

QUALIDADE DA MADEIRA E DA CELULOSE KRAFT BRANQUEADA
DE TREZE ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

GONZAGA, J.V.¹
FOELKEL, C.E.B.¹
BUSNARDO, C.A.¹
GOMIDE, J.L.²
SCHMIDT, C.¹



¹Riocell - Rio Grande Cia. de Celulose do Sul - Guaíba, Brasil
²Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, Brasil

0. Sumário

Visando a caracterização da qualidade da madeira e celulose kraft branqueada, foram ensaiadas madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. microcorys*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. propinqua*, *E. pellita*, *E. deanei*, *E. quadrangulata* e *E. andrewsii*, espécies introduzidas na região de Viçosa, estado de Minas Gerais. Na época do abate, as árvores apresentavam a idade de 54 meses.

O processo utilizado para produção de celulose foi o processo kraft, com condições de cozimento pré-estabelecidas, à exceção do álcali ativo, de modo a proporcionar polpas com número kappa na faixa de $19,5 \pm 1,5$. As polpas obtidas foram devidamente analisadas, bem como os resultados da deslignificação e seus respectivos licores de cozimento. Os branqueamentos foram efetuados pela utilização da seqüência C_1E_1DH seguida por lavagem com solução de SO_2 , tendo em vista a obtenção de polpas com alvuras finais superiores a 90% ISO.

Os valores médios relativos a parâmetros dendrométricos e silviculturais, composição química e características anatômicas, processo de deslignificação e branqueamento, bem como as propriedades físico-mecânicas e óticas das polpas branqueadas foram também comparados quanto às espécies de madeiras utilizadas.

1. Introdução

No Brasil, os estudos sobre o comportamento das espécies de *Eucalyptus* para aproveitamento industrial na produção de celulose tem-se tornado de grande importância, graças ao rápido desenvolvimento das mesmas nas condições climáticas predominantes no país.

Trabalho apresentado no III Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel - em São Paulo - Brasil - de 21 à 26 de novembro de 1983.

Infelizmente, devido à grande diversidade de espécies existentes, é difícil considerar o eucalipto como fornecedor de uma madeira bem definida para a produção de celulose. Além disso, a facilidade de hibridação entre muitas espécies do gênero colabora para uma maior desuniformidade na qualidade de suas madeiras. Estes fatores obrigam os pesquisadores a estudos visando obter maximização das características das madeiras desejadas para este fim.

Como resultado de inúmeras tentativas, a indústria nacional optou pela utilização dos *Eucalyptus grandis*, *E.urophylla* e *E.saligna*, por apresentarem madeiras relativamente similares, maior crescimento volumétrico nos primeiros anos após o plantio, além de produzirem celulose de boa qualidade. Porém, o emprego destas espécies apresenta algumas limitações, principalmente por não se comportarem satisfatoriamente em regiões susceptíveis à geadas e em regiões de clima tropical, nos quais a doença conhecida como "cancro do eucalipto" possui caráter epidêmico. Em tais situações, a indústria de celulose tem que lançar mão de outras espécies, até que haja conseguido, através de estudos de melhoramento, linhagens de *E.grandis*, *E.saligna* e *E.urophylla* resistentes às condições adversas, caso isso se mostrar necessário.

A presente pesquisa consistiu em estudar em laboratório, a qualidade da madeira e produção de celulose kraft branqueada a partir de madeiras de *E.saligna*, *E.urophylla*, *E.grandis*, *E.microcorys*, *E.camaldulensis*, *E.tereticornis*, *E.pilularis*, *E.cloeziana*, *E.propinqua*, *E.pellita*, *E.deanei*, *E.quadrangulata* e *E.andrewsii*, espécies introduzidas na região de Viçosa, estado de Minas Gerais. Essas espécies, pelo comportamento mostrado em parcelas experimentais, mostravam potencialidade para plantio em regiões sub-tropicais e tropicais.

2. Material

O material analisado nesta pesquisa foi proveniente de ensaio de competição entre 57 espécies e procedências do gênero *Eucalyptus*, localizado na região de Viçosa, MG, desenvolvido pelo Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (PRODEPEF), e atualmente coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agro-Pecuária (EMBRAPA). Apenas treze espécies, consideradas silviculturalmente potenciais para regiões tropicais e sub-tropicais foram analisadas neste estudo.

No Quadro I estão relacionadas as idades e procedências de sementes de cada parcela onde se coletaram as amostras de madeira.

ESPECIE	Idade (meses)	Procedência
<i>E. saligna</i>	54	QLD*
<i>E. urophylla</i>	54	Timor Port
<i>E. grandis</i>	54	QLD
<i>E. microcorys</i>	54	QLD
<i>E. camaldulensis</i>	54	QLD
<i>E. tereticornis</i>	54	QLD
<i>E. pilularis</i>	54	QLD
<i>E. cloeziana</i>	54	QLD
<i>E. propinqua</i>	54	QLD
<i>E. pellita</i>	54	NSW*
<i>E. deanei</i>	54	NSW
<i>E. quadrangulata</i>	54	NSW
<i>E. andrewsii</i>	54	NSW

* QLD = Queensland - Austrália

** NSW = New South Wales - Austrália

3. Metodologia e resultados

3.1. Amostragem

A amostragem para as treze espécies obedeceu ao seguinte esquema:

- a) procedeu-se à medição dos diâmetros à altura do peito de todas as árvores da parcela;
- b) determinou-se o DAP médio e o erro padrão da média;
- c) marcaram-se duas árvores de cada parcela com DAP igual a DAP médio \pm 0,25. (Erro padrão da média).
- d) as árvores marcadas foram abatidas, mediram-se suas alturas comerciais, e retiraram-se discos de aproximadamente 2,5cm de espessura às seguintes alturas: base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial H (diâmetro mínimo de 6cm);
- f) os discos foram identificados e armazenados para análises.

3.2. Determinação dos parâmetros silviculturais

Para cada árvore determinaram-se os seguintes parâmetros silviculturais:

- 3.2.1. Altura comercial: por medição com trena, após abate, da base até um diâmetro mínimo de 6cm.
- 3.2.2. DAP: diâmetro à altura do peito, com compasso dendrométrico.
- 3.2.3. Volume real comerciável, com e sem casca: pela fór-

- mula de Smalian.
- 3.2.4. Fator de forma: pela relação porcentual entre o volume real e o volume cilíndrico.
- 3.2.5. Teor de casca na árvore:
a) volumétrico: pela relação porcentual entre o volume de casca e o volume da árvore com casca.
b) gravimétrico: pela mesma relação anterior, levando-se em conta os pesos s.e. ao invés dos volumes.
- 3.2.6. Teor de cerne na árvore:
a) volumétrico: pela relação porcentual entre os volumes de cerne e volume da árvore sem casca.
b) gravimétrico: idem, relação dos pesos s.e.
- 3.2.7. Teor de alburno na árvore:
a) volumétrico: pela diferença porcentual entre volume da árvore sem casca (100%) e volume de cerne (%).
b) gravimétrico: idem, diferença de dados percentuais de pesos s.e..
- 3.2.8. Incremento médio anual estimado: determinado com base no DAP, altura comercial média, fator de forma, teor de casca, espaçamento e porcentagem de sobrevivência das árvores.

Os resultados médios obtidos para as treze espécies, estão apresentados no Quadro II. Ressalta-se que cada média representa apenas duas árvores de desenvolvimento médio da parcela cuja espécie se estava estudando.

- 3.3. Determinação das características físicas e anatômicas
- 3.3.1. Densidade básica da madeira na forma de cavacos: pelo método da balança hidrostática.
- 3.3.2. Dimensões das fibras e vasos: pela utilização da técnica de micro-projeção.
- 3.3.3. Relações fundamentais entre as dimensões das fibras.

QUADRO II - Avaliação silvicultural das treze espécies de eucaliptos

ESPECIES	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.	E.		
PARÂMETROS	<i>saligna</i>	<i>urophylla</i>	<i>grandis</i>	<i>microcorrys</i>	<i>camaldu</i>	<i>lensis</i>	<i>tereticoornis</i>	<i>vilularis</i>	<i>cloeziana</i>	<i>propinqua</i>	<i>pellita</i>	<i>deanei</i>	<i>quadran-</i>	<i>gulata</i>	<i>andran-</i>	<i>andran-</i>	<i>andran-</i>	<i>andran-</i>	<i>andran-</i>	<i>andran-</i>	
Altura comercial (m)	15,50	9,67	18,80	10,80	10,02	12,11	12,25	11,45	13,22	10,03	12,29	9,77	10,03	12,29	9,77	10,03	12,29	9,77	10,03	12,29	
DAP (cm)																					
- com casca	14,40	12,20	17,80	12,50	9,25	12,00	12,00	14,20	12,50	9,60	11,60	9,10	12,00	11,60	9,10	12,00	11,60	9,10	12,00	11,60	9,10
- sem casca	13,20	11,10	16,20	10,40	8,45	10,00	10,60	12,00	10,80	8,90	10,30	8,40	11,00	10,30	8,40	11,00	10,30	8,40	11,00	10,30	8,40
Volume real comerciã vel (m ³)																					
- com casca	0,14320	0,07200	0,24760	0,07720	0,04335	0,03020	0,08220	0,1057	0,09620	0,05760	0,08390	0,04550	0,03020	0,08390	0,04550	0,03020	0,08390	0,04550	0,03020	0,08390	0,04550
- sem casca	0,12320	0,06010	0,21350	0,05780	0,03635	0,05100	0,06800	0,0811	0,07340	0,04680	0,06770	0,03820	0,05100	0,06770	0,03820	0,05100	0,06770	0,03820	0,05100	0,06770	0,03820
Fator de forma																					
- com casca	0,567	0,637	0,530	0,583	0,645	0,536	0,593	0,583	0,593	0,793	0,645	0,716	0,536	0,645	0,716	0,536	0,645	0,716	0,536	0,645	0,716
- sem casca	0,581	0,642	0,551	0,630	0,647	0,641	0,629	0,626	0,606	0,750	0,661	0,705	0,641	0,661	0,705	0,641	0,661	0,705	0,641	0,661	0,705
Teor de casca, (%)																					
- em volume	13,97	16,53	13,77	25,13	16,14	23,94	17,27	23,27	23,70	18,75	19,30	16,04	23,94	19,30	16,04	23,94	19,30	16,04	23,94	19,30	16,04
- em peso	8,08	11,42	10,01	12,51	9,25	14,18	10,22	16,62	16,80	14,03	12,98	10,69	14,18	12,98	10,69	14,18	12,98	10,69	14,18	12,98	10,69
Teor de madeira, (%)																					
- em volume	86,03	83,47	86,23	74,87	83,86	76,06	82,73	76,73	76,30	81,25	80,70	83,96	76,06	80,70	83,96	76,06	80,70	83,96	76,06	80,70	83,96
- em peso	91,92	88,58	89,99	87,49	90,75	85,82	89,78	83,38	83,20	85,97	87,02	89,31	85,82	87,02	89,31	85,82	87,02	89,31	85,82	87,02	89,31
Teor de cerne, (%)	30,22	0,00	33,02	1,43	8,49	15,86	31,26	33,77	0,55	0,57	11,89	0,00	15,86	11,89	0,00	15,86	11,89	0,00	15,86	11,89	0,00
Teor de alborno, (%)	69,78	100,00	66,98	98,57	91,51	84,14	68,74	66,23	99,45	99,43	88,11	100,00	84,14	88,11	100,00	84,14	88,11	100,00	84,14	88,11	100,00
Incremento médio a- nual (m ³ /ha.ano)																					
- com casca	53,05	23,71	91,72	27,01	16,09	26,41	28,76	36,98	35,64	20,14	27,56	14,98	26,41	27,56	14,98	26,41	27,56	14,98	26,41	27,56	14,98
- sem casca	45,64	19,79	74,09	20,22	13,49	20,03	23,79	28,38	27,19	16,37	22,26	12,58	20,03	22,26	12,58	20,03	22,26	12,58	20,03	22,26	12,58

12

Os resultados de dimensões de fibras e vasos, densidade básica e relações fundamentais entre dimensões de fibras estão apresentados respectivamente nos Quadros III e IV.

3.4. Composição química das madeiras

De acordo com os métodos da Technical Association of the Pulp and Paper Industry determinou-se a composição química das madeiras em estudo. Os resultados obtidos referem-se à média de três repetições, e estão mostrados no Quadro V.

3.5. Produção de celulose kraft

As condições adotadas e os resultados médios obtidos nos cozimentos kraft das madeiras das treze espécies de eucaliptos estão relatados no Quadro VI. Foram realizados três cozimentos por tratamento, e os resultados apresentados referem-se à média das determinações. As condições de cozimento foram preliminarmente prè-estabelecidas, com exceção do álcali ativo, o qual foi adequadamente modificado em função do número kappa das celuloses produzidas. Tratamentos cujos números kappa das celuloses obtidas estiveram fora do intervalo estipulado de 19,5 - 1,5, foram desconsiderados e novos cozimentos foram realizados, com alterações apenas no teor de álcali ativo aplicado. As condições mantidas fixas em todos os cozimentos foram: sulfidez = 25%; temperatura máxima = 170°C; tempo até 170°C = 100 min; tempo a 170°C = 50 min; relação licor/madeira = 4:1.

3.6. Análise dos licores residuais

Durante a fase de despressurização do digestor, foram retiradas amostras dos licores residuais, as quais foram analisadas no que diz respeito a: pH; álcali ativo residual; densidade do licor, expressa em graus Baumé a temperatura de 20°C; viscosidade, expressa em centipoises, e relativa à concentração correspondente a 20°Bé e temperatura de 25°C; teores de sólidos, matéria orgânica e inorgânica. A metodologia utilizada para a realização destas análises foi a preconizada pela TAPPI. Os resultados médios, relativos à determinações em triplicata, estão apresentados no Quadro VII.

QUADRO III - Dimensões das fibras e dos vasos - valores médios, máximos e mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação

ESPECIES	DIMENSÕES	VALORES			Desvio padrão	Coeficientes de variação (%)
		Médio	Mínimo	Máximo		
<i>E. saligna</i>	Comprimento, mm	0,96	0,53	1,59	0,2106	21,94
	Largura, μm	23,98	14,72	31,05	2,8760	11,99
	Espessura, μm	3,47	1,84	5,98	0,8390	24,18
	Largura do vaso, mm	0,17	0,07	0,26	0,0444	26,12
<i>E. urophylla</i>	Comprimento, mm	0,93	0,45	1,50	0,2436	24,39
	Largura, μm	24,53	18,17	35,65	3,2620	13,30
	Espessura, μm	4,05	1,84	9,43	1,1560	28,54
	Largura do vaso, mm	0,14	0,07	0,26	0,0444	31,71
<i>E. grandis</i>	Comprimento, mm	0,96	0,32	1,56	0,1871	19,49
	Largura, μm	23,89	18,17	31,28	3,2450	13,58
	Espessura, μm	3,26	1,04	6,56	0,8130	24,94
	Largura do vaso, mm	0,15	0,09	0,23	0,0374	24,93
<i>E. microcotys</i>	Comprimento, mm	0,92	0,39	1,59	0,2049	22,27
	Largura, μm	20,24	14,95	29,67	2,8580	14,12
	Espessura, μm	4,17	1,96	8,28	1,0220	24,51
	Largura do vaso, mm	0,15	0,07	0,30	0,0425	28,33
<i>E. camaldulensis</i>	Comprimento, mm	0,87	0,27	1,49	0,1803	20,72
	Largura, μm	18,72	12,88	26,22	2,8190	15,06
	Espessura, μm	3,61	1,84	5,52	0,7780	21,55
	Largura do vaso, mm	0,17	0,07	0,29	0,0450	26,47
<i>E. tereticornis</i>	Comprimento, mm	0,89	0,50	1,46	0,1724	19,37
	Largura, μm	18,79	12,19	25,30	2,5480	13,56
	Espessura, μm	3,65	1,73	6,56	0,8810	24,14
	Largura do vaso, mm	0,16	0,03	0,25	0,0431	26,10
<i>E. pilularis</i>	Comprimento, mm	0,88	0,29	1,50	0,2216	25,10
	Largura, μm	24,78	17,25	34,96	3,3290	13,44
	Espessura, μm	4,01	1,96	7,02	0,981	24,46
	Largura do vaso, mm	0,17	0,07	0,28	0,0430	25,29
<i>E. cloeziana</i>	Comprimento, mm	1,00	0,51	1,58	0,2135	21,35
	Largura, μm	25,90	17,94	40,25	4,0390	15,60
	Espessura, μm	4,39	1,27	7,82	1,3590	30,16
	Largura do vaso, mm	0,14	0,09	0,20	0,0284	20,28
<i>E. propinqua</i>	Comprimento, mm	0,82	0,45	1,31	0,1386	16,90
	Largura, μm	21,43	15,64	28,06	2,5680	11,78
	Espessura, μm	3,87	1,96	5,87	0,9220	23,71
	Largura do vaso, mm	0,13	0,06	0,19	0,0271	21,54
<i>E. pellita</i>	Comprimento, mm	0,76	0,30	1,37	0,1878	24,71
	Largura, μm	19,47	15,18	31,28	2,6890	13,61
	Espessura, μm	4,01	2,19	6,21	0,7570	18,98
	Largura do vaso, mm	0,13	0,04	0,23	0,0350	26,02
<i>E. deanei</i>	Comprimento, mm	1,00	0,59	1,61	0,1641	16,41
	Largura, μm	18,66	14,26	25,76	2,1320	11,43
	Espessura, μm	3,75	2,30	6,79	0,8550	22,79
	Largura do vaso, mm	0,14	0,09	0,26	0,0396	28,28
<i>E. quadrangulata</i>	Comprimento, mm	0,97	0,45	1,52	0,1835	18,92
	Largura, μm	18,34	13,57	24,84	2,0260	11,04
	Espessura, μm	4,06	2,30	6,79	0,9340	23,02
	Largura do vaso, mm	0,13	0,09	0,23	0,0255	19,61
<i>E. andrewsii</i>	Comprimento, mm	0,90	0,35	1,44	0,1942	21,58
	Largura, μm	22,99	17,25	30,82	2,7970	12,17
	Espessura, μm	3,17	1,73	5,52	0,6300	19,87
	Largura do vaso, mm	0,14	0,07	0,22	0,0342	24,42

QUADRO IV - Densidade básica da madeira e relações entre as dimensões fundamentais das fibras

ESPÉCIES	Densidade básica (g/cm ³)	RELAÇÕES FUNDAMENTAIS			
		Índice de enferramento	Coefficiente de flexibilidade (%)	Fração parede (%)	Índice de Runkel
<i>E. saligna</i>	0,508	40,03	71,10	28,94	0,407
<i>E. urophylla</i>	0,456	33,84	66,94	33,02	0,493
<i>E. grandis</i>	0,458	40,18	72,71	27,29	0,375
<i>E. microcorys</i>	0,590	45,45	58,77	41,20	0,701
<i>E. camaldulensis</i>	0,541	46,47	61,46	38,57	0,628
<i>E. terebinthifolia</i>	0,497	47,37	61,15	38,85	0,635
<i>E. pilularis</i>	0,456	35,51	67,81	32,36	0,477
<i>E. cloeziana</i>	0,563	38,61	66,04	33,90	0,513
<i>E. propinqua</i>	0,546	38,26	63,86	36,11	0,565
<i>E. pellita</i>	0,602	39,03	58,82	41,19	0,700
<i>E. deanei</i>	0,525	53,59	59,77	40,19	0,672
<i>E. quadrangulata</i>	0,626	52,89	56,02	44,27	0,790
<i>E. andrewsii</i>	0,499	39,15	72,43	27,58	0,380

QUADRO V - Análises químicas das madeiras

ESPECIES	SOLUBILIDADE DAS MADEIRAS EM:					TEOR DE:		
	H ₂ O fria (%)	H ₂ O quente (%)	Álcool benzeno (%)	NaOH 1% (%)	Lignina (%)	Pentosanas (%)	Holocelulose (%)	
<i>E. saligna</i>	1,52 c	3,34 e	2,31 fg	16,45 f	26,80 bcd	18,81 de	72,58 ab	
<i>E. urophylla</i>	2,70 g	3,00 d	2,18 e	16,73 f	26,81 bcd	18,37 cd	74,10 ab	
<i>E. grandis</i>	2,42 e	3,00 d	2,04 d	15,57 de	23,38 a	18,39 cd	74,72 b	
<i>E. microcotys</i>	2,88 h	3,40 e	2,13 e	15,30 d	26,50 bc	18,29 cd	74,83 b	
<i>E. camaldulensis</i>	1,64 d	3,65 f	2,40 gh	13,92 b	29,21 e	18,14 c	70,95 a	
<i>E. teteticornis</i>	2,72 g	3,90 g	2,73 i	14,02 b	28,14 cde	19,06 e	72,39 ab	
<i>E. pilularis</i>	1,66 d	3,41 e	1,47 c	14,87 c	26,54 bc	18,46 cd	70,97 a	
<i>E. cloeziana</i>	5,03 j	5,97 i	2,47 h	19,43 g	28,38 de	17,19 b	72,73 ab	
<i>E. propinqua</i>	3,59 i	4,82 h	2,28 ef	15,77 e	28,03 cde	17,24 b	72,27 ab	
<i>E. pellita</i>	0,75 b	1,66 a	1,29 b	11,88 a	27,63 bcde	15,27 a	72,78 ab	
<i>E. deanei</i>	2,57 f	2,96 cd	2,74 i	16,41 f	27,22 bcd	19,03 e	71,76 ab	
<i>E. quadrangulata</i>	1,64 d	2,84 c	1,16 a	16,62 f	22,41 a	21,90 f	75,21 b	
<i>E. andrewsii</i>	0,56 a	2,21 b	1,15 a	11,52 a	26,00 b	18,26 cd	74,43 ab	

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO VI - Condições e resultados referentes à deslignificação das madeiras

ESPÉCIES	Condição de Na_2O ativo (%)	R E S U L T A D O S										Consumo específico de madeira (m^3 sol. de celulose depur.)	
		Rendimento		Teor de rejeitos (%)	Viscosidade (cm^3/g)	Alvura (%)	Solubilidade a 20°C						Consumo específico de celulose depur.
		Bruto (%)	Depurado (%)				S_5 (%)	S_8 (%)	S_{10} (%)	S_{10} (%)	S_{10} (%)		
<i>E. saligna</i>	13,2	49,8 f	49,1 cd	0,7 ab	1259 a	36,9 b	13,44 de	15,84 de	15,63 gh <i>i</i>	10,90 cde	4,00 d		
<i>E. urophylla</i>	14,0	48,9 e	48,5 cd	0,4 ab	1260 a	40,4 cd	14,39 e	17,26 e	16,07 h <i>i</i>	12,41 e <i>f</i>	4,52 f		
<i>E. grandis</i>	13,5	51,9 g	51,7 h	0,2 a	1214 abc	42,1 de	14,87 e	12,13 ab	14,64 f <i>gh</i>	12,00 e <i>f</i>	4,22 e		
<i>E. microcorys</i>	13,5	49,8 f	49,4 d <i>f</i>	0,4 ab	1146 de	39,4 c	12,00 cd	12,54 b	12,40 bcde	12,16 e <i>f</i>	3,43 b		
<i>E. camaldulensis</i>	13,5	47,2 cd	46,8 b	0,4 ab	1122 e	39,4 c	10,28 ab	12,30 b	11,10 abc	8,41 ab	3,95 cd		
<i>E. terebinthifolia</i>	16,5	43,7 a	43,5 a	0,3 ab	912 g	40,0 cd	10,70 bc	13,54 bc	13,69 de <i>f</i> g	9,67 bc	4,56 f		
<i>E. pilularis</i>	13,5	51,9 g	51,6 gh	0,4 ab	1251 ab	40,1 cd	14,15 e	17,02 e	16,91 i	13,19 f	4,26 e		
<i>E. cloeziana</i>	17,0	46,8 bc	46,5 b	0,3 ab	1050 f	32,9 a	10,68 bc	12,31 b	9,91 a	7,23 a	3,82 c		
<i>E. propinqua</i>	14,0	46,1 b	45,9 b	0,2 a	1101 e <i>f</i>	39,4 c	8,74 a	10,58 a	10,54 ab	8,13 ab	3,99 d		
<i>E. pellita</i>	13,0	51,4 g	51,0 f <i>gh</i>	0,4 ab	1056 f	40,7 cd	10,24 ab	12,05 ab	10,05 a	6,96 a	3,26 a		
<i>E. deanei</i>	14,0	47,8 d	47,5 bc	0,3 ab	1158 cde	38,6 bc	12,28 cd	14,48 cd	12,91 cde <i>f</i>	10,03 bcd	4,00 d		
<i>E. quadrangulata</i>	13,5	50,2 f	50,0 d <i>fg</i>	0,3 ab	1278 a	43,8 e <i>f</i>	17,01 f	16,47 e	12,14 bcd	9,47 bc	3,20 a		
<i>E. andrewsii</i>	12,6	50,5 f	49,7 d <i>f</i>	0,8 bc	1191 bcd	45,9 f	11,56 bc	14,42 cd	14,24 e <i>f</i> gh	11,84 def	4,03 d		

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1 % de probabilidade.

QUADRO VII - Análise dos lícores residuais de cozimento

ESPÉCIES	pH	Densida de (ρ B \acute{e})	TEOR DE:		Viscosidade à 20 ρ B \acute{e} e 25 ρ C (cP)	Alcali ativo (g/l)	Alcali ativo consumido base madeira(%)	
			Matéria orgânica, base sólidos (%)	Matéria inorgânica, Sólidos (%)				
<i>E. saligna</i>	12,7 b	8,9 ab	62,19	37,81	13,86 ab	15,0 d	10,27 bcd	8,86 abc
<i>E. utrophylla</i>	13,0 c	9,2 ab	62,46	37,54	13,97 abc	13,5 c	11,06 def	9,32 bcde
<i>E. grandis</i>	12,6 b	8,8 a	60,08	39,92	13,29 a	12,0 b	9,33 ab	9,57 cde
<i>E. microcorays</i>	12,8 bc	9,3 ab	60,71	39,29	13,82 ab	20,5 g	10,80 cde	8,94 abcd
<i>E. camaldulensis</i>	13,0 c	10,2 c	65,62	34,38	14,92 cd	16,9 e	11,75 efg	8,55 ab
<i>E. terebicornis</i>	13,2 d	10,9 d	63,57	36,43	14,91 cd	12,4 b	15,56 h	9,93 e
<i>E. pilularis</i>	12,2 a	8,8 a	60,10	39,90	13,14 a	11,4 a	8,89 a	9,76 de
<i>E. cloeziana</i>	13,1 d	11,0 d	57,70	42,30	15,09 d	13,9 c	14,23 h	11,04 f
<i>E. propinqua</i>	13,0 c	9,5 b	63,08	36,92	14,34 bcd	20,8 g	12,62 g	8,64 ab
<i>E. pellita</i>	13,0 c	8,9 a	64,11	35,89	13,75 ab	17,9 f	11,27 defg	8,26 a
<i>E. deanei</i>	13,0 c	9,3 ab	61,51	38,49	13,83 ab	16,9 e	12,25 fg	8,81 abc
<i>E. quadrangulata</i>	12,3 a	8,9 ab	62,26	37,74	13,72 ab	17,2 e	9,47 abc	9,51 cde
<i>E. andrewsii</i>	12,3 a	8,9 ab	64,30	35,70	13,92 abc	11,4 a	9,11 ab	8,76 abc

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

3.7. Branqueamento das celuloses

O branqueamento das celuloses foi realizado conforme a sequência $C_D E_H DH$, seguida de lavagem por solução de SO_2 .

As condições utilizadas para os branqueamentos estão relatadas no Quadro VIII.

QUADRO VIII - Condições utilizadas nos estágios de branqueamento

ESTÁGIOS CONDIÇÕES	C_D	E_H	D	H	SO_2
Consistência, %	10	10	10	10	5
Tempo, minutos	5	90	180	30	15
Temperatura, °C	35	60	70	45	amb.
% de cloro ativo aplicada	F_1	0,5	2,25	0,25	-
% de NaOH aplicada	-	F_2	-	-	-
% de SO_2 ativo aplicada	-	-	-	-	0,25
pH final	2,0 a 2,5	10,0 a 11,0	3,6 a 4,3	10,0 a 10,7	-

As dosagens dos produtos químicos nos dois primeiros estágios foram efetuadas em conformidade com as fórmulas propostas por FOELKEL *et alii* (1982). As dosagens de cloro ativo foram aplicadas, substituindo-se 30% do Cl_2 por ClO_2 . Desse modo, o primeiro estágio do branqueamento se constituiu de um tratamento C_D , com relação $Cl_2 : ClO_2$ de 70:30, relação esta otimizada conforme MARENCO *et alii* (1982). Ao estágio E_1 foi adicionado 0,5% de hipoclorito de sódio, expresso como cloro ativo. Antes do início do branqueamento nos estágios C_D e E_H , as polpas tiveram os pH's respectivamente corrigidos para 9 e 12. O controle destes pH's era efetuado através da adição de uma solução de NaOH 5%. Os resultados obtidos nos branqueamentos, relativos à média de determinações em triplicata estão apresentados no Quadro IX.

QUADRO IX - Resultados médios dos branqueamentos

Espécies	% Cl ₂ total, base polpa		% NaOH total, base polpa		Alvura (% ISO)	Nº de cor posterior	Viscosidade (cm ³ /g)	Solubilidade em NaOH 5%
	Aplicado	Consumido	Aplicado	Consumido				
<i>E. saligna</i>	5,90 a	5,68 a	2,05 a	1,17 a	90,7 ab	0,59 a	845 abc	10,96 b
<i>E. urophylla</i>	5,34 cd	4,99 b	1,72 a	0,87 a	92,1 a	0,54 a	868 ab	11,27 b
<i>E. grandis</i>	5,41 bcd	5,07 ab	1,78 a	0,91 a	92,0 ab	0,51 a	834 abc	9,57 c
<i>E. microcorys</i>	5,78 abc	5,55 ab	1,88 a	0,98 a	91,8 ab	0,44 a	811 abc	9,39 c
<i>E. camaldulensis</i>	5,86 ab	5,58 ab	1,98 a	1,09 a	91,7 ab	0,59 a	737 abc	8,12 d
<i>E. teneticornis</i>	5,52 abcd	5,30 ab	1,97 a	0,91 a	90,5 b	0,56 a	645 bc	8,34 d
<i>E. pilularis</i>	5,79 abc	5,51 ab	2,00 a	1,15 a	92,0 ab	0,59 a	834 abc	11,63 b
<i>E. cloeziana</i>	5,84 ab	5,56 ab	1,92 a	1,00 a	92,0 ab	0,41 a	719 abc	9,41 c
<i>E. propinqua</i>	5,86 ab	5,69 a	1,93 a	1,03 a	90,7 ab	0,50 a	626 c	6,63 e
<i>E. pellita</i>	5,66 abcd	5,40 ab	1,86 a	0,96 a	91,4 ab	0,69 a	802 abc	8,18 d
<i>E. deanei</i>	5,73 abc	5,49 ab	1,83 a	0,97 a	91,7 ab	0,51 a	831 abc	9,59 c
<i>E. quadrangulata</i>	5,23 d	5,02 b	1,71 a	0,88 a	92,0 ab	0,41 a	928 a	13,58 a
<i>E. andrewsii</i>	5,57 abcd	5,25 ab	1,82 a	0,91 a	92,1 a	0,37 a	668 bc	9,45 c

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

3.8. Ensaio físico-mecânico das celuloses

Todas as celuloses branqueadas foram refinadas em moinho Jokro-Muhle, 150 rpm, utilizando-se 16 gramas s.e. por panela, a uma consistência de 6%. O grau de refino foi avaliado através do grau Schopper-Riegler determinado de acordo com o método C-10 da ABCP. Os resultados dos refinamentos individuais foram interpolados graficamente para 35°SR. Este grau de refino foi escolhido por representar o grau de moagem no qual a celulose de eucalipto atinge propriedades suficientes e adequadas para a madeira dos papéis onde é usada.

As folhas de gramatura aproximadamente 60g/m², formadas em aparelho formador de folha tipo TAPPI, foram acondicionadas em ambiente climatizado a 50 - 2% de umidade relativa e 23°C - 2°C de temperatura. A seguir, procederam-se aos ensaios conforme TAPPI T220. No Quadro X estão apresentados os resultados médios das propriedades físico-mecânicas e óticas das celuloses ensaiadas para o grau de moagem pre-estabelecido.

QUADRO X - Propriedades físico-mecânicas e óticas (359SR) das celuloses branqueadas

ESPÉCIE	Índice de tração (m)	Fator de rasgo	Fator de estouro	Alongamento (%)	Volume específico (cm ³ /g)		Opacidade (%)	Coeficiente de dispersão de luz (m ² /kg)	Ascensão capilar KLEM (mm/10)
					Polpa não refinada	Polpa a 359SR			
<i>E. saligna</i>	9000 a	97,7 abc	57,4 bcd	3,77 abc	2,60 abc	1,45 bc	72,6 bc	31,8 bc	40,9 b
<i>E. unophylla</i>	8670 ab	82,9 bcde	61,4 bcd	3,21 bcde	2,47 bc	1,38 c	72,4 bc	30,0 c	32,8 c
<i>E. grandis</i>	8807 a	90,7 abcd	67,9 abc	3,65 abcd	2,44 c	1,44 bc	75,2 abc	35,4 abc	41,7 b
<i>E. microconys</i>	7160 cd	80,4 cde	52,9 cd	2,82 de	2,97 ab	1,54 bc	74,1 abc	34,2 bc	41,0 b
<i>E. camaldulensis</i>	7416 cd	99,8 ab	54,5 bcd	4,10 ab	2,83 abc	1,58 b	76,3 abc	39,9 ab	50,6 c
<i>E. terebinthina</i>	7112 cd	104,6 a	79,1 a	3,65 abcd	2,77 abc	1,50 bc	77,3 ab	39,5 ab	48,7 c
<i>E. pilulana</i>	9371 a	96,8 abc	78,4 a	4,00 ab	2,41 c	1,44 bc	71,4 c	33,2 bc	39,8 c
<i>E. cloeziana</i>	7463 bcd	85,2 bcd	51,9 d	3,34 abcde	2,79 abc	1,55 bc	73,5 abc	32,2 bc	50,4 c
<i>E. propinqua</i>	6515 d	64,4 cd	46,6 d	2,52 e	3,09 a	1,59 ab	76,7 ab	37,4 abc	56,2 c
<i>E. pellita</i>	7353 cd	77,6 de	48,4 d	2,85 cde	3,03 a	1,76 a	77,8 a	44,4 a	56,6 c
<i>E. deanei</i>	6431 d	59,7 f	46,5 d	3,60 abcd	2,46 c	1,55 bc	76,5 ab	39,5 ab	40,4 d
<i>E. quadrangulata</i>	8964 a	95,9 abc	68,6 ab	4,26 a	2,59 abc	1,45 bc	73,4 abc	32,1 bc	39,8 c
<i>E. andrewsii</i>	8317 abc	87,8 abcd	59,0 bcd	3,63 abcd	2,70 abc	1,53 bc	74,8 abc	36,3 abc	43,9 d

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

3.9. Análises estatísticas dos resultados

O experimento contou com treze tratamentos e três re^upetições, num total de 39 parcelas.

O efeito dos tratamentos foi avaliado pelo teste F e as diferenças entre médias pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

4. Discussão dos resultados

4.1. Parâmetros silviculturais

A análise dos resultados apresentados no Quadro II permitiu observar diferenças bem acentuadas entre o comportamento silvicultural das treze espécies ensaiadas.

Com relação ao incremento médio anual, expresso em $m^3/ha.ano$, apenas o *E.grandis* e *E.saligna* mostraram desenvolvimentos excepcionais, enquanto o *E.quadrangulata*, *E.camaldulensis* e *E.pellita* mostraram desenvolvimentos considerados inferiores aos povoamentos tradicionais. As demais espécies tiveram incrementos médios variando de $23,71m^3/ha.ano$ até $36,98m^3/ha.ano$.

Os teores de casca em volume variaram de 13,77% (*E.grandis*) até 25,13% (*E.microcorys*). Os eucaliptos com menores teores volumétricos de casca foram *E.grandis* e *E.saligna*, enquanto os que possuíam mais casca eram *E.microcorys*, *E.tereticornis*, *E.propinqua* e *E.cloeziiana*. Devido às diferenças nas densidades da casca e da madeira, quando se expressou o teor de casca em peso, as espécies se comportaram de forma diferente. *E.saligna* e *E.grandis* mostraram as mais baixas porcentagens de casca, enquanto *E.propinqua*, *E.cloeziiana*, *E.tereticornis* e *E.andrewsii*, as mais altas.

A cilíndricidade das árvores, expressa pelo fator de forma, mostrou-se bem diferente para as diversas espécies. As árvores mais cilíndricas foram as de *E.pellita*, *E.andrewsii*, *E.quadrangulata*, *E.camaldulensis* e *E.urophylla*, e as menos cilíndricas, as de *E.grandis* e *E.saligna*.

Com exceção das árvores de *E.cloeziiana*, *E.grandis*, *E.pilularis* e *E.saligna* que apresentaram teores de cerne superiores a 30,00%, nas demais espécies estes valores foram muito baixos, inclusive atingindo 0,00% (*E.urophylla* e *E.quadrangulata*).

4.2. Características físicas e anatômicas

4.2.1. Densidade básica da madeira

Algumas espécies mostraram densidades tipicamente e levadas em idade ainda jovem. Foi o caso de *E.cloeziiana*, *E.microcorys*, *E.pellita* e *E.quadrangulata*, os quais mostraram densidade variando de 0,563 a 0,626g/cm³.

Densidades baixas, entre 0,456 e 0,499g/cm³ foram encontradas para *E.urophylla*, *E.pilularis*, *E.grandis*, *E.tereticornis* e *E.andrewsii*. As espécies *E.saligna*, *E.deanei*, *E.camaldulensis* e *E.propinqua* mostraram densidades intermediárias, variando de 0,508 a 0,546g/cm³.

4.2.2. Dimensões das fibras e vasos

Em geral, as fibras tiveram comprimentos inferiores ou próximos a 1 mm, com as espécies *E.deanei* e *E.cloeziana*, mostrando as fibras mais longas (1,00mm) enquanto as espécies *E.pellita*, *E.propinqua*, *E.urophylla*, *E.camaldulensis*, *E.pilularis* e *E.tereticornis* apresentaram os menores valores, ou seja, dimensões variando de 0,76mm a 0,89mm. Para a largura das fibras, os resultados mostraram-se relativamente altos, onde a menor média foi encontrada para a espécie *E.quadrangulata* (18,34 μ m), enquanto a maior foi encontrada para *E.cloeziana* (25,90 μ m). Por se tratarem de árvores ainda jovens, onde as espessuras das paredes ainda são pequenas, a presença de valores altos para largura, resulta em elevados diâmetros de lúmen, e conseqüentemente em fibras bastante flexíveis.

Observou-se que as fibras possuem paredes relativamente delgadas, principalmente as espécies *E.andrewsii*, *E.grandis*, *E.saligna*, *E.camaldulensis*, *E.tereticornis*, *E.deanei* e *E.propinqua*, cujos valores variam de 3,17 a 3,87 μ m.

As larguras de vaso encontradas para as espécies em saídas variaram de 0,13mm a 0,17mm, sendo que os menores valores foram apresentados pelos *E.quadrangulata*, *E.pellita* e *E.propinqua*, enquanto os maiores pelas espécies *E.pilularis*, *E.camaldulensis* e *E.saligna*. As dimensões dos vasos são importantes na utilização da madeira para produção de celulose. Vasos numerosos e grandes são indesejáveis na fabricação de papéis de impressão. Observou-se que para a maioria das espécies, as larguras dos vasos se relacionaram inversamente com as densidades básicas das madeiras.

4.2.3. Relações fundamentais entre as dimensões das fibras

O *E.urophylla* apresentou o menor índice de enfeltramento (33,84%), enquanto o *E.deanei*, o maior (53,59%). Algumas citações em literaturas especializadas afirmam que o índice de enfeltramento não possui amplo espectro de variação, pelo fato de as fibras mais longas serem também usualmente mais largas. Outras referências relacionam esta propriedade com resistência ao rasgo e ao arrebatamento.

Fibras que apresentam baixos índices de Runkel e frações paredes e altos coeficientes de flexibilidade, mostram-se flexíveis na formação do papel, favorecendo as propriedades que dependem da interligação das fibras (resistência à tração e ao arrebatamento) e prejudicando a resistência ao rasgo. As madeiras de *E.grandis*, *E.andrewsii* e *E.saligna* caracterizaram-se por possuírem os menores índices de Runkel e frações paredes e os maiores coeficientes de flexibilidade. O *E.quadrangulata*, o *E.microcorus*, e o *E.pellita* mostraram propriedades inversas às apresentadas pelas três madeiras anteriormente citadas.

4.3. Composição química da madeira

Pela composição química das madeiras, apresentada no Quadro V, foi possível se notar que:

- a) *E.cloeziana* mostrava a mais alta solubilidade em água fria, água quente e NaOH 1%, enquanto o *E.deanei* e *E.tereticornis*, as mais altas em álcool-benzeno.

- b) As espécies *E.pellita* e *E.andrewsii* se caracterizaram por apresentar as menores solubilidades em água fria, água quente, álcool-benzeno e NaOH 1%.
- c) Com exceção da espécie *E.pellita*, as demais espécies se caracterizaram por possuírem elevados teores de pentosanas.
- d) Com exceção do *E.quadrangulata* e *E.grandis*, as demais espécies apresentaram elevados teores de lignina.
- e) As espécies *E.quadrangulata* e *E.grandis* apresentaram os maiores teores de holocelulose, enquanto *E.camaldulensis* e *E.pilularis*, apresentaram os menores teores.

4.4. Produção de celulose kraft

Os resultados apresentados no Quadro VI permitem observar diferenças marcantes do ponto de vista econômico quando comparadas as treze espécies de eucalipto para produção de celulose.

A madeira de *E.tereticornis* se caracterizou por apresentar o menor rendimento bruto em celulose, enquanto as espécies *E.quadrangulata*, *E.andrewsii*, *E.pellita*, *E.grandis* e *E.pilularis* apresentaram os mais altos rendimentos, os quais variaram de 50,2% a 51,9%. Rendimentos relativamente baixos foram encontrados para as espécies *E.propinqua*, *E.cloeziانا*, *E.camaldulensis* e *E.deanei*, os quais variaram de 46,1% a 47,8%. As espécies *E.urophylla*, *E.microcorys* e *E.saligna* apresentaram valores acima da média, num intervalo de 48,9% a 49,8%. Comparando valores de rendimento bruto, observou-se que houve uma inversão de posição com relação às espécies *E.microcorys* e *E.saligna*, *E.quadrangulata* e *E.andrewsii*, *E.grandis* e *E.pilularis*. Esta troca de posição é atribuída às diferenças nos teores de rejeitos, e inclusive proporcionou ao *E.grandis* aparecer como a espécie que forneceu maior rendimento em celulose depurada.

Em função dos rendimentos em celulose depurada e das respectivas densidades das madeiras, pode-se calcular as necessidades em m³ sólido de madeira descascada para a produção de 1 tonelada de celulose não branqueada (seca em estufa). Pode-se observar que as espécies *E.quadrangulata*, *E.pellita* e *E.microcorys*, mesmo apresentando rendimentos inferiores ao *E.grandis*, pelo fato de possuírem maiores densidades, necessitam de menores volumes de madeira para a produção de 1 tonelada de celulose kraft não-branqueada.

As espécies *E.urophylla* e *E.tereticornis* foram as espécies que necessitaram maiores volumes de madeira para a produção de 1 tonelada de celulose, ou seja, respectivamente 4,52 e 4,56m³ sólido/tonelada de celulose s.e.. Consumos específicos relativamente baixos foram encontrados para as espécies *E.cloeziانا*, *E.camaldulensis* e *E.propinqua*, os quais variaram de 3,82 a 3,99m³ sólido/tonelada de celulose. Consumos específicos intermediários, variando de 4,00 a 4,26m³ sólido/tonelada de celulose foram encontrados para as espécies *E.saligna*, *E.deanei*, *E.andrewsii*, *E.grandis* e *E.pilularis*.

Altas porcentagens de álcali ativo no início dos cozimentos para obtenção da deslignificação desejada, contribuíram para a produção de polpas com menores viscosidades. Foi o caso das madeiras de *E.tereticornis* e *E.cloeziانا*, cujos álcalis ativos iniciais foram respectivamente 16,5% e 17%, resultando em celuloses de

mais baixa viscosidade. As espécies *E. quadrangulata*, *E. grandis*, *E. pilularis*, *E. saligna* e *E. urophylla* se caracterizaram por apresentarem os maiores valores de viscosidade.

Mesmo trabalhando com celuloses a graus de deslignificação semelhantes, observou-se que diferenças mínimas não significativas de número kappa, refletiram em valores de alvuras diferentes. Entretanto, essas diferenças nas alvuras das celuloses não branqueadas de algumas espécies podem perfeitamente ser melhoradas a nível de igualdade com as demais, por ocasião do processo de branqueamento.

O tratamento das polpas não branqueadas com NaOH a 20°C e a várias concentrações revelaram elevados teores de substâncias solubilizadas. Embora a solubilidade de hemiceluloses em álcali a frio (20°C) seja determinação mais apropriada para polpas solúveis, o seu uso em polpas tipo papel vem sendo incrementado graças às valiosas informações que estas análises oferecem com relação às hemiceluloses residuais nas polpas produzidas. Excetuando-se as espécies *E. grandis* e *E. quadrangulata*, as demais espécies apresentaram maiores valores de material extraído com NaOH 8%, quando relacionados aos tratamentos com soluções de NaOH 5%, 10% e 18%. Provavelmente, o tratamento com NaOH 8%, é o que mais se relaciona com o teor de hemiceluloses residuais da pasta química.

4.5. Análise dos licores residuais

Para as características dos licores residuais, apresentadas no Quadro VII, foi possível observar que:

- a) Os tratamentos correspondentes às espécies que exigiram maiores quantidades de produtos químicos na deslignificação apresentaram maiores valores de pH nos licores negros residuais. Foram os casos das espécies *E. cloeziana* e *E. tereticornis*, as quais exigiram os maiores álcalis ativo nos cozimentos (respectivamente 17% e 16,5%) e, conseqüentemente, resultaram nos mais altos pH's dos licores negros residuais (respectivamente 13,1 e 13,2). Neste caso específico, é possível que outras condições de cozimentos, com maior tempo e/ou temperatura, e menor álcali ativo, poderiam resultar em valores de deslignificação semelhantes ao pré-estabelecido.
- b) Os licores residuais correspondentes às espécies *E. propinqua*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana* e *E. tereticornis* apresentaram os maiores valores de densidade e maiores teores de sólidos. Estes parâmetros dos licores destas espécies são perfeitamente compreensíveis, tendo em vista os baixos rendimentos em celulose e elevados valores de álcali ativo residual desses tratamentos.
- c) Os licores negros residuais das espécies *E. microcorys* e *E. propinqua* apresentaram os maiores valores para viscosidade, enquanto as espécies *E. pilularis* e *E. andrewsii* apresentaram os menores valores. A viscosidade do licor tem sua importância por se tratar de um parâmetro muito controlado na indústria de celulose. Licores muito viscosos ocasionam problemas operacionais no sistema, principalmente na recuperação do licor.
- d) O consumo de álcali ativo base madeira variou em função da composição química da madeira. Devido a um elevado teor de

lignina e maior porcentagem de extrativos na madeira, o *E. cloeziana* se caracterizou por apresentar o maior consumo de álcali ativo, ou seja, 11,00%. A espécie que apresentou menor consumo foi o *E. pellita* (8,23%). Valores variando de 8,49% a 8,92% foram encontrados para as espécies *E. camaldulensis*, *E. propinqua*, *E. deanei*, *E. andrewsii*, *E. saligna* e *E. microcorys*. As espécies *E. urophylla*, *E. quadrangulata*, *E. grandis*, *E. pilularis* e *E. tereticornis* apresentaram valores variando de 9,32% a 9,87%.

4.6. Branqueamento das celuloses

Relativamente à branqueabilidade das celuloses, pode-se afirmar que as dosagens dos produtos químicos empregados foram suficientes para trazer as celuloses kraft das três espécies a alvuras superiores a 90,4% ISO. Com exceção da celulose referente à espécie *E. tereticornis* que apresentou o menor valor de alvura (90,5% ISO), ainda assim muito bom, as demais espécies não apresentaram diferenças significativas entre si ao nível de 1% de probabilidade. Entretanto, algumas espécies se destacaram por apresentarem maiores estabilidades de alvuras, conforme demonstrado pelos números de cor posterior. Foram os casos das espécies *E. andrewsii*, *E. quadrangulata*, *E. cloeziana* e *E. microcorys*, as quais apresentaram respectivamente 0,37; 0,41; 0,41 e 0,44 para números de cor posterior. As demais espécies apresentaram valores variando de 0,51 a 0,69, os quais são perfeitamente aceitáveis na indústria de celulose e papel. A análise estatística desse parâmetro mostrou comportamento similar para todas as celuloses.

Excetuando-se *E. propinqua*, *E. tereticornis* e *E. andrewsii*, as demais espécies apresentaram polpas branqueadas com viscosidades superiores a 700cm³/g. As espécies *E. propinqua* e *E. andrewsii*, cujas polpas não branqueadas possuíam elevados valores de viscosidades (respectivamente 1101 e 1191), sofreram sensivelmente a ação dos produtos químicos por ocasião do branqueamento, de modo que as viscosidades médias de suas polpas, após branqueamento, caíram para respectivamente 626 e 668cm³/g.

As espécies *E. quadrangulata*, *E. pilularis*, *E. urophylla* e *E. saligna* se caracterizaram por apresentarem elevados teores de hemiceluloses residuais em suas polpas branqueadas, já que seus valores de S₅ variaram de 10,96% a 13,58%. Valores intermediários foram mostrados pelas espécies *E. deanei*, *E. grandis*, *E. andrewsii*, *E. cloeziana* e *E. microcorys*, os quais variaram de 9,39% a 9,59%. As demais espécies apresentaram essa propriedade variando de 6,63% a 8,34%.

4.7. Ensaio físico-mecânicos e óticos da celulose branqueada a 35ºSR

A análise do Quadro X permite observar que existem algumas espécies pouco promissoras no que diz respeito às resistências de suas celuloses. Foram os casos das espécies *E. deanei* e *E. propinqua*, as quais apresentaram valores muito baixos para resistência à tração, rasgo e estouro. As espécies *E. camaldulensis* e *E. tereticornis*, embora tenham apresentado índice de tração abaixo da média, se destacaram por apresentar elevados valores de fator de rasgo, volume específico e opacidade. Infelizmente estas espécies apresentaram baixos rendimentos por ocasião da deslignificação. Mesmo assim, é de se

esperar que o uso destas madeiras em pequenas proporções com as espécies tradicionalmente usadas, poderiam contribuir no sentido de se obter uma integração de propriedades desejáveis.

As espécies *E.microcorus* e *E.pellita*, quando comparadas às demais, apresentaram valores de tração, rasgo, estouro e alongamento dentro da média. Entretanto, estas espécies, principalmente *E.pellita*, mostraram elevados valores para volume específico, opacidade, coeficiente de dispersão de luz e ascensão capilar. Um aspecto importante do *E.pellita* foi a capacidade de suas celuloses em manter elevado o volume específico por ocasião do refino, o que é muito importante para a fabricação de papéis tipo impressão e escrita e papéis para impregnação.

A espécie *E.urophylla* se caracterizou por apresentar menores valores para volume específico, opacidade, coeficiente de dispersão de luz e ascensão capilar, embora boas resistências à tração, estouro, rasgo e alongamento. Associando-se ao seu alto consumo específico, leva-se a acreditar que se trata de uma espécie com desvantagens para a indústria de celulose e papel. Lembrar que a madeira atualmente disponível no mercado como *E.alba*, sinônimo *E.urophylla*, trata-se de ampla variedade de híbridos e não espécie *E.urophylla* pura como é o caso dessa pesquisa.

As celuloses das espécies *E.saligna*, *E.grandis*, *E.pilularis*, *E.quadrangulata* e *E.andrewsii* se destacaram entre as demais, por apresentarem adequados valores para as propriedades analisadas. Considerando que a qualidade de um papel seja o resultado da interação de todas as suas propriedades isoladas, este aspecto é muito importante na escolha destas espécies como matéria prima para a indústria de celulose.

5. Conclusões

Nas condições do presente trabalho, os resultados propiciaram as seguintes conclusões e considerações:

- A. *E.grandis* e *E.saligna*, mesmo com baixas densidades básicas, são as melhores espécies para o abastecimento de madeira na indústria de celulose, visto que seus incrementos médios, em $m^3/ha.ano$ foram muito superiores aos das outras espécies, de modo que os elevados volumes de madeira produzidos por hectare compensam as menores densidades e propiciam os maiores valores de matéria-seca por ha.ano.
- B. Com relação aos teores de casca, as espécies *E.grandis* e *E.saligna* são as fontes de madeira mais viáveis, pois apresentaram menores porcentagens.
- C. *E.quadrangulata*, *E.pellita* e *E.microcorus* apresentaram os maiores valores de densidade básica, fração parede e índice de Runkel, o que faz crer que um melhoramento genético dessas espécies, para aumentar o comprimento médio de suas fibras, associado a um manejo florestal com vistas ao aumento do incremento florestal médio, torná-las-ia bastante viáveis para o abastecimento de madeira na indústria de celulose.
- D. Quando o objetivo do processo for a obtenção de celulose solúvel, provavelmente *E.pellita* será mais aconselhável, pois além de apresentar o menor teor de pentosanas, foi uma das

que apresentou maior rendimento em celulose depurada.

- E. Considerando apenas o "rendimento em celulose depurada", *E. grandis* seguido de *E. pilularis*, *E. pellita* e *E. quadrangulata*, seriam as espécies economicamente mais viáveis, pois superaram as demais.
- F. Considerando a mesma faixa de número kappa, as celulosas não branqueadas de *E. andrewsii*, *E. quadrangulata* e *E. grandis* apresentaram maiores alvuras, evidenciando adequação para a fabricação de papéis não branqueados.
- G. *E. tereticornis*, *E. propinqua*, *E. cloeziana* e *E. camaldulensis* apresentaram baixo rendimento em celulose depurada, devendo esse aspecto negativo pesar em sua possível utilização pela indústria de celulose.
- H. Maiores percentagens de álcali ativo inicial são necessárias para a deslignificação das madeiras de *E. cloeziana* e *E. tereticornis*, o que reforça a conclusão G.
- I. Álcali ativo inicial relativamente baixo pode ser usado na deslignificação da madeira de *E. andrewsii*, *E. pellita* e *E. saligna* sem que hajam elevados teores de rejeitos nas polpas produzidas, o que é mais uma vantagem dessas espécies.
- J. O menor consumo de álcali ativo, base madeira, foi obtido para *E. pellita*, o que evidencia menor gasto com produtos químicos com a deslignificação de sua madeira.
- L. São necessárias menores quantidades de madeira para a produção de uma tonelada de celulose não branqueada a partir de *E. quadrangulata*, *E. pellita*, *E. microcorys* e *E. cloeziana*, enquanto menor número de árvores para a mesma produção é conseguido a partir de *E. grandis* e *E. saligna*.
- M. Menores consumos de produtos químicos nos branqueamentos foram apresentados pelo *E. quadrangulata* e *E. urophylla*.
- N. Excetuando-se o *E. tereticornis*, as demais espécies apresentaram celulosas branqueadas com alvuras a níveis de igualdade.
- O. Maiores estabilidades de alvura foram apresentadas pelas celulosas branqueadas do *E. andrewsii*, *E. quadrangulata*, *E. cloeziana* e *E. microcorys*.
- P. Quando o objetivo do processo for a obtenção de polpas destinadas a papéis de alta opacidade, elevado volume específico e facilidade de impregnação, provavelmente a adição de polpas das espécies *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. microcorys*, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* contribuirão de maneira marcante para estas propriedades.
- Q. Quando o objetivo for a obtenção de polpas destinadas a papéis com elevadas propriedades físico-mecânicas as espécies *E. saligna*, *E. grandis*, *E. pilularis* e *E. quadrangulata* são as mais aconselháveis.
- R. De modo geral, a associação das características florestais às qualidades das madeiras, seu comportamento na deslignificação e branqueamento, as propriedades das polpas kraft não branqueadas e branqueadas obtidas, permitem concluir que as melhores espécies para conversão em celulose foram *E. grandis* e *E. saligna*.

Além dessas, mostraram bom potencial *E. pellita*, *E.*

pilularis, *E.andrewsii*, *E.quadrangulata* e *E.microcoris*. Para essas, uma programação bem dirigida de pesquisa de melhoramento, quer genético, quer de manejo florestal, certamente proporcionará desenvolvimento de qualidade de florestas e de produtos e torna-las-ã excelentes alternativas para a indústria de celulose.

6. Literatura citada

1. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Tappi Standard Methods, Atlanta, S.D.
2. FOELKEL, C.E.B.; CABRERA, A.C.A. & VESZ, J.B.V.. Novas fórmulas para dosagens de cloro ativo e soda cáustica nos estágios C & E₁ do branqueamento de celulose kraft de eucalipto. Trabalho técnico a ser publicado na revista "O Papel".
3. MARENGO, J.V. *et alii*. Cloração/dioxidação como estágio inicial do branqueamento de polpa kraft de eucalipto: Um estudo de otimização. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 15., São Paulo, 1982. Trabalhos técnicos... São Paulo, 1982. p. 263 - 277.