

ROTAÇÃO ECONÔMICA DE PLANTIOS DE *Eucalyptus grandis* PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE

Thais Cunha Ferreira¹, Antônio Donizette de Oliveira², José Roberto Soares Scolforo²; José Luiz Pereira de Rezende²

(Recebido: 20 de agosto de 2003; aceito: 22 de novembro de 2004)

RESUMO: Os principais objetivos do estudo foram: determinar o impacto do aproveitamento da árvore, associado ao comprimento das toras em que o fuste é seccionado e/ou ao diâmetro mínimo aproveitável do fuste na rotação econômica e na lucratividade de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose; determinar o prejuízo econômico decorrente do corte da floresta em idade diferente da ótima. Desenvolveu-se um modelo biométrico para prognosticar o volume de madeira utilizando-se dados provenientes de parcelas instaladas em plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose com a idade de medição variando de 19 a 103 meses. Foram avaliados plantios nos espaçamentos 3 x 2 e 3 x 3 m nos sítios 30, 28, 26 e 24 m. A prognose do volume foi realizada a partir da idade zero, considerando o seccionamento do fuste em toras com 2,5, 2,8, 4,0 e 6,0 m de comprimento para diâmetros mínimos aproveitáveis de 4 a 10 cm, em intervalos de 2 cm. Para a análise econômica, utilizou-se o critério do Valor Presente Líquido (VPL), calculado para um horizonte de planejamento considerado infinito e uma planilha de custos que incluía os gastos com reforma, manutenção, colheita e transporte de madeira. As principais conclusões foram: variações proporcionais no diâmetro mínimo aproveitável do fuste e/ou no comprimento das toras em que este é seccionado implicaram em variações diretamente proporcionais na idade ótima de corte dos plantios; há grandes prejuízos econômicos quando os plantios são cortados em idades diferentes da idade ótima, principalmente se eles estiverem em sítios mais produtivos; os prejuízos por cortar os plantios em idades anteriores à idade ótima tendem a ser maiores que aqueles incorridos quando o corte é feito após a idade ótima; aproveitando-se mais o fuste via redução do diâmetro mínimo e/ou do comprimento das toras em que este é seccionado conseguem-se aumentos significativos na lucratividade dos plantios. Contudo, antes de qualquer tomada de decisão em relação a mudanças nestes parâmetros, é necessário realizar novos estudos para detectar possíveis restrições técnicas associadas a tais mudanças, bem como avaliar o impacto dessas mudanças sobre os custos de colheita e de transporte de madeira.

Palavras chave: rotação florestal, análise econômica, diâmetro mínimo, *Eucalyptus* sp.

ECONOMIC ROTATION OF *Eucalyptus grandis* PLANTATIONS FOR PULP PRODUCTION

ABSTRACT: *The objectives of the research were: to determine the economic impact of several minimum diameter and length of logs in economic rotation age, economic feasibility of Eucalyptus grandis plantation for cellulose production; to determine the economic loss of cutting the stand before or after the optimal economic rotation age. A biometric model for*

¹ Engenheira Florestal, MsC, Aracruz Celulose S/A, Rodovia Aracruz/Barra do Riacho, Km 25, s/n°. CEP: 29197-000, Aracruz-ES. tcferreira@aracruz.com.br

² Professores do Departamento de Ciências Florestais da UFLA. Cx Postal 3037. CEP: 37200-000 Lavras, MG. donizete@ufla.br; scolforo@ufla.br; jlprezen@ufla.br

making wood volume prognosis was developed using data of a trial of Eucalyptus grandis plantation envisaging pulp production. Eucalyptus grandis stands of 19 and 103 months old, in the spacing 3 x 2 and 3 x 3 m in site index of 30; 28; 26 and 24 m were used. The prognosis started at the age zero, considering logs of 2.5; 2.8; 4.0 and 6.0 m of length for minimum diameter varying from 4 to 10 cm, in intervals of 2 cm. Net Present Worth (VPL) was used the economic criterion, considering an infinite horizon and a cost relation including reestablishment, yearly maintenance, logging and wood transportation costs. The main conclusions were: increases in the minimum diameter and or in logs length increase the rotation age; harvesting the stands in ages different from the optimal one cause large economic loss mainly in the better sites; the economic loss is larger if the harvest is made before the optimal economic rotation than if it is made after; economic feasibility increases when the minimum diameter is smaller and when the length of the logs is shorter. Any way, before making any decision it is necessary to take into account possible technical restrictions and effect on harvest and transportation costs caused by changes in the length of logs and in the size of the minimum commercial diameter.

Key words: forest rotation, economic analysis, minimum diameter, Eucalyptus sp

1 INTRODUÇÃO

A rotação florestal foi definida por Davis (1966) como sendo o tempo passado entre o estabelecimento e o crescimento de uma floresta até o momento de seu corte. A determinação da rotação é de fundamental importância no resultado final de um povoamento florestal, pois o corte fora desta idade acarretará em um aumento nos custos de produção, impedindo que se alcance o máximo retorno sobre o capital investido (Hoffman & Berger, 1973; Rezende et al., 1987).

Uma empresa florestal pode usar as melhores técnicas de produção e plantio de mudas, usar a espécie mais adequada, atingir uma estrutura ótima de povoamento (espaçamento, espécie, adubação e outros), adotar técnicas de proteção (prevenção contra fogo, doenças, ataque de insetos e outros) e ainda ficar muito aquém dos resultados econômicos, potencialmente atingíveis, caso o corte final não seja realizado no momento adequado (Bentley & Teenguarden, 1965). Neste sentido, Smith (1989) analisou o prejuízo econômico resultante do corte da floresta acima desta idade e verificou que

existe uma relação direta entre taxa de desconto e produtividade com prejuízo, ou seja, a medida em que se aumentam a taxa de desconto e a produtividade, maiores são os prejuízos ocasionados por cortar a floresta acima da idade ótima de corte.

Scolforo & Hosokawa (1992) comentam que, entre os diversos tipos de rotação existentes, a econômica é a mais conveniente, uma vez que considera taxa de juros, custos de produção e dimensões das plantas. Contudo, na determinação da idade de corte, o critério utilizado não deve ser rígido, preservando sempre os interesses da empresa, pois caso ocorram mudanças, nas condições econômicas ou nos objetivos da empresa, o critério utilizado deverá acompanhar tais mudanças (Johnston et al., 1977; Nautiyal, 1988). Ou seja, se a demanda da unidade consumidora for maior que a oferta de madeira, a idade de corte deverá ser aquela capaz de atender às necessidades da fábrica, se for para produção de celulose.

Atualmente, as empresas florestais têm utilizado um mix entre rotação econômica e técnica para suprir suas unidades consumidoras, seja no quesito quantidade

como no qualidade, 24 horas por dia de forma a garantir o menor custo possível. O maior dilema está em equilibrar seus custos, uma vez que a aquisição de madeira de terceiros eleva, consideravelmente, os custos totais de produção. Por esta razão é que muitas empresas vêm adotando uma idade de corte muito inferior à idade ótima de corte obtida por algum critério econômico ou pela maximização do Incremento Médio Anual.

Os fatores que afetam a idade de corte do povoamento já são bem conhecidos e estudados [veja, por exemplo, os trabalhos de Pearse (1967); Mc Killop (1971); Lopes (1990); Rezende & Oliveira (1994); Rodriguez et al. (1997); Lima Júnior et al. (1999), entre outros]. Entretanto, são poucos os trabalhos que analisaram a otimização dos produtos extraídos da floresta, de forma a garantir a obtenção de um maior volume por unidade de área.

Assim, este estudo teve como objetivos: determinar o impacto do aproveitamento da árvore, associado ao comprimento das toras em que o fuste é seccionado e ou ao diâmetro mínimo aproveitável do fuste, na rotação econômica e na lucratividade de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose; determinar o prejuízo econômico decorrente do corte da floresta em idade diferente da ótima; analisar as implicações econômicas relacionadas à rotação e à lucratividade da atividade florestal decorrente de mudanças nos parâmetros taxa de desconto, espaçamento e nível de produtividade dos plantios.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As áreas em estudo são de propriedade da Empresa Votorantim Celulose e Papel – (VCP), com sede industrial no município de Luiz Antônio, estado de São Paulo. Os dados

foram provenientes do projeto localizado no distrito de Tamoio, onde a precipitação média anual é de 1.571 mm, a temperatura média anual é de 24°C e a altitude média é de 650 m acima do nível do mar. Os solos predominantes do distrito de Tamoio são caracterizados como areia quartzosa álica, textura areia/areia franca (<15% argila) e latossolo vermelho escuro, textura média (15% – 35% argila), relevo suave ondulado e ondulado.

2.2 Base de dados para desenvolvimento do estudo

2.2.1 Modelo biométrico

Os dados utilizados para a prognose precoce do volume por classe diamétrica foram provenientes de plantios de *Eucalyptus grandis*, de parcelas retangulares de 400m², com idades de medição variando de 19 a 103 meses, instaladas nos espaçamentos 3x2m e 3x3m. A prognose foi realizada por meio do “software” SPP *eucalyptus*, desenvolvido por Scolforo (1999). O modelo foi composto por cinco fases.

Na fase 1 foi feita a classificação de sítio utilizando-se o método da diferença algébrica, avaliando o desempenho dos modelos em sua forma anamórfica e polimórfica. A equação de sítio selecionada foi:

$$S = 32,2522562 * \left(\frac{Hd}{32,2522562} \right)^{\left(\frac{\ln(1 - \exp(-3,3044895 * (I^{0,1842405})))}{\ln(1 - \exp(-3,3044895 * (I_{ref}^{0,1842405})))} \right)}$$

cujo coeficiente de determinação (R²) foi de 88,32% e o erro padrão dos resíduos (S_{yx}%) de 5,5%. A idade de referência adotada foi de 84 meses.

A fase dois constituiu no desenvolvimento e seleção dos modelos e dos atributos do povoamento, tais como: sobrevivência de árvores, área basal, diâmetro máximo, média aritmética dos diâmetros, diâmetro mínimo e

variância dos diâmetros. De forma complementar, foi obtido o diâmetro médio quadrático por meio da seguinte expressão:

$$Dg_2 = \sqrt{\frac{G_2}{0,000785398 * N_2}}$$

em que:

Dg_2 = diâmetro médio quadrático na idade de prognose I_2 ;

G_2 = área basal na idade de prognose I_2 ;

N_2 = número de árvores sobreviventes na idade de prognose I_2 .

Na fase três, foram ajustados, construídos e selecionados os modelos hipsométricos e o polinômio de potências fracionárias e inteiras para estimativa da altura e do volume, respectivamente.

Na fase quatro, foram feitos o ajuste e a seleção das distribuições diamétricas, sendo a de Weibull, com ajuste pelo método dos momentos, a mais precisa (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição de Weibull.

Table 1. Weibull distribution

Fdp	$f(d) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{d-a}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{d-a}{b}\right)^c\right]$
Faixa	$A \leq d \leq \infty, a \geq 0, b > 0, c > 0$
Método de estimativa – momentos	
Estimativa de b ou de $\bar{\beta}$ (escala)	$\bar{d} = b \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$
Estimativa de c ou de γ (forma)	$cv = \frac{Sd}{\bar{d}} = \frac{[\Gamma(1+2c) - \Gamma(1+1/c)]^{1/2}}{\Gamma(1+1/c)}$
Parâmetros estimados da distribuição	\hat{b}, \hat{c} , além do parâmetro “a” ser vinculado ao D_{\min}

Finalmente, na fase cinco, foi obtida a prognose do crescimento e da produção dos múltiplos produtos da madeira e de seu volume. Para a avaliação da precisão das prognoses, utilizaram-se as informações de cada parcela em sua primeira medição e, a partir destas, efetuou-se a prognose para as idades nas quais estas foram remeidas. Pôde-se então confrontá-las com os volumes de cada parcela obtida na ocasião do processamento do inventário. Observou-se que os resíduos obtidos destes confrontos não apresentaram tendenciosidade para os estratos que compuseram este estudo.

2.2.2 Cenários para prognose do volume

Foram realizadas, a partir da idade zero, prognoses para plantios de *Eucalyptus grandis* nos espaçamentos 3x2 m’ e 3x3 m. A primeira idade de prognose foi 36 meses e, a partir desta, a cada 12 meses, até 120 meses. Os índices de sítio utilizados foram: 30m, 28m, 26m e 24m, correspondentes às classes de sítio I, II, III e IV, respectivamente. Para cada situação, foi prognosticado o volume considerando-se o seccionamento do fuste em toras com 2,8 m de comprimento até um diâmetro mínimo aproveitável de 8 cm, que é o padrão adotado pela empresa. Também foi

feita a prognose do volume para toras com comprimentos de 2,5, 4,0 e 6,0 metros, para diâmetros mínimos de 4 a 10 cm, em intervalos de 2 cm.

2.3 Custos e receitas envolvidos no processo de produção de madeira

Os custos utilizados neste estudo referem-se aos gastos com reforma, manutenção, colheita e transporte de madeira para produção de celulose (Tabela 2). Considerou-se também o custo anual da terra,

calculado com base nos juros sobre o valor da terra, o qual equivale ao custo de oportunidade do uso deste fator. O valor da terra para o distrito de Tamoio é de R\$ 4.166,67/ha.

As receitas foram obtidas pela multiplicação do preço da madeira colocada no pátio da fábrica de celulose pela quantidade produzida, para cada situação analisada. Considerou-se que o preço da madeira para celulose posto fábrica é de R\$ 31,50/m³, independente da qualidade da madeira e do diâmetro e comprimento da tora.

Tabela 2. Custos das operações florestais.

Table 2. Forest operations cost

Atividades	Custos por espaçamento	
	3x3 m	3x2 m
Reforma (ano 0) (R\$/ha)	821,48	957,33
Manutenção (ano 1) (R\$/ha)	512,18	512,18
Manutenção (anos 2 a n*) (R\$/ha)	59,21	59,21
Roçada (2 anos antes da colheita) (R\$/ha)	56,00	56,00
Roçada pré-corte (anos de corte) (R\$/ha)	56,00	56,00
Transporte** (R\$/m ³)	5,42	5,42
Colheita *** (R\$/m ³)	5,80	5,80

* n é a idade de corte

** Para a análise econômica os custos de transporte e colheita são convertidos para R\$/ha, de acordo com a produção de madeira obtida em cada idade.

***A colheita é feita com Feller Buncher, Skidder e Traçadeira.

2.4 Determinação da rotação econômica e do prejuízo decorrente do corte em idade diferente da ótima

A idade ótima econômica de corte ou rotação econômica foi definida pelo máximo Valor Presente Líquido, considerando um horizonte de planejamento infinito (VPL_∞). Este critério foi escolhido por permitir comparar alternativas que apresentam durações diferentes entre si, como é o caso deste estudo. Segundo Rezende & Oliveira

(2000, 2001), o VPL_∞ pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$VPL_{\infty} = \frac{VPL(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

em que:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}$$

n = duração do projeto em anos ou em número de períodos de tempo, que neste estudo indica a idade de corte do povoamento;

i = taxa anual de desconto ou taxa mínima de atratividade, expressa na forma unitária;

j = período de tempo considerado;

C_j = custos no final do ano j ou do período de tempo considerado; e

R_j = receitas no final do ano j ou do período de tempo considerado.

Foram utilizadas taxas de desconto iguais a 3%, 6%, 9% e 12% ao ano para testar seu efeito nas diversas situações analisadas.

O prejuízo (P), por cortar a floresta em idade diferente da idade ótima, foi determinado com base na diferença entre o VPL_{∞} na IOC ($VPL_{\infty IOC}$) e o VPL_{∞} na idade efetiva de corte ($VPL_{\infty IEC}$), ou seja:

$$P = VPL_{\infty IOC} - VPL_{\infty IEC}$$

Assim, o prejuízo será o valor que a empresa deixa de ganhar (custo de oportunidade) ao cortar a floresta fora da IOC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise econômica da idade ótima de corte

As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados das mudanças no diâmetro mínimo aproveitável do fuste, conjugados com alterações no comprimento das toras, para diversas situações. O maior retorno econômico foi obtido com o plantio no espaçamento 3x2 m, seccionando o fuste em toras de 2,5 m de comprimento até um diâmetro mínimo de 4 cm

aos 3 anos de idade. Deve-se observar que este resultado ocorreu no sítio de maior produtividade, o qual, para o projeto em estudo, ocorre em uma pequena área e, por isso mesmo, são denominadas de microsítios especiais, assim como no outro extremo, classe de sítio IV, o mesmo fenômeno também ocorre. As áreas mais expressivas deste projeto (90%) estão nas classes de sítio II e III, ou índices de sítio 28 m e 26 m, respectivamente, na idade de referência de 84 meses.

A produtividade do local tem efeito direto tanto na idade ótima econômica de corte como na rentabilidade dos plantios. Considerando o espaçamento 3x2 m, a taxa de desconto de 6% a.a. e o diâmetro mínimo de 8 cm, na idade ótima de corte os investimentos realizados nos sítios de alta produtividade (sítio I) propiciaram lucros variando de R\$ 8.158,07/ha (toras com 2,8 m de comprimento) a R\$ 4.781,89/ha (toras com 6 m de comprimento). No sítio II, estes lucros ocorreram em menor escala, variando de R\$ 2.050,61/ha a R\$ 247,00/ha. Já os plantios nos sítios III e IV não se mostraram lucrativos. Assim, nestes sítios, a empresa deverá decidir se continua a plantar *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose ou se redefine o manejo destes plantios para outros usos que agreguem mais valor à madeira.

Na mesma linha de raciocínio do parágrafo anterior, pode-se observar para a classe de sítio II, quando o diâmetro mínimo de corte é 6 cm, que há um significativo aumento no número de toras e, conseqüentemente, no volume para celulose. Isto propicia lucros variando de R\$ 3.665,43 a R\$ 1.525,22 por hectare, valores estes que são significativamente superiores àquele em que o diâmetro mínimo é de 8 cm. Embora em menor proporção, este mesmo comportamento é observado nas outras classes de sítio.

Tabela 3. VPL_{∞} (R\$/ha) para diversas idades, sítios, comprimentos de tora e diâmetros mínimos aproveitáveis do fuste, para o espaçamento 3x2 m e taxa de desconto de 6% a.a..

Table 3. NPW_{∞} (R\$/ha) for several ages and site index, in 3 x 2 spacing, combining different log length and commercial minimum diameter, considering a discount rate of 6.0% per annum.

Tora (m)	IC Anos	Sítio I				Sítio II			
		4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm
2,5	3	12426,07	11098,95	7882,03	3805,14	3911,31	2562,96	-324,84	-4019,53
	4	9406,14	8664,40	6562,83	3619,07	4407,16	3665,43	1687,47	-1140,39
	5	6590,77	6189,03	4618,08	2423,55	3418,88	3161,06	1458,19	-124,75
	6	4357,73	4125,13	3020,33	1266,20	2235,33	2070,58	757,40	-434,63
	7	2741,87	2504,29	1791,55	358,03	1243,91	1123,11	96,29	-841,95
	8	1434,49	1253,50	597,81	-450,60	358,76	256,31	-559,88	-1321,42
2,8	3	12192,50	11003,40	8158,07	3943,16	3667,12	2594,81	-324,84	-5208,62
	4	9251,61	8563,96	6771,44	4013,12	4244,91	3649,98	2050,61	-1565,34
	5	6494,83	6045,13	4857,92	2855,26	3502,83	3023,15	1949,86	-1126,08
	6	4289,89	4018,53	3160,85	1731,38	2293,48	1963,97	1241,97	-1214,78
	7	2689,52	2516,37	1860,01	780,84	1288,21	1042,58	515,07	-1458,04
	8	1400,34	1178,37	768,56	-71,53	386,08	188,01	-337,90	-1809,77
4,0	3	11428,08	10430,09	6692,94	556,36	3253,06	2138,28	-1471,47	-8011,49
	4	8687,58	8154,46	5821,09	1710,65	3750,42	2892,79	675,31	-2500,23
	5	6051,13	5781,31	4060,45	1026,48	2831,28	2411,56	966,52	-1623,75
	6	3965,23	3824,70	2627,83	418,21	1697,46	1527,86	505,43	-1355,30
	7	2435,84	2347,25	1509,68	-173,51	772,78	676,14	-60,76	-1425,83
	8	1188,61	1137,39	276,80	-792,10	-47,62	-105,68	-648,67	-1700,49
	9	181,62	149,26	-547,84	-1371,42	-762,56	-800,80	-1239,06	-2047,93
6,0	3	9230,38	9102,98	4781,89	259,09	1692,37	1618,05	-3202,03	-7034,73
	4	7142,31	7088,22	4329,90	1162,08	2104,70	1525,22	64,93	-2732,02
	5	4809,95	4809,95	2855,26	420,88	1338,27	1134,41	247,00	-1989,51
	6	3059,09	3059,09	1624,78	-202,04	452,13	452,13	-129,35	-1815,64
	7	1751,29	1751,29	688,22	-761,41	-241,96	-241,96	-568,13	-1905,01
	8	659,28	659,28	-156,90	-1328,25	-870,64	-870,64	-1068,71	-2158,10
	9	-244,88	-244,88	-874,33	-1847,92	-1442,01	-1442,01	-1562,61	-2471,48

Continua...
To be continued...

Tabela 3. Continuação**Table 3.** Continued

Tora (m)	IC Anos	Sítio III				Sítio IV			
		4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm
2,5	3	-2819,82	-3892,12	-6588,82	-9561,56	-7565,58	-8499,86	-11058,5	-12958,9
	4	-35,51	-808,15	-2415,24	-4679,08	-3566,47	-4215,49	-5753,04	-7978,24
	5	570,78	-82,78	-1018,16	-2984,84	-1983,51	-2463,19	-3506,50	-5197,37
	6	321,29	-231,11	-967,65	-2363,20	-1553,97	-1961,01	-2712,09	-3967,11
	7	-153,37	-556,05	-1152,01	-2190,91	-1510,39	-1832,53	-2364,07	-3366,73
	8	-693,06	-993,58	-1485,35	-2298,12	-1697,08	-1953,20	-2400,57	-3175,78
2,8	3	-2522,54	-3711,64	-6684,37	-9306,75	-7427,56	-9136,88	-10814,3	-12874,0
	4	103,56	-537,73	-2824,74	-4864,51	-3566,47	-4671,35	-5961,66	-7684,64
	5	588,77	205,03	-1659,73	-3320,62	-2007,50	-2553,13	-3872,25	-5341,27
	6	238,92	-56,67	-1098,48	-2765,39	-1524,90	-1781,72	-3060,97	-4253,01
	7	-217,80	-455,38	-1007,05	-2585,54	-1510,39	-1715,76	-2710,37	-3688,87
	8	-747,70	-795,51	-1270,20	-2649,87	-1717,57	-1888,32	-2670,36	-3486,54
4,0	3	-3393,13	-5006,90	-8032,72	-11419,5	-8117,66	-9975,61	-12587,3	-13776,4
	4	-530,00	-1248,56	-3187,88	-6031,19	-4030,06	-4748,61	-6618,40	-8913,14
	5	294,97	-232,68	-1629,75	-4052,13	-2373,25	-2667,06	-4034,14	-6204,69
	6	-66,36	-328,02	-1287,46	-3051,28	-1941,63	-2067,61	-2997,98	-4718,19
	7	-499,67	-644,64	-1329,19	-2649,97	-1848,64	-1913,07	-2573,46	-3962,69
	8	-990,17	-1075,54	-1601,46	-2605,47	-1997,60	-2021,50	-2523,51	-3677,79
6,0	9	-1471,42	-1527,31	-1947,92	-2730,32	-2195,00	-2253,82	-2650,91	-3627,43
	3	-5102,45	-5367,88	-7831,00	-10899,2	-9200,58	-9678,34	-12183,9	-13776,4
	4	-1364,45	-2028,92	-3543,30	-5946,20	-5011,31	-5142,66	-6657,03	-8665,89
	5	-862,26	-1138,08	-2145,40	-4166,05	-3242,67	-3260,66	-4357,93	-6138,74
	6	-1108,17	-1239,01	-1801,10	-3361,40	-2755,70	-2760,54	-3400,17	-4839,33
	7	-1393,62	-1454,02	-1784,21	-3020,43	-2513,06	-2593,59	-2968,08	-4115,71
6,0	8	-1741,47	-1775,62	-1973,69	-2987,95	-2605,47	-2646,45	-2875,26	-3814,39
	9	-2097,93	-2118,52	-2245,00	-3097,99	-2777,38	-2800,92	-2942,10	-3736,26

Tabela 4. VPL_{∞} (R\$/ha) para diversas idades, sítios, comprimentos de tora e diâmetros mínimos aproveitáveis do fuste, para espaçamento 3x3 m e taxa de desconto de 6% a.a..

Table 4. NPW_{∞} (R\$/ha) for several ages and site index, in 3 x 3 spacing, combining different log length and commercial minimum diameter, considering a discount rate of 6.0% per annum.

Tora (m)	IC Anos	Sítio I				Sítio II				
		4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	
2,5	3	8293,78	7571,83	5650,17	3452,47	1148,60	426,65	-804,91	-3236,18	
	4	5810,04	5354,18	4148,87	2711,76	1645,52	1181,93	378,39	-1135,99	
	5	3536,67	3218,88	2367,45	1354,12	958,39	640,60	29,01	-978,32	
	6	1663,65	1532,82	927,11	166,34	25,82	-172,85	-642,88	-1374,58	
	7	437,45	348,86	-102,14	-694,07	-718,23	-843,06	-1213,52	-1773,24	
	8	-533,35	-598,24	-939,74	-1417,84	-1366,61	-1451,99	-1752,51	-2196,46	
	2,8	3	8134,53	7688,62	6053,62	2316,46	1233,54	670,84	-1537,48	-3607,77
		4	5578,25	5400,54	4380,66	1954,57	1668,70	1328,73	-85,20	-1545,48
5		3344,80	3308,82	2607,29	730,54	916,42	688,57	-318,76	-1446,01	
6		1605,50	1595,81	1053,10	-279,46	-12,95	-168,01	-875,47	-1742,85	
7		393,16	389,13	-37,71	-1024,26	-746,42	-855,14	-1382,65	-2067,20	
8		-564,09	-567,50	-912,42	-1670,55	-1390,52	-1465,65	-1872,04	-2425,27	
4,0	3	7444,43	7072,84	5193,65	1859,94	437,27	-19,26	-1686,11	-4584,53	
	4	5145,57	4867,42	3700,74	1854,13	1205,11	988,77	-46,56	-2109,51	
	5	2985,04	2919,08	2241,53	988,37	550,66	532,67	-102,90	-1691,84	
	6	1343,84	1319,61	815,66	-12,95	-269,77	-279,46	-739,80	-1975,44	
	7	187,79	175,71	-202,80	-810,85	-939,70	-943,73	-1294,06	-2280,61	
	8	-731,42	-738,25	-1031,94	-1503,22	-1547,61	-1547,61	-1820,81	-2623,34	
6,0	3	5586,47	5533,39	4110,72	1222,92	-1080,95	-1144,65	-2408,06	-4648,23	
	4	3862,99	3677,56	3159,89	1282,38	123,42	100,24	-486,97	-2179,05	
	5	1911,75	1893,76	1743,86	280,84	-336,75	-366,73	-576,59	-1871,72	
	6	573,38	568,53	505,54	-604,12	-938,47	-953,00	-1049,92	-2052,97	
	7	-384,01	-384,01	-416,22	-1261,84	-1459,15	-1463,18	-1507,48	-2296,72	
	8	-1175,37	-1175,37	-1192,45	-1851,55	-1957,41	-1957,41	-1981,32	-2602,85	

Continua...
To be Continued...

Tabela 4. Continuação...**Table 4.** Continued...

Tora (m)	IC Anos	Sítio III				Sítio IV			
		4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm
2,5	3	-3958,13	-4563,30	-6007,20	-8396,00	-7886,39	-8661,42	-10179,6	-11581,0
	4	-2117,24	-2441,75	-3283,92	-4921,92	-5014,63	-5308,24	-6049,97	-7626,15
	5	-1380,05	-1571,92	-2129,55	-3058,93	-3352,73	-3580,58	-4072,25	-5565,26
	6	-1631,40	-1733,15	-2140,19	-2813,74	-3051,17	-3211,08	-3545,43	-4519,41
	7	-1918,21	-1974,58	-2280,61	-2808,12	-2965,16	-3029,59	-3335,63	-3830,92
	8	-2237,44	-2302,33	-2541,38	-2964,84	-3057,05	-3094,61	-3354,15	-3760,54
2,8	3	-3968,75	-5009,21	-6272,62	-8024,41	-8130,58	-8841,91	-9946,07	-11453,6
	4	-2186,77	-2696,72	-3585,25	-4836,93	-5060,99	-5501,40	-6266,31	-7340,28
	5	-1469,99	-1661,86	-2429,35	-3430,68	-3412,69	-3724,49	-4336,08	-5229,48
	6	-1704,08	-1800,99	-2363,09	-3143,24	-3109,32	-3274,07	-3744,10	-4451,57
	7	-1885,99	-2034,98	-2449,74	-3069,86	-3013,49	-3106,10	-3476,56	-4044,34
	8	-2251,10	-2319,40	-2667,74	-3176,57	-3098,03	-3142,42	-3442,94	-3914,22
4,0	3	-4393,43	-4998,59	-6845,93	-9277,20	-8119,96	-9171,04	-10997,1	-12780,7
	4	-2495,83	-2719,90	-3909,76	-5393,23	-5400,95	-5679,10	-6567,64	-7935,21
	5	-1715,83	-1751,80	-2645,21	-3676,52	-3586,58	-3916,36	-4479,98	-5523,29
	6	-1946,36	-1956,05	-2222,57	-3327,38	-3288,61	-3307,99	-3923,39	-4616,32
	7	-2204,11	-2208,13	-2353,10	-3251,06	-3194,69	-3202,74	-3661,79	-4185,27
	8	-2517,47	-2517,47	-2602,85	-3354,15	-3268,78	-3272,19	-3630,77	-4057,65
6,0	3	-5359,56	-5444,50	-6952,10	-9022,40	-9266,59	-9362,14	-10476,9	-12727,7
	4	-3461,63	-3492,54	-4164,73	-5462,77	-5833,63	-5879,99	-6652,63	-7912,03
	5	-2615,23	-2615,23	-2921,02	-3874,39	-4240,14	-4240,14	-4647,87	-5661,19
	6	-2784,66	-2784,66	-2910,65	-3516,36	-3947,62	-3952,47	-4131,75	-4766,54
	7	-2924,90	-2924,90	-2989,33	-3452,40	-3814,81	-3814,81	-3903,40	-4338,29
	8	-3125,35	-3125,35	-3159,50	-3565,88	-3818,60	-3818,60	-3862,99	-4218,15

Quanto à idade ótima econômica de corte, os resultados no microssítio I indicaram que, economicamente, os plantios devem ser cortados com 3 anos de idade. Mesmo que este fato seja desejado, existem certos inconvenientes, como a baixa qualidade da madeira que será produzida nos plantios jovens, ou, ainda, a retirada de fatores do meio, em especial dos solos, sem que haja tempo das plantas iniciarem um processo de ciclagem de nutrientes que permita retorno ao solo de pelo menos parte do que foi retirado, por exemplo.

Esta idade de corte precoce revela que o manejo que vem sendo aplicado não está adequado às condições de produtividade encontradas neste microssítio, e modificações quanto ao manejo adotado deverão ser realizadas. Uma opção é abrir o espaçamento para reduzir a competição entre as plantas nas idades iniciais da floresta. Com o retardamento da competição, aumenta-se a idade de corte. No entanto, não se deve desconsiderar o impacto desta prática na qualidade da madeira com a conseqüente redução da densidade básica, o que afetará a conversão da madeira em celulose. Outra possibilidade é promover adubação por cobertura dos plantios quando estes estiverem próximos a atingir o máximo IMA em volume, retardando também o momento ótimo de corte.

Para a classe de sítio III, pode-se também inferir que o manejo adotado não é o mais adequado. Em sítios com menores produtividades deve-se procurar obter mais biomassa, o que se consegue com material genético selecionado especificamente para estes, aliado a uma redução de espaçamento e quase sempre a uma maior adubação por cobertura em diferentes estágios de desenvolvimento do povoamento. Indícios deste fato podem ser constatados confrontando-se os VPLs da Tabela 3, provenientes de um maior número de árvores/ha, com os VPLs da

Tabela 4 obtidos de um menor número de árvores/ha. Para a classe de sítio IV, o fato é ainda mais crítico.

Na idade ótima econômica de corte há queda de rentabilidade dos plantios ao passar do espaçamento 3x2 m para 3x3 m, em qualquer das situações analisadas, o que está em conformidade com as leis de crescimento e produção como encontrado em Scolforo (1998).

O aumento do diâmetro mínimo aproveitável do fuste para um mesmo comprimento de tora propicia o atraso na idade de corte dos plantios. Por exemplo, no espaçamento 3x2 m, para toras com 4,0 m, no sítio III, a idade de corte é de 5 anos nos diâmetros mínimos de 4 e 6 cm, de 6 anos no diâmetro de 8 cm e de 7 anos no diâmetro de 10 cm. Este fato expressa que a redução do diâmetro mínimo está permitindo o aproveitamento de novas toras/ha com o comprimento especificado o que se reflete no volume e na renda, para mesmos valores de custos. De forma semelhante, o aumento do comprimento das toras para um mesmo diâmetro mínimo também causa o atraso na idade de corte dos plantios.

Quanto menor o diâmetro mínimo aproveitável do fuste, maior a lucratividade dos plantios. Isto era esperado, já que reduções no diâmetro mínimo proporcionam um aumento do aproveitamento do fuste, uma vez que elevam o número de toras a serem extraídas e, conseqüentemente, o volume de madeira produzida, como mostram as Tabelas 5 e 6. Por exemplo, para toras com 2,5 metros de comprimento, no sítio I e idade de 3 anos, adotando-se o diâmetro mínimo de 4 cm, obtêm-se 6.522,5 toras e 81,20 m³ a mais, por hectare, em relação à adoção do diâmetro mínimo de 10 cm. Assim, a lucratividade obtida para o diâmetro de 4 cm é de R\$ 8.620,93/ha superior à do diâmetro de 10 cm.

Tabela 5. Número de toras obtidas por hectare para diversas idades de corte (IC), sítios, comprimentos de tora e diâmetros mínimos aproveitáveis do fuste, no espaçamento 3x2 m.

Table 5. Number of logs obtained per ha for several cutting ages (IC) and site index, in 3 x 2 spacing, combining different log length and commercial minimum diameter

Tora (m)	IC Anos	Sítio I				Sítio II			
		4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm
2,5	3	10998,1	9124,1	6567,0	4475,6	9317,2	7285,3	4887,1	2945,4
	4	10752,9	9324,7	7049,6	5001,6	9209,3	7764,2	5571,8	3648,1
	5	10627,7	9624,1	7439,6	5488,1	9249,3	8570,8	6143,3	4725,5
	6	10180,4	9446,4	7523,1	5583,6	9038,9	8538,2	6271,4	4978,7
	7	9769,9	8989,4	7497,1	5585,4	8829,6	8405,8	6307,6	5105,8
	8	9426,2	8731,4	7184,1	5570,2	8637,3	8240,1	6300,9	5165,9
2,8	3	9462,9	8053,6	6006,6	4051,4	7880,6	6521,8	4382,0	2180,4
	4	9290,3	8196,8	6437,1	4673,7	7888,3	6882,6	5269,3	3053,6
	5	9244,3	8348,8	6864,1	5196,0	8444,4	7400,0	5980,5	3578,5
	6	8889,7	8209,0	6864,8	5378,7	8248,5	7387,6	6195,2	3839,2
	7	8552,9	8026,4	6774,9	5415,8	8034,1	7293,0	6250,4	3993,0
	8	8269,3	7593,7	6684,9	5428,4	7831,5	7159,8	6023,0	4086,1
4,0	3	6054,9	5339,2	3704,7	2026,6	5141,1	4318,9	2685,5	910,4
	4	5957,9	5444,5	4054,4	2510,7	5074,4	4243,8	2997,3	1851,4
	5	5901,2	5597,9	4299,1	2843,6	5072,6	4580,2	3539,2	2307,5
	6	5720,1	5519,2	4384,7	3051,3	4911,1	4664,4	3733,3	2623,5
	7	5524,7	5379,7	4406,5	3161,1	4771,7	4601,4	3813,5	2823,1
	8	5357,6	5256,9	4140,3	3234,5	4656,9	4534,5	3860,5	2948,1
	9	5201,7	5125,8	4081,0	3266,3	4561,1	4472,8	3851,3	3033,0
6,0	3	3221,5	3161,9	2073,9	1331,2	2738,1	2706,6	1414,2	766,3
	4	3241,0	3203,1	2286,8	1584,9	2620,6	2328,3	1848,0	1205,5
	5	3231,2	3230,6	2448,3	1764,5	2605,8	2480,6	2115,1	1463,5
	6	3186,5	3186,4	2489,0	1857,1	2538,5	2538,0	2221,1	1618,0
	7	3121,8	3121,8	2501,8	1900,7	2494,1	2494,0	2281,8	1711,1
	8	3061,1	3061,1	2503,3	1928,4	2466,2	2466,2	2317,4	1768,1
	9	2995,4	2995,4	2496,5	1941,2	2443,6	2443,6	2339,4	1807,1

Continua...
To be continued...

Tabela 5. Continuação ...**Table 5.** Continued ...

Tora (m)	IC Anos	Sítio III				Sítio IV			
		4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm
2,5	3	6428,3	4952,7	2785,0	1288,6	4979,3	3500,2	1286,0	291,7
	4	7297,2	5968,8	4251,3	2681,1	6112,3	4855,9	3116,2	1564,4
	5	7962,9	6579,8	5319,7	3546,1	6772,7	5696,4	4236,8	2697,4
	6	8256,0	6786,5	5611,0	4082,7	7133,9	6067,3	4810,8	3412,6
	7	8109,8	6877,9	5765,8	4409,6	7248,3	6272,4	5215,3	3866,9
	8	7953,4	6910,5	5846,9	4611,5	7321,1	6398,9	5382,2	4165,1
2,8	3	6256,5	4610,4	2437,8	1243,8	4747,4	2507,5	1284,4	291,7
	4	6853,7	5699,2	3501,8	2298,9	5523,0	3781,4	2616,9	1542,5
	5	7180,3	6355,2	4155,4	2945,8	6029,5	4987,3	3435,2	2311,0
	6	7124,2	6422,2	4892,2	3326,4	6528,6	5816,9	3895,4	2811,1
	7	7016,8	6398,1	5386,9	3570,5	6521,5	5904,4	4185,6	3141,1
	8	6898,1	6713,6	5618,6	3731,9	6479,4	5924,5	4379,0	3369,1
4,0	3	3538,3	2437,8	1243,8	392,1	2505,8	1284,4	291,7	1,6
	4	4126,3	3391,4	2286,0	1242,2	3260,2	2595,0	1520,5	688,8
	5	4641,1	3975,8	2931,5	1767,2	3706,6	3358,5	2308,2	1262,0
	6	4554,4	4154,5	3264,2	2192,2	3854,3	3677,9	2785,4	1734,4
	7	4466,9	4202,9	3445,3	2468,7	3935,7	3825,7	3066,9	2037,3
	8	4391,3	4211,1	3539,0	2656,1	3960,1	3907,3	3235,0	2231,8
6,0	9	4331,2	4200,7	3581,9	2780,5	4091,1	3942,5	3334,1	2356,3
	3	1668,1	1541,2	896,6	347,2	1224,7	994,3	290,1	1,6
	4	2320,8	1965,4	1438,9	860,0	1663,8	1573,7	1021,3	521,2
	5	2393,5	2211,2	1778,9	1167,0	1938,6	1925,8	1432,7	875,5
	6	2348,5	2245,4	1950,3	1376,1	2029,2	2025,4	1678,2	1132,4
	7	2320,9	2261,4	2057,2	1513,2	2149,4	2070,3	1829,6	1311,5
6,0	8	2307,6	2271,9	2127,5	1604,1	2147,4	2101,4	1933,3	1435,7
	9	2305,6	2282,3	2175,2	1665,6	2156,7	2128,7	2008,2	1523,3

Tabela 6. Volume (m³) obtido por hectare para diversas idades de corte (IC), sítios, comprimentos de tora e diâmetros mínimos aproveitáveis do fuste, no espaçamento 3x2 m

Table 6. Volume (m³) obtained per ha for several cutting ages (IC) and site index, in 3 x 2 spacing, combining different log length and commercial minimum diameter

Tora (m)	IC (anos)	Sítio I				Sítio II				Sítio III				Sítio IV			
		4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
2,5	3	246,9	234,4	204,1	165,7	166,7	154,0	126,8	92,0	103,3	93,2	67,8	39,8	58,6	49,8	25,7	7,8
	4	277,4	267,8	240,6	202,5	212,7	203,1	177,5	140,9	155,2	145,2	124,4	95,1	109,5	101,1	81,2	52,4
	5	290,0	283,3	257,1	220,5	237,1	232,8	204,4	178,0	189,6	178,7	163,1	130,3	147,0	139,0	121,6	93,4
	6	299,0	294,2	271,4	235,2	255,2	251,8	224,7	200,1	215,7	204,3	189,1	160,3	177,0	168,6	153,1	127,2
	7	304,6	298,7	281,0	245,4	267,4	264,4	238,9	215,6	232,7	222,7	207,9	182,1	199,0	191,0	177,8	152,9
	8	307,6	302,3	283,1	252,4	276,1	273,1	249,2	226,9	245,3	236,5	222,1	198,3	215,9	208,4	195,3	172,6
	3	244,7	233,5	206,7	167,0	164,4	154,3	126,8	80,8	106,1	94,9	66,9	42,2	59,9	43,8	28,0	8,6
	4	275,4	266,5	243,3	207,6	210,6	202,9	182,2	135,4	157,0	148,7	119,1	92,7	109,5	95,2	78,5	56,2
2,8	5	288,4	280,9	261,1	227,7	238,5	230,5	212,6	161,3	189,9	183,5	152,4	124,7	146,6	137,5	115,5	91,0
	6	297,6	292,0	274,3	244,8	256,4	249,6	234,7	184,0	214,0	207,9	186,4	152,0	177,6	172,3	145,9	121,3
	7	303,3	299,0	282,7	255,9	268,5	262,4	249,3	200,3	231,1	225,2	211,5	172,3	199,0	193,9	169,2	144,9
	8	306,6	300,1	288,1	263,5	276,9	271,1	255,7	212,6	243,7	242,3	228,4	188,0	215,3	210,3	187,4	163,5
	3	237,5	228,1	192,9	135,1	160,5	150,0	116,0	54,4	97,9	82,7	54,2	22,3	53,4	35,9	11,3	0,1
	4	268,1	261,2	231,0	177,8	204,2	193,1	164,4	123,3	148,8	139,5	114,4	77,6	103,5	94,2	70,0	40,3
	5	281,0	276,5	247,8	197,2	227,3	220,3	196,2	153,0	185,0	176,2	152,9	112,5	140,5	135,6	112,8	76,6
	6	290,9	288,0	263,3	217,7	244,1	240,6	219,5	181,1	207,7	202,3	182,5	146,1	169,0	166,4	147,2	111,7
4,0	7	297,0	294,8	274,0	232,2	255,7	253,3	235,0	201,1	224,1	220,5	203,5	170,7	190,6	189,0	172,6	138,1
	8	300,4	298,9	273,7	242,4	264,2	262,5	246,6	215,8	236,6	234,1	218,7	189,3	207,1	206,4	191,7	157,9
	9	302,6	301,5	277,8	249,8	270,5	269,2	254,3	226,8	246,4	244,5	230,2	203,6	221,8	219,8	206,3	173,1
	3	216,8	215,6	174,9	132,3	145,8	145,1	99,7	63,6	81,8	79,3	56,1	27,2	43,2	38,7	15,1	0,1
	4	248,1	247,4	211,7	170,7	182,9	175,4	156,5	120,3	138,0	129,4	109,8	78,7	90,8	89,1	69,5	43,5
	5	260,3	260,3	227,7	187,1	202,4	199,0	184,2	146,9	165,7	161,1	144,3	110,6	126,0	125,7	107,4	77,7
	6	272,2	272,2	242,6	204,9	218,4	218,4	206,4	171,6	186,2	183,5	171,9	139,7	152,2	152,1	138,9	109,2
	7	280,0	280,0	253,6	217,6	230,5	230,5	222,4	189,2	201,9	200,4	192,2	161,5	174,1	172,1	162,8	134,3
6,0	8	284,9	284,9	261,0	226,7	240,1	240,1	234,3	202,4	214,6	213,6	207,8	178,1	189,3	188,1	181,4	153,9
	9	288,1	288,1	266,7	233,6	247,4	247,4	243,3	212,4	225,1	224,4	220,1	191,1	202,0	201,2	196,4	169,4

Contudo, deve-se ressaltar que a lucratividade está sendo superestimada para as situações em que o diâmetro mínimo aproveitável do fuste é pequeno, uma vez que, nesta análise, adotou-se o valor de R\$ 5,80/m³ para o custo de colheita de toras de 2,8 metros

de comprimento até um diâmetro mínimo de 8 cm (padrão da empresa), não sendo considerada, por exemplo, a possibilidade de aumento deste valor devido à diminuição do diâmetro mínimo. Segundo Silva et al. (1995), o custo de corte decresce com o aumento do

diâmetro médio, do volume por hectare e com a idade do povoamento, sendo o diâmetro médio a principal variável a influenciar este custo.

Existem situações em que as mudanças nos diâmetros mínimos para um mesmo comprimento de tora não propiciaram alterações no número de toras obtidas e, conseqüentemente, no volume e na rentabilidade dos plantios. Por exemplo, no sítio I, para toras com 6,0 m de comprimento na idade de 6 anos, o número de toras/ha é de 3186,5, independente do diâmetro mínimo ser de 4cm ou 6cm. Este fato ocorreu porque o decréscimo do diâmetro mínimo de 6cm para 4cm não propiciou que as árvores das diferentes classes diamétricas do povoamento produzissem pelo menos uma nova tora com 6,0 m de comprimento. Ou seja, o percentual de aproveitamento das árvores não foi alterado com a mudança do diâmetro mínimo, resultando, portanto, no mesmo volume aproveitável da árvore, como mostra a Tabela 6.

Para um mesmo diâmetro mínimo aproveitável, a tendência predominante foi de queda na lucratividade à medida que o comprimento das toras aumentou. Isto ocorre porque o volume do fuste de uma árvore está associado ao número de toras que se pode obter dela. Assim, ao seccionar o fuste em toras de menor comprimento, obtém-se um melhor aproveitamento em termos volumétricos, contribuindo para aumentar o retorno financeiro. No caso do sítio I e diâmetro mínimo de 4 cm, cortar o fuste em toras com 2,5 m aos 3 anos de idade significa um retorno econômico 34% superior àquele que se obteria caso o fuste fosse cortado em toras de 6,0 m de comprimento. Já o ganho volumétrico proporcionado por esta redução no comprimento das toras é de 30,10m³/ha.

Combinando-se reduções no diâmetro mínimo aproveitável do fuste com reduções no

comprimento das toras em que o fuste é seccionado, consegue-se aumentar bastante a lucratividade dos plantios. Por exemplo, no sítio I, para toras com 6 m de comprimento e diâmetro mínimo de 10 cm, na idade ótima de corte (4 anos), obtém-se um VPL_∞ de R\$ 1.162,08. Reduzindo-se o comprimento das toras e o diâmetro mínimo para 2,5 m e 4 cm, respectivamente, o VPL_∞ na idade ótima de corte (3 anos) passa para R\$ 12.426,07.

Vale ressaltar que nas análises econômicas não se considerou qualquer alteração nos custos de traçamento, carregamento e empilhamento das toras de diferentes dimensões, pela inexistência dessa informação no momento em que se realizou este estudo.

3.3 Análise econômica do prejuízo decorrente do corte em idades diferentes da idade ótima econômica

A Tabela 7 mostra o prejuízo econômico decorrente do corte em idades diferentes da ótima para diversas situações. De forma geral, o prejuízo (ou custo de oportunidade) por cortar o povoamento fora da idade ótima é maior nas taxas de desconto mais baixas. Por exemplo, no espaçamento 3x2 e sítio I, a idade ótima se mantém fixa aos 3 anos independente da taxa, mas o prejuízo por cortar a floresta com 4 anos cai de R\$ 2.404,51/há, se a taxa for de 3% a.a. para R\$ 857,97/há, se a taxa for de 12% a.a. Isto ocorre porque taxas de desconto altas levam à obtenção de menores lucros, representados pelos VPL_∞. Se o lucro é pequeno em cada idade de corte, o prejuízo por cortar fora da idade ótima também será pequeno.

Os prejuízos tendem a ser maiores quando o corte no povoamento é feito em idades anteriores à idade ótima econômica de corte de que quando eles são realizados após esta idade. No espaçamento 3x3 m, o caso do sítio III e taxa de desconto de 3% a.a. ilustram

esta situação. O prejuízo por cortar aos 5 anos (um ano antes da idade ótima econômica de corte) é de R\$ 306,86/ha e por cortar aos 7 anos (um ano após esta idade) é de R\$ 44,66/ha. À medida que se distancia para cima ou para baixo desta, o valor do prejuízo aumenta, mas estes valores aumentam mais para as idades inferiores à idade ótima econômica de corte do que para as superiores à idade ótima econômica de corte. Rezende, Minette & Torquato (1987), estudando a idade ótima de corte para plantios de *Eucalyptus* spp., verificaram que os maiores prejuízos ocorreram ao realizarem cortes um ano antes da idade ótima econômica de corte.

A Tabela 8 apresenta um resumo da lucratividade (VPL_{∞}) obtida no sítio I pelas diversas combinações de comprimento de toras com diâmetro mínimo aproveitável, na idade ótima econômica. Mostra também a diferença entre as lucratividades obtidas quando se considera que os fustes serão cortados de acordo com o padrão da empresa e as obtidas nas outras situações. No espaçamento 3x2 m, a melhor situação é toras com 2,5 m de comprimento e diâmetro mínimo de 4 cm, gerando um lucro de

R\$ 12.426,07/ha. Já para as mesmas dimensões, no espaçamento 3 x 3 m, a lucratividade é de R\$ 8.293,78/ha. Por outro lado, o lucro obtido com base nas dimensões adotadas pela empresa é de apenas R\$ 8.158,07/ha e R\$ 6.053,62/ha para os espaçamentos 3x2 e 3x3 m, respectivamente.

Para cada espaçamento analisado, a diferença entre as lucratividades da dimensão adotada pela empresa e a dimensão ótima indicada na análise econômica é de R\$ 4.268,00/ha e de R\$ 2.240,16/ha, respectivamente, nos espaçamentos 3x2 m e 3x3 m. Estas diferenças podem ser consideradas como prejuízo, uma vez que a empresa está deixando de ganhar esta quantia (custo de oportunidade) por não adotar a condição ótima.

Em alguns casos, o padrão adotado pela empresa é mais vantajoso que determinadas situações simuladas. Para representar estes casos, os valores do prejuízo aparecem com sinal negativo na Tabela 8. Por exemplo, no espaçamento 3x3 m, cortar toras com 6 m de comprimento, considerando qualquer diâmetro mínimo aproveitável, será sempre menos lucrativo que se for adotado o padrão da empresa.

Tabela 7. Prejuízo (R\$/ha) por não cortar na idade ótima de corte (rotação econômica), para toras com 2,8m de comprimento e diâmetro mínimo aproveitável do fuste de 8cm.

Table 7. Economic loss (R\$/ha) if harvest is done before or after the optimal economic rotation, considering logs of 2.8 m in length and minimum diameter of 8 cm

Esp (m)	Sítio (m)	Idade (anos)	Prejuízo econômico (R\$/ha)			
			3%	6%	9%	12%
3x2	I	3	0,00	0,00	0,00	0,00
		4	2404,51	1386,63	1038,44	857,97
		5	6017,81	3300,15	2376,98	1903,07
		6	9267,62	4997,22	3547,87	2804,84
	II	3	5281,45	2375,45	1443,21	983,12
		4	83,99	0,00	0,00	0,00
		5	0,00	100,75	154,04	174,77
		6	1212,93	808,64	684,90	611,01

Continua...
To be continued...

Tabela 7. continuação...**Table 7.** Continued...

Esp (m)	Sítio (m)	Idade (anos)	Prejuízo econômico (R\$/ha)			
			3%	6%	9%	12%
3x2	III	3	12514,66	5677,33	3429,13	2366,23
		4	4412,52	1817,70	977,60	614,39
		5	1797,82	652,68	289,11	159,37
		6	393,35	91,44	0,00	0,00
		7	0,00	0,00	0,35	40,05
		8	385,90	263,15	214,31	223,70
		IV	3	17519,60	8144,00	5066,73
	4		7470,02	3291,30	1941,76	1301,42
	5		2993,47	1201,90	642,11	392,37
	6		1123,18	390,62	176,68	94,80
	7		229,06	40,01	0,00	0,00
	8		0,00	0,00	15,67	38,44
	9		104,58	109,97	120,12	135,13
	3x3	I	3	0,00	0,00	0,00
4			3073,47	1672,96	1199,26	957,50
5			6470,62	3446,33	2425,07	1905,06
6			9491,48	5000,52	3484,17	2712,26
II		3	3224,59	1452,28	867,58	579,59
		4	0,00	0,00	0,00	0,00
		5	271,29	233,56	215,21	201,91
		6	1237,96	790,28	628,97	539,76
III		3	8532,54	3909,53	2392,80	1674,98
		4	2873,32	1222,16	691,54	463,53
		5	306,86	66,26	0,00	0,00
		6	0,00	0,00	7,93	40,78
		7	44,66	86,65	102,76	135,61
		8	385,56	304,65	274,03	279,56
IV		3	13988,57	6503,13	4043,88	2845,09
		4	6369,01	2823,37	1674,03	1127,78
		5	2244,66	893,13	470,03	283,19
		6	867,25	301,16	134,25	71,53
	7	183,11	33,62	0,00	0,00	
	8	0,00	0,00	10,55	28,70	
	9	72,01	81,03	88,93	101,89	

* As idades em que o prejuízo é zero correspondem às idades ótimas econômicas de corte

Tabela 8. Lucratividade (VPL_{∞}) obtida na idade ótima de corte, para diversos comprimentos de tora e diâmetros mínimos aproveitáveis do fuste, e prejuízos decorrentes do seccionamento do fuste em toras com 2,8 metros de comprimento até um diâmetro mínimo de 8 cm, para o sítio I e taxa de desconto de 6% a.a.

Table 8. Economic profit in the optimal economic rotation, for several log length and minimum diameter and economic loss caused by cutting logs at 2.8 m in length and minimum diameter of 8 cm, for site index I and discount rate of 6% per annum.

Esp (m)	Tora (m)	VPL _∞ (R\$/ha)/diâmetro mínimo (cm)				Prejuízo econômico (R\$/ha)/diâm.mín(cm)			
		4	6	8	10	4	6	8	10
3x2	2,5	12426,07	11098,95	7882,03	3805,14	4268,00	2940,88	-276,04	-4352,93
	2,8	12192,50	11003,40	8158,07	4013,12	4034,43	2845,33	0,00	-4144,95
	4,0	11428,08	10430,09	6692,94	1710,65	3270,01	2272,02	-1465,13	-6447,42
	6,0	9230,38	9102,98	4781,89	1162,08	1072,31	944,91	-3376,18	-6995,99
3x3	2,5	8293,78	7571,83	5650,17	3452,47	2240,17	1518,22	-403,44	-2601,14
	2,8	8134,53	7688,62	6053,62	2316,46	2080,91	1635,00	0,00	-3737,15
	4,0	7444,43	7072,84	5193,65	1859,94	1390,82	1019,22	-859,97	-4193,68
	6,0	5586,47	5533,39	4110,72	1282,38	-467,14	-520,23	-1942,89	-4771,24

4 CONCLUSÕES

As principais conclusões deste estudo foram:

Variações proporcionais no diâmetro mínimo aproveitável do fuste e/ou no comprimento das toras em que o fuste é seccionado implicaram em variações diretamente proporcionais na idade ótima de corte dos plantios;

Aumentos em fatores como taxa de desconto e nível de produtividade causaram redução na idade ótima de corte dos plantios;

No espaçamento 3x2 m, a idade ótima de corte ocorre mais cedo do que no espaçamento 3x3 m;

A idade ótima de corte dos plantios em sítios de alta produtividade (sítio I) é muito precoce (3 anos), podendo levar à obtenção de

madeira de baixa qualidade para a produção de celulose;

Há grandes prejuízos econômicos quando os plantios são cortados em idades diferentes da idade ótima, principalmente se eles estiverem em sítios mais produtivos;

Os prejuízos por cortar os plantios em idades anteriores à idade ótima tendem a ser maiores que aqueles incorridos quando o corte é feito após a idade ótima;

Aproveitando-se mais o fuste via redução do diâmetro mínimo e/ou do comprimento das toras em que este é seccionado conseguem-se aumentos significativos na lucratividade dos plantios;

Os plantios de espaçamento 3x2 m foram mais lucrativos do que os de espaçamento 3x3 m, sugerindo que a empresa deve considerar a possibilidade de adotar apenas o espaçamento mais reduzido em seus futuros plantios;

O VPL_∞ negativo para os plantios nos sítios III e IV expressa um manejo inadequado para estes casos;

A empresa deve considerar a possibilidade de reduzir o diâmetro mínimo aproveitável do fuste, assim como o comprimento das toras em que este é seccionado. Contudo, antes de qualquer tomada de decisão, é necessário realizar novos estudos para detectar possíveis restrições técnicas associadas a tais mudanças, bem como avaliar o impacto dessas mudanças sobre os custos de colheita e transporte de madeira.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENTLEY, W.; TEENGUARDEN, D. Financial maturity: a theory review. **Forest Science**, Washington, v. 11, n. 3, p. 76-87, Mar. 1965.
- DAVIS, K.P. **Forest management: regulation and valuation**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1966. 519 p.
- HOFFMAN, R.; BERGER, R. Determinação da idade ótima de corte de povoamentos de eucaliptos. IPEF, Piracicaba, v. 7, p. 49-69, jul./dez. 1973.
- JOHNSTON, D. R.; GRAYSON, A. J.; BRADLEY, R. J. **Planejamento florestal**. Lisboa: Fundação Calouste Goubenkian, 1977. 798 p.
- LIMA JÚNIOR, V. B.; REZENDE, J. L. P.; SILVA, M. L. Os estágios de produção e a idade ótima de corte: diferença entre a teoria da produção instantânea e a preferência temporal na produção florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 393-401, out./dez. 1999.
- LOPES, H. V. S. **Análise econômica dos fatores que afetam a rotação de povoamentos de eucaliptos**. 1990. 188 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MCKILLOP, W. Land value, logging costs, and financial maturity. **The Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 47, n. 4, p. 210-214, July/Aug. 1971
- NAUTIYAL, J. C. **Forest economics: principles and applications**. Toronto: Canadian Scholars' Press, 1988. 581 p.
- PEARSE, P. H. The optimum forest rotation. **The Forestry chronicle**, Ottawa, v. 43, n. 2, p. 178-195, Mar./Apr. 1967.
- REZENDE, J. L. P.; MINETTE, L. J.; TORQUATO, M. C. Determinação da idade ótima de corte para *Eucalyptus spp.*, para as regiões litorâneas, metalúrgicas e do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 78-89, jan./jun. 1987.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: Editora UFV, 2001. 389 p.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Problemas com o horizonte de planejamento na avaliação de projetos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 127-134, abr./jun. 2000.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Relações entre a idade de corte e o horizonte de planejamento, em povoamentos de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 95-107, 1994.
- RODRIGUEZ, L. C. E.; BUENO, A. R. S.; RODRIGUES, F. Rotações de eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.51, p.15-28, jun.1997.
- SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 438 p.
- SCOLFORO, J. R. S. **O sistema SPP Eucalyptus**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 99 p.

SCOLFORO, J. R. S.; HOSOKAWA, R. T. Avaliação da rotação econômica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sujeito a desbastes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 33-44, jan./abr. 1992.

SILVA, M. L.; MACHADO, C. C.; LADEIRA, H. P. Influência do custo de corte, do diâmetro da árvore e do volume por hectare na rotação econômica de povoamentos de eucalipto. **Revista**

Árvore, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 501-516, out./dez. 1995.

SMITH, E. B. S. **Determinação da rotação econômica para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex. Maiden), destinada a produção de carvão vegetal.** 1989. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.