidas , Nueva York. 95 p.
- COHEN, W. E. 1960. Papermaking properties of dense Eucalypt woods. I. effect of physical treatments and chemical additives on Eucalyptus hemiphloia sulfate pulps. *APPITA* 14: 108-26. In Chem. Abstr. 55: 5.944 (1961).

- COLE, D. E. , B. J. ZOBEL & J. M. ROBERTS. 1966. Slash , loblolly and longleaf pine in a mixed natural stand: A comparison of their wood properties , pulp yields and paper properties. TAPPI 49 (4): 161-166 .
- COMISSÃO DE SOLOS. C. N. E. P. A. 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Serv. Nac. Pesq. Agron. Bol. 12. 634 p.
- DADSWELL, H. E. 1960. Tree growth-wood property inter-relationships. X. What-are the essential wood characteristics for various purposes and why ? Proceedings special field Institute in Forest Biology. The School of Forestry. N. C. State , Univ. N. Carolina. Raleigh. North Carolina. 248 p.
- & A. J. WATSON. 1962. In bolam's "Formation and structure of paper". British Paper and Board Maker's Assn. p. 537-72 .
- DEAN, J. C. , C. M. SAUL & C. H. TURNER. 1968. Potential Eucalypt cold soda pulp for producing bleached greaseproof papers. APPITA 22 (1): 30-44. In Chem. Abstr. 69: 107.703 (1968) .
- DESCH, H. E. 1932. Anatomical variations in the wood of some Dicotyledoneous trees. New Phytologist 31: 73-118 . In TAPPI monograph. Series n.º 24: 173 (1962) .
- DINWOODIE, J. H. 1965. The relationship between fiber morphology and paper properties: a Review of literature. TAPPI 48 (3) 440-447 .
- FERREIRA, M. 1968. Estudo da variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba Reinw e Eucalyptus saligna Smith. Tese de doutoramento, ESALQ - USP . Piracicaba.
- 1969. Informações Pessoais. ESALQ - USP. Piracicaba.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1958. Summary of pulping and paper making experiments on Eucalyptus. 1926 to June 1957. For Prod. Lab. US. Dept. of Agric. For Serv. Bull. 2.126 .

- GRAYBILL, F. A. 1961. An introduction to linear statistical models. Vol. 1. New York, MacGraw-Hill Book Co., Inc.
- GUHA, S. R. D. 1967. Chemical, semichemical and mechanical pulps from Eucalyptus grandis. Indian Forester 93 (11): 820-828 .
- HIGGINS, H. G. 1969. Fibras longas e curtas na fabricação de papel. III.º Seminário de papel e cartão, ABCP . São Paulo.
- , A. J. MICHELL & A. J. WATSON. 1967. Some basic aspects of NSSC pulping. APPITA 20 (6): 126-136 . In Chem. Abstr. 67: 45.C11 (1967) .
- INSTITUTE OF PAPER CHEMISTRY. 1944. Instrumentation studies. XXVI. Paper trade J. 118 (5): 13. In Dinwoodie's Paper TAPPI 48 (6): 440-447 .
- JAYNE, G. & F. BRANSCHIED. 1959. High strength sulfite pulps from Eucalyptus saligna. Das Papier 13: 284-286 .
- et al. 1943. Über die eignung ein- und zehnjährigen pappelholzes zur zellstoff gewinnung. Holz Roh-u Werkstoff 6: 1-16 . In TAPPI monograph series n.º 24: 342 (1962) .
- KAUSHIK, R. G. & I. M. QURESHI. 1969. Planning for industrial plantations. The Indian Forester 95 (1): 5-14 .
- KOSMÁL, F. & O. CERVINKA. 1959. Pulping trials of eucalypts. Papir a celuloza 14: 196-198. In Chem. Abstr. 54: 866 (1960) .
- KROGH, G. & J. WARREN. 1965. O Uso de celulose de eucalipto na produção de papel. ATCP (México) 5 (5): 368-372 .
- KURRLE, F. L. 1963. Nitric acid digestion of logging residues of red spruce. TAPPI 46 (4): 267-272 .



- LEONE, J. E. & ASSOCIADOS - CONSULTORES INDUSTRIAIS. 1969. Análise estatística sobre a estrutura da indústria brasileira de celulose e papel. III Seminário de papel e cartão, ABCP. São Paulo.
- LYBBY, C. E. 1962. Pulp and paper science and technology. Vol. I. New York McGraw-Hill Book Company Co., Inc. 436 p.
- LYON, M. G. 1960. Pulping, bleaching and utilization of southern hard-woods. The Champion Paper and Fibre Company. U.S.A. (Conferência não publicada).
- MARKOV, I. G. & V. G. MATSELO. 1968. Use of poplar wood in the paper and pulp industry. Bum. Prom. (5): 8-10. In Chem. Abstr. 69: 20,556 (1968).
- MAZZEI, F. M. & W. OVERBECK. 1966. Investigação da influência da idade nos caracteres físicos e químicos do lenho e das pastas celulósicas de Eucalyptus saligna. Inst. Pesq. Tec. Publ. n.º 758. 29 p.
- MELLER, A. 1952. Chemical pulps from Australian Eucalyptus. Tropical woods and agricultural residues as sources of pulp. FAO, Rome, Italy, 72-77.
- NELLO, H. A. 1968. Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do Estado de São Paulo, com Eucalyptus saligna Sp. Tese para provimento efetivo do cargo de Professor Catedrático. ESALQ - USP. Piracicaba.
- MONSALUD, H. R., P. V. BAWAGAN & J. O. ESCOLANO. 1965. Kraft pulping and paper-making characteristics of some Phillipine commercial hardwoods. TAPPI 48 (5): 304-308.
- MYBURGH, A. H. 1967. Kraft pulping of eucalypts in South Africa. APPITA 21 (2): In Chem. Abstr. 68: 14,173 (1968).

- OVERBECK, M. 1968. Produção de pastas celulósicas de madeiras da região amazônica. Inst. Pasq. Tec. Publ. n.º 828. 31 p.
- PEREIRA, R. A. G. 1967. Relatório de viagem à Europa (não publicado). ESALQ USP. Piracicaba.
- PHILLIPS, F. H. & A. J. WATSON. 1962. Pulping studies on three Eucalyptus species from Western Australia. Div. For. Prod. Tec. Paper n.º 18, 24 p. In Chem. Abstr. 57: 4.912 c (1962) .
- PINHEIRO, J. F. 1961. Operações silviculturais. Rotações. Produções. Objetivos das plantações (América Latina). II.<sup>a</sup> Conferência Mundial do Eucalipto. Relatório e Documentos I: 667-671 .
- PRYOR, L. D. 1968. Relatório de viagem de inspeção às plantações de eucaliptos no Estado de São Paulo. (não publicado).
- 1969. Informações Pessoais. ESALQ - USP. Piracicaba.
- RYDHOLM, S. A. 1965. Pulping processes. London, Interscience Publishers, John Wiley and Sons, Inc. 1.269 p.
- & L. F. GEDDA. 1967. Quality and economy of pulps in fine paper production. Paper Technology 8 (3): 217-227 .
- SANTOS, C. F. O. 1961. Mensuração das fibras lenhosas dos diferentes anéis de crescimento de Eucalyptus saligna Smith. Rev. Agric. 36 (4): 219-223 .
- SCARAMUZZI, G. 1961. Wood fibre dimensions of some young Italian grown eucalypts. II.<sup>a</sup> Conferência Mundial de Eucalipto, Relatório e Documentos II: 1.289-1.294 .
- 1961. First data on the volume proportions of wood tissues in some Italian grown eucalypts. II.<sup>a</sup> Conferência Mundial de Eucalipto, Relatório e Documentos II: 1.351-1.357 .

- SCARAUZZI, G. 1965. The relationship of fibre wall thickness , fibre diameter and percentage of summer wood (latewood) to specific gravity. Proc. Meeting IUFRO. Sec. 41: Vol. 2. (numeração não consecutiva). Australia.
- SCOTT, M. H. 1940. The utilization of South African grown Eucalyptus saligna. African For. Assoc. 4: 46-54 . In TAPPI monograph series n.º 24: 722 (1962) .
- SOMMERVILLE, J. L. & J. S. BURKITT. 1951. Physical aggregation of eucalypt groundwood. Australian Pulp-Paper Ind. Tech. Assoc. Proc. 5: 146-169. In TAPPI monograph serie n.º 24: 753 (1962) .
- & A. J. PEARSON. 1958. Application of cold soda process in the use of eucalypts for newsprint manufacture. APPITA 12: 57-72 . In Chem. Abstr. 57: 6.665. (1959) .
- SPURR, S. H. & H. HSIUNG. 1954. Growth rate and specific gravity in conifers. J. Forestry 52 (3): 191-200 .
- SRIVASTAVA, J. S. & G. H. BATHUR. 1964. Chemical pulps for writing and printing papers from Eucalyptus grandis. Indian Pulp Paper 19 (3): 215-216 . In Chem. Abstr. 62: 16.499 (1965) .
- STANFORD RESEARCH INSTITUTE. 1954. America's demand for wood, 1929/1957 . Report to Weyerhaeuser Timber Company. 250 p.
- STEWART, C. L. & A. J. HATSON. 1961. Chemical utilization of the eucalypts. II.ª Conferência Mundial do Eucalipto , Relatório e Documentos II: 1.279-1288 .
- TIMOLANG, F. F. & F. F. WANGAARD. 1961. Relationships between hardwoods fiber characteristics and pulp-sheet properties. TAPPI 44 (3): 201-216 .

- TAPPI, 1960. Forest Biology Committee meeting. TAPPI 43 (11): 40A - 46A .
- 1967. Testing methods and recommended practices. 2 vol. The Tech. Assoc. of Pulp and Paper Ind. New York. U.S.A.
- TEICHER, J. 1961. A fabricação de papel de imprensa com pastas de eucalipto. IIª Conferência Mundial do Eucalipto , Relatório e Documentos II: 1.302-1.308 .
- TODA, F. & T. MIJIMA. 1961. Relationship among Sieber , chlorine and permanganate numbers and lignin content of unbleached pulp. Kamiga Gakkyoshi 15: 442-449 . In Chem. Abstr. 59: 11.753 (1963) .
- V. Z. P. C. I. 1949. Herkblatt der vereine der zellstoff und papier-chemiker und ingenieure. Germany.
- WANGAARD, F. B. 1962. Contributions of hardwood fibers to the properties of kraft pulps. TAPPI 45 (7): 540-556 .
- WATSON, A. J. 1956. Pulping characteristics of eucalypt tensim wood. Australian pulp and paper Ind. Tech. Assoc. Proc. 10: 43-59 . In TAPPI monograph series n.º 24: 830 (1962) .
- 1961. Influence of chemical constituents on the paper making properties of pulps from Eucalyptus regnans. APPITA 14 (4): 144-158 .
- 1969. Informação Pessoal. ESALQ - USP. Piracicaba.
- et al. 1952. Influence of fiber structure on pulp and paper properties. Australian pulp and paper Ind. Tech. Assoc. Proc. 6: 243-269 . In TAPPI monograph series n.º 24: 641 (1962) .

- WATSON, A. J. & H. E. DADSWELL. 1964. Paper making characteristics of short fibered pulps. APPITA 17 (6): 146-151 .
- YANDLE, D. O. 1956. Statistical evaluation of the effect of age on specific gravity in loblolly pine. U. S. Dept. Agr. , For. Serv. , Forest Prods. Lab. Rep. N<sup>o</sup> 2.049 . 15 p.
- MITCHELL, H. L. 1956. Plans for research on forest genetics at the Forest Products Laboratory. TAPPI 39 (1): 26A - 56A .

## 9 - AGRADECIMENTOS

Durante o período em que realizamos os estudos necessários à elaboração desta tese contamos com o apoio e a valiosa colaboração de diversas pessoas e organizações, às quais consignamos nosso reconhecimento e gratidão.

Ao Professor Dr. Helladio do Amaral Nello, orientador eficiente e compreensivo, pelas facilidades materiais proporcionadas e pelo estímulo constante.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, que confiando no desenvolvimento da Cadeira de Silvicultura, fez doação de todo o aparelhamento para o laboratório de celulose onde foram realizadas as pesquisas.

À Champion Celulose S. A. pelas facilidades proporcionadas,  
 - a seus técnicos do Setor Industrial,  
 - a seus engenheiros agrônomos Asdrubal Silveira Alves e Jayme Mascarenhas Sobrinho, do Departamento Florestal, pela inestimável colaboração prestada na coleta do material necessário ao presente trabalho.

Ao Professor Dr. Frederico Pimentel Gomes, pela colaboração dada no planejamento desta tese.

Ao Dr. Roland Tencovsky, pela orientação capaz e cuidadosa das análises estatísticas realizadas.

Ao Eng.<sup>o</sup>-Agr.<sup>o</sup> Cássio Roberto de Melo Godoi, pela elaboração dos programas e condução dos trabalhos de computação eletrônica.

Aos colegas da Cadeira de Silvicultura, que direta ou indiretamente sempre procuraram colaborar, especialmente ao Eng.<sup>o</sup>-Agr.<sup>o</sup> Luiz Ernesto G. Barri-chello, pelas sugestões apresentadas ao trabalho.

Ao Auxiliar de Técnico de Laboratório Antonio Luiz Gorga, da Cadeira de Silvicultura, pela boa vontade e dedicação demonstradas durante a realização dos cozimentos e testes físico-mecânicos da celulose, no que sacrificou, por várias horas de descanso.

Aos demais servidores e aos bolsistas da Cadeira de Silvicultura, pela colaboração recebida em várias fases do trabalho.

Involuntariamente, teremos, quiçá, omitido os nomes de outras pessoas que nos prestaram colaboração.

A todos, os nossos melhores agradecimentos.

## 10 - GRÁFICOS

Os gráficos obtidos a partir das equações de regressão relacionando grau de refinação com tempo de refinação e resistências à tração, ao arrebentamento, ao rasgo e ao dobramento e peso específico aparente com grau de refinação são apresentados nas páginas seguintes.



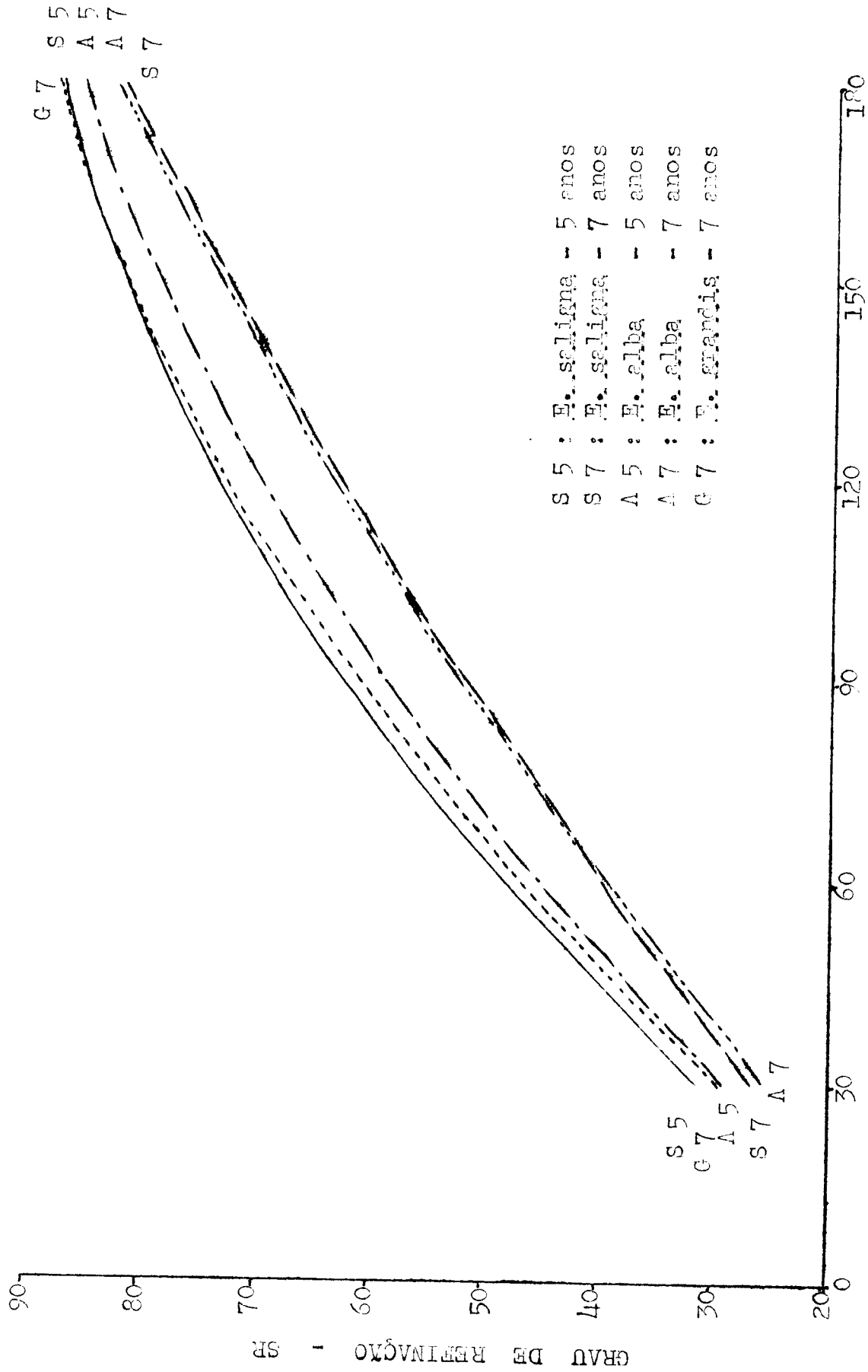
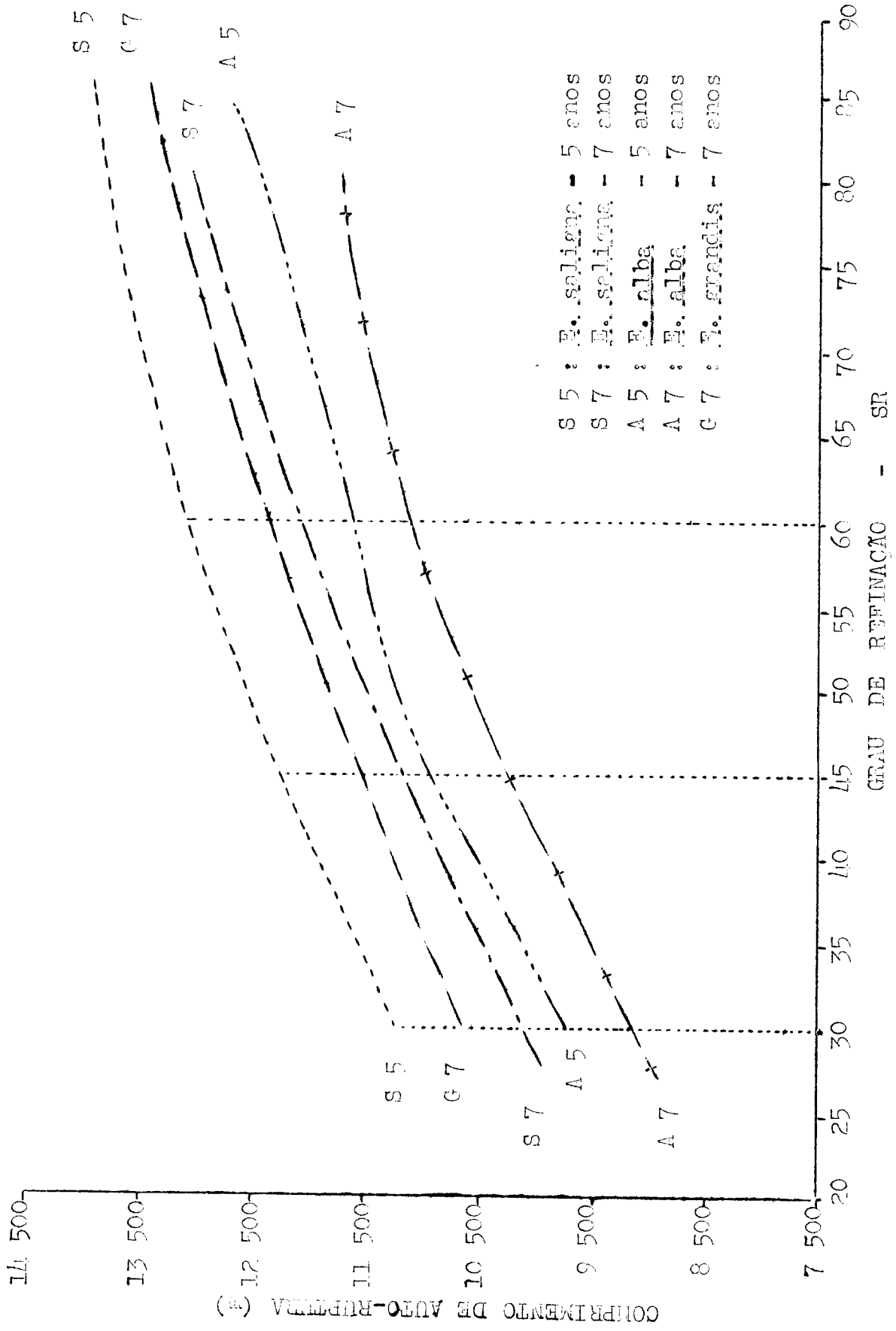


GRÁFICO I - REFINAÇÃO DAS CELULOSES



S 5 : E. salicaria - 5 anos  
 S 7 : E. salicaria - 7 anos  
 A 5 : E. alba - 5 anos  
 A 7 : E. alba - 7 anos  
 G 7 : E. grandis - 7 anos

GRÁFICO. II - CELULOSE SULFATO - RESISTÊNCIA À TRACÇÃO

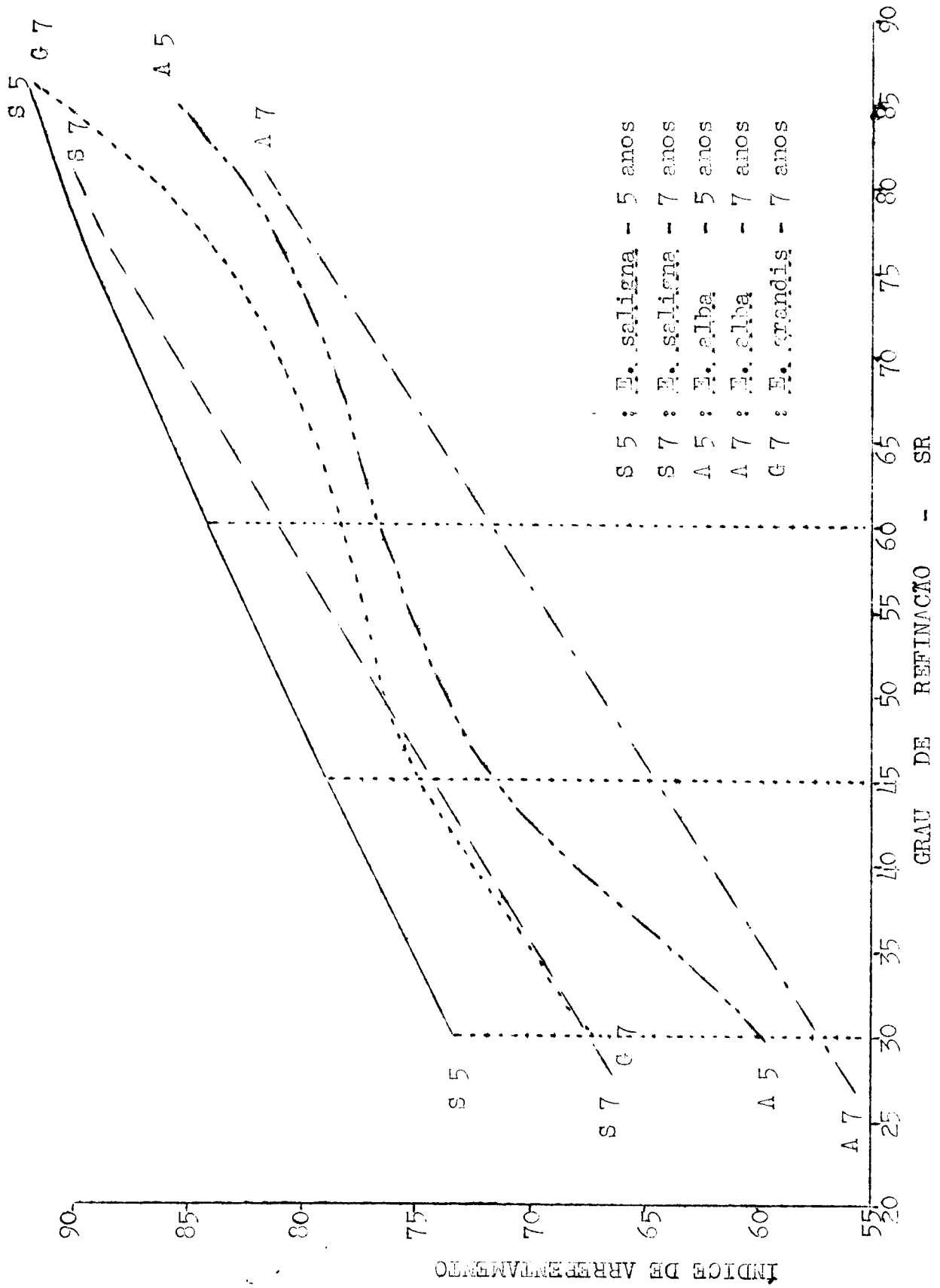


GRÁFICO III - CELULOSE SULFATO - RESISTÊNCIA AO ARRENTAMENTO

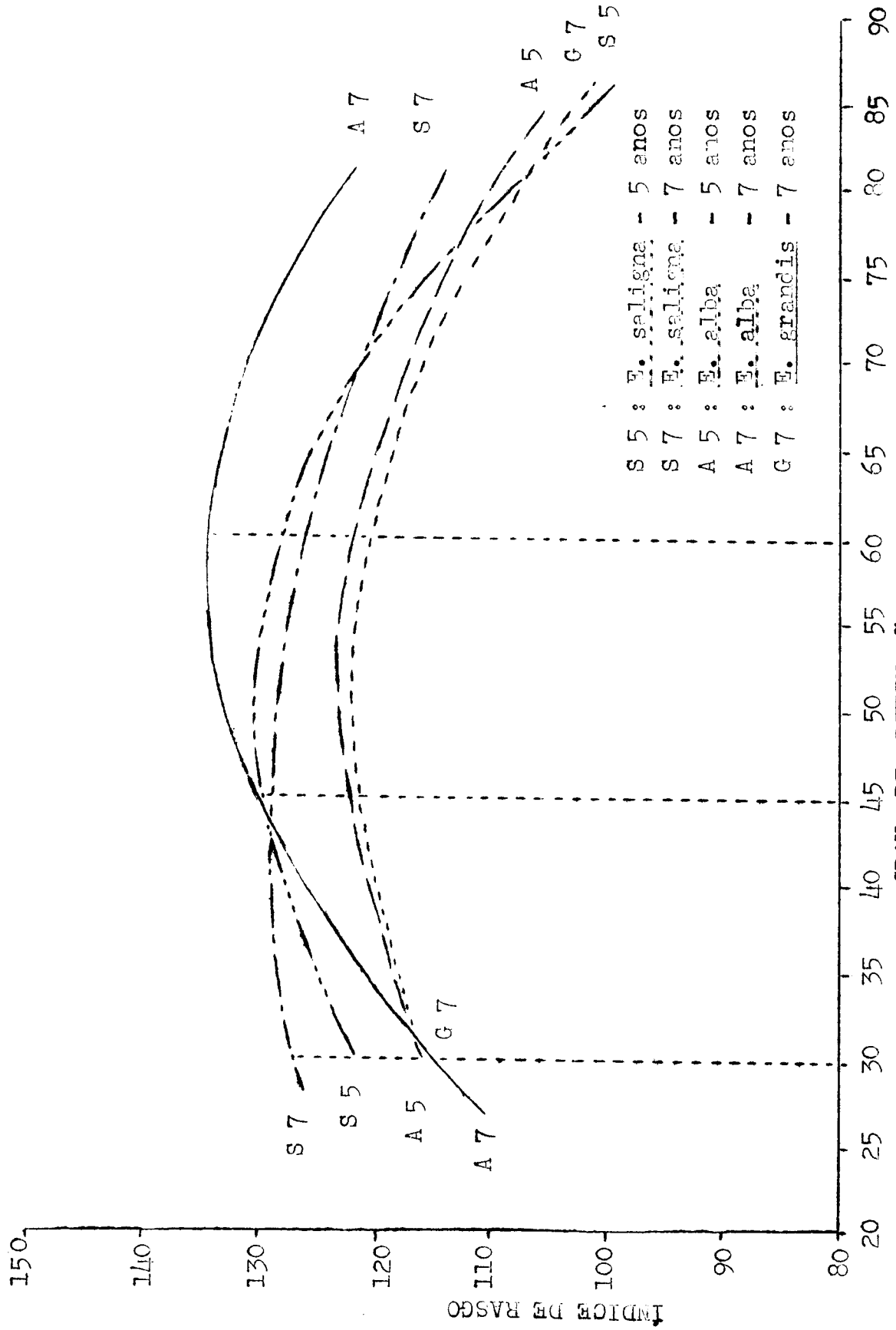


GRÁFICO. IV. - CELULOSE SULFATO - RESISTÊNCIA AO RASGO

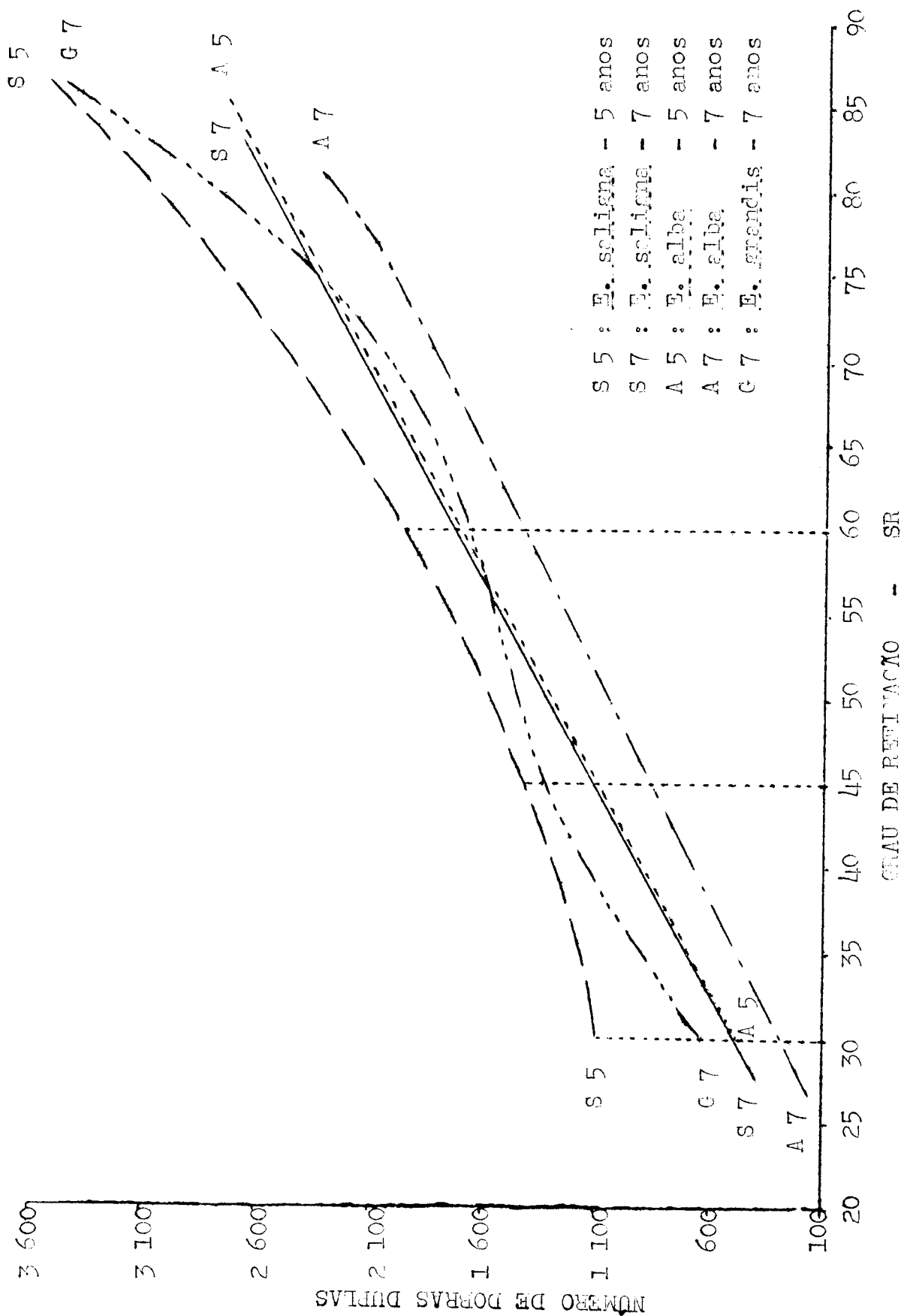
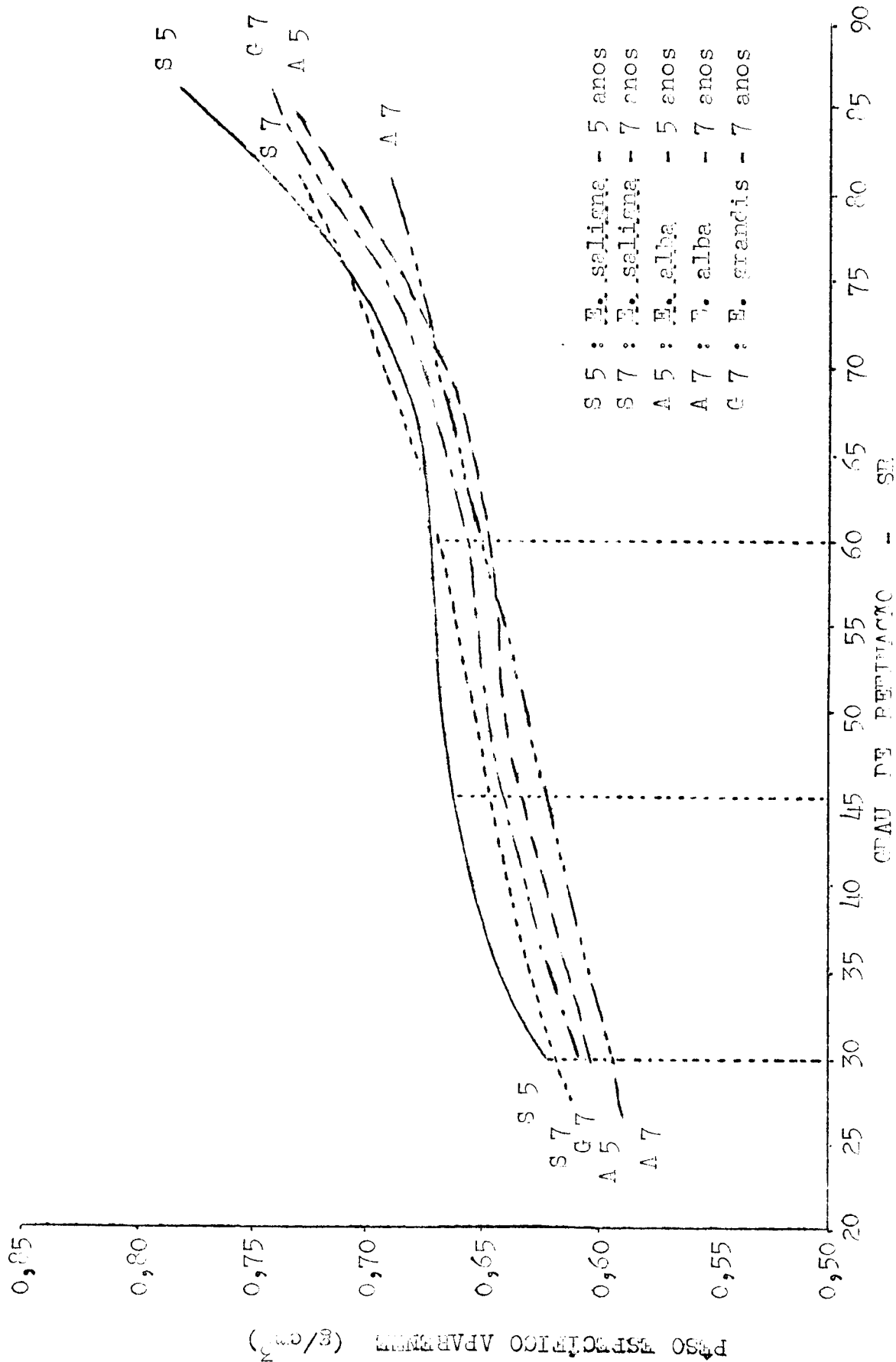


GRÁFICO V - CELULOSE SULFATO - RESISTENCIA AO DOBRAMENTO



S 5 : E. saligna - 5 anos  
S 7 : E. saligna - 7 anos  
A 5 : E. alba - 5 anos  
A 7 : E. alba - 7 anos  
C 7 : E. grandis - 7 anos

GRÁFICO VI - CÉLULOSE SULFATO - PESO ESPECÍFICO APARENTE DAS FOLHAS