

utilizando-se do equipamento, obtendo um rendimento médio de 3,6 hs/ha. O volume médio de tocos nessas áreas variou de 14 a 23 m<sup>3</sup>/ha.

Através dos dados obtidos nessas áreas, foi montado junto com o fabricante do implemento, uma tabela de rendimentos teóricos, que tem o volume de cada cepa relacionado com o n.º de cepas por hectare.

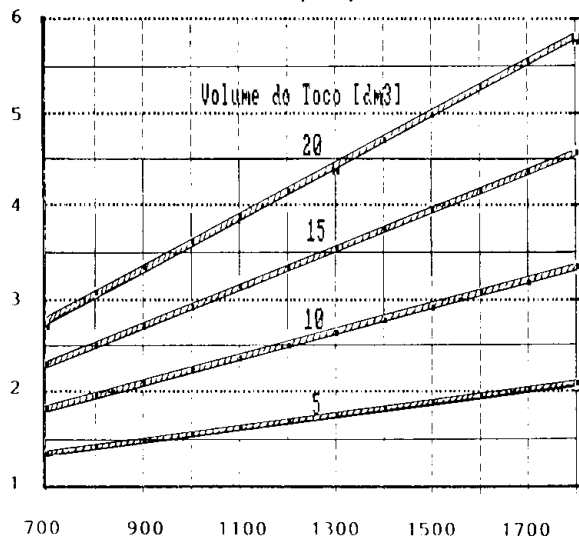


Gráfico 1: Capacidade de campo teórico em função do volume de cada cepa (dm<sup>3</sup>) e número destas por hectare.

### 3.3 — Comparativo de Custos

Embora dados de custos possam ser obtidos através de diferentes critérios, serão demonstrados alguns valores particulares para as condições da Empresa, com finalidade ilustrativa.

Para realização da atividade utilizando-se operador e motosserra, a Empresa gastava aproximadamente 4,4 diárias/ha que resultava em um custo em torno de US\$ 200/hectare. O custo de descoivara dos tocos rebaixados não estão sendo considerados neste valor.

Com a utilização do rebaixador, em áreas com as mesmas condições de volume a ser rebaixado ( $\pm 1100$  cepas/ha e  $\pm 20$  m<sup>3</sup>/ha), o rendimento médio foi de 4,0 hs/hectare, originando um custo de aproximadamente US\$ 108 hectare.

Além da redução de aproximadamente 50% dos custos, não existe hoje a operação de descoivara dos tocos remanescentes, que são pulverizados e retornam em forma de matéria orgânica para o solo.

## 4 — COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

A utilização do rebaixamento mecanizado na empresa se tornou hoje uma realidade, basicamente devido aos problemas existentes com o sistema anterior, associado a uma necessidade emergente de mecanização e redução de custos nesta operação.

A opção pelo desenvolvimento deste princípio de equipamento se deu pela boa confiabilidade mecânica por ele demonstrada, e rendimentos que proporcionam ganhos de custos de até aproximadamente 50%. Além

disto, o sistema fornece um retorno de matéria orgânica ao solo da ordem de 15 à 20 m<sup>3</sup>/ha.

Como benefício indireto também não ponderado nestes custos, deve-se citar os ganhos de rendimento em operações subseqüentes, como o realinhamento de plantios com grade Bedding, pois o rebaixamento fica bem rente o solo, diferente do sistema anterior onde o "corpo" da motosserra obrigava uma altura mínima de  $\pm 5$  cm nas cepas, originando quebras e perdas de rendimento na gradagem.

## 5 — CITAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

MORO, L.; COLLI JR, G.; COMINATO JR. & CANEVA, R.A. Rebaixamento de tocos de eucalipto. Circular Técnica IPEF, 165: 1-3 1988.

VIEIRA, S.B. & DA SILVA, E.F. Teste de máquina LEVCO 540 na Eliminação de tocos de eucaliptos, IN: 4.º Congresso Florestal Brasileiro — Anais — Silvicultura/SBS (VIII): 608, 1982.

## PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO SUSTENTADA DE MATÉRIA-PRIMA FLORESTAL PARA EMPRESAS VERTICALIZADAS\*

Leonel Freitas Menezes  
Paulo Renato Schneider  
Jorge Euclides Klein

Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Produção - UFSM - Santa Maria - RS - Brasil,  
Departamento de Ciências Florestais - UFSM, Santa Maria - RS - Brasil  
Departamento de Planejamento e Controle  
Riocell S/A - Guaíba - RS - Brasil

### RESUMO

O presente trabalho consta de uma aplicação de programação linear no planejamento da produção florestal para empresas verticalizadas, que utilizam como matéria-prima espécies do gênero *Eucalyptus*.

Foram formulados três modelos de planejamento objetivando a maximização do valor presente líquido da floresta e outros três buscando a minimização dos custos. Ainda foi avaliada a influência da variação da taxa de juro na política de planejamento da produção.

A inclusão do corte sustentado, como restrição de volume mínimo a ser produzido anualmente, tanto na função de maximização como na de minimização, homogeneizou o fluxo de produção de matéria-prima ao longo do período de planejamento, justificando as afirmações seculares da necessidade de manejar as florestas com base neste princípio.

\* Trabalho apresentado no 6.º Congresso Florestal Brasileiro, realizado em Campos do Jordão — São Paulo — Brasil, de 22 a 27 de setembro de 1990.

O aumento da taxa mínima atrativa provoca uma antecipação dos cortes, apesar de não alterar significativamente o volume produzido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Programação linear, produção, taxa de juros, *Eucalyptus* sp.

## SUMMARY

The present paper is an application of linear programming in forest yield planning for vertically industry, where *Eucalyptus* is used as crude matter.

In this work, are formulated three objective planning models to maximize forest present net worth and other three models are used to minimize costs. Also, verified the effect of variation interest rate in the political planning yield.

The inclusion of sustained-cut, considered as a restriction in annual volume minimum production in the maximization function as well as in the minimization function, show a regulated wood flow throughout planning period, justify anterior affirmations with the necessity of forest management based on sustained-cut principle.

An increment on interest rate provoke an anticipation in cutting, with a small change in total production volume.

**KEY WORDS:** Linear programming, yield, interest rate, *Eucalyptus* sp.

## 1 — INTRODUÇÃO

O elevado tempo para o retorno do capital de um investimento florestal, aliado ao custo crescente do dinheiro, faz com que o planejamento da produção deva ser realizado criteriosamente. As formas de análise e decisão, atualmente em uso, não fornecem respostas a muitas indagações dos planejadores. Elas analisam um projeto e permitem a comparação entre alguns, não apresentando, porém, a estratégia econômica, técnica e operacionalmente aconselhada para o conjunto dos projetos.

Neste contexto, o planejador deve lançar mão de todas as técnicas disponíveis para melhor planejar a produção florestal para determinado fim. Neste aspecto é que modelos de programação matemática podem ser usados para assistir os planejadores no desenvolvimento de políticas ótimas de corte das florestas.

Na formulação destes modelos busca-se otimizar um objetivo específico, considerando-se as restrições impostas ao problema. Neste sentido, o objetivo a ser otimizado pode ser a maximização do resultado econômico do conjunto de projetos restrito a limitações de mão-de-obra, máquinas, caixa, limites mínimos e máximos de produção decorrente de uma vinculação com o suprimento industrial.

Esses modelos ajustam-se muito bem a empresas que trabalham com produção e consumo, num processo contínuo, como é o caso de indústrias de celulose e papel.

O uso destas técnicas pressupõe a utilização de computadores e "softwares" específicos, constituindo-se em meios rápidos e eficientes de auxílio ao planejador na tomada de decisão.

No presente trabalho pretendeu-se atingir os seguintes objetivos gerais e específicos:

### 1.1 — Objetivo Geral

Construir, através de técnicas de programação matemática, um modelo de planejamento da produção florestal a longo prazo, para florestas de *Eucalyptus* sp., com finalidades de abastecimento industrial.

### 1.2 — Objetivos

a) determinar classes de manejo para as florestas e políticas economicamente ótimas a serem empregadas em cada classe;

b) analisar a variação sofrida na política de planejamento da produção, considerando alguns fatores de risco, como a variação da taxa de juros;

c) estudar a influência da taxa de corte sustentada, aplicada a florestas de abastecimento industrial;

d) simular a variação da demanda industrial e analisar sua influência no planejamento da produção.

## 2 — REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O planejamento geralmente é definido na prática como o processo de trabalho para alcançar um ou vários objetivos. No caso de planejamento florestal deve-se ter bem claro os objetivos, uma vez que o suprimento contínuo de madeira somente será conseguido se for efetuado um controle da exploração e do manejo da floresta (FAO/SWE/TF, 1984).

BARROS & WEINTRAUB (1982) ao descreverem um modelo de planejamento para indústrias verticalizadas, mostraram a necessidade das áreas de produção de madeira serem divididas em classes ou áreas com propriedades uniformes. Os autores apresentam, entre outras, como características para definir estas classes a espécie, idade e condições do terreno.

DOLEZAL (1978), para estratificação da floresta com fins de planejamento, sugere um método baseado em conhecimentos científicos da floresta. Para isto, utiliza-se dados geográficos e classificação ecológica das florestas, que servem para estratificar os tipos florestais. Esta classificação é necessária para planejar e controlar as unidades de manejo, definir quantidades a serem estimadas e elaborar as instruções necessárias ao manejo da floresta.

KILKKI (1986) diz que o emprego de métodos de programação matemática tem tornado possível a avaliação de diversas variáveis de decisão ao mesmo tempo. Para isto, na formulação usual do modelo de programação linear, no problema de otimização da produção de madeira, uma variável de entrada ou saída, tem sido

tomada como valor da função objetivo e outras variáveis relevantes tem sido empregadas com restrições.

KIRBY (1978) referindo-se à aplicação de programação matemática em problemas de grande escala na área florestal, apresenta cinco passos a serem seguidos quando da aplicação da programação linear (PL): 1) determinar se o problema pode ou não ser resolvido; 2) se tiver solução, dar uma solução ótima; 3) deduzir restrições de rendimento monetário, mão-de-obra disponível, tipos de atividades, etc. . . ; 4) maximizar um rendimento para uma dada receita ou prever um nível de produção especificado para um custo mínimo; 5) prever uma receita, a qual inclua todos os custos dos vários projetos.

LOUCKS (1964) cita a pesquisa operacional ou análise de sistemas como métodos práticos adicionais, os quais o administrador pode empregar para determinar políticas de corte. Estes métodos fornecem ao administrador florestal soluções de onde, quando e como ordenar os cortes para maximizar os objetivos dos proprietários e considerar satisfatoriamente as restrições especificadas.

O mesmo autor apresenta dois modelos de planejamento dos cortes, um maximizando o volume a ser retirado e outro a área explorada, e considerada entre as restrições, o incremento ou decréscimo da floresta, para garantir um rendimento constante da mesma. Neste caso, a produção no período  $j$  de todos os estratos deve ser igual ou superior à produção no período  $j + 1$ , de forma a atender as restrições de área e volume impostas.

JOHNSON & SCHEURMAN (1977) apresentam dois modelos de otimização que parecem ser a base das técnicas comumente usadas para otimização de cortes e investimentos. No modelo I cada classe de idade que possui área no primeiro período forma uma unidade de manejo, sendo mantida integralmente ao longo do horizonte de planejamento. Já o modelo II, parcelas individuais da área não são mantidas intactas ao longo do tempo.

KIDD (1969) estudando regulação de florestas de "loblolly pine", na Virgínia (EUA), avaliou a influência da taxa mínima atrativa sobre o volume retirado ao longo do planejamento, tratamentos silviculturais empregados e a grandeza da rotação. Este trabalho considerou as taxas de 3, 6 e 10% ao ano.

Os principais resultados encontrados pelo autor, foi a constatação da redução da produção total à medida que aumentou a taxa mínima atrativa. Os tratamentos silviculturais também variaram, e em alguns casos mesmo quando mantidos a área designada a cada um foi diferente. Quanto à grandeza da rotação de uma forma geral tendeu a aumentar juntamente com a taxa mínima atrativa.

Alguns trabalhos específicos em estruturação e planejamento da produção para empresas verticalizadas que utilizam como matéria-prima espécies do gênero *Eucalyptus*, podem ser encontrados em SCHNEIDER et al. (1987), RODRIGUES & MOREIRA (1989) e NETO (1984).

### 3 — MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 — Origem dos Dados

Os dados para elaboração e teste dos modelos de planejamento foram fornecidos pela RIOCELL S.A., empresa de celulose e papel, localizada no município de Guaíba-RS.

#### 3.2 — Estruturação da Produção

Os dados de produção, bem como de crescimento das espécies de *Eucalyptus* envolvidas no estudo, tiveram como base o trabalho desenvolvido por SCHNEIDER et al. (1988).

Neste trabalho, a produção encontra-se estruturada por espécie de índice de sítio, o que forneceu as classes de manejo da floresta, ou seja, as unidades de produção com características semelhantes que permitem um mesmo tratamento silvicultural. Estas classes de manejo foram constituídas, como pode ser observado no Quadro 1.

Para fins de prognose de produção de cada classe de manejo, foi utilizado o índice de sítio médio da classe de manejo.

Através de um estudo mais detalhado do comportamento das curvas de índice de sítio em primeira e segunda rotação, notou-se que as mesmas não se equivalem, sendo as de *Eucalyptus grandis* em primeira rotação 12,14% maior que em segunda e de *Eucalyptus saligna* também 11,42% a mais. Este fato determinou uma correção nas curvas de índice de sítio da segunda rotação, com o objetivo de obter a produção corrigida.

QUADRO 1  
ESTRUTURA DAS CLASSES DE MANEJO

Espécie*	Rotação	Classe de Manejo	Sítios Pertencentes
EGR	1	I	18 — 20 — 22
	1	II	24 — 26 — 28
	2	III	30 — 32 — 34 — 36
EGR	2	I	16 — 18 — 20 — 22
	2	II	24 — 26 — 28
	2	III	30 — 32 — 34
ESA	1	I	18 — 20 — 22
	1	II	24 — 26 — 28
	1	III	30 — 32 — 34 — 36
ESA	2	I	16 — 18 — 20 — 22
	2	II	24 — 26 — 28
	2	III	30 — 32 — 34

\* EGR — *Eucalyptus grandis*.

ESA — *Eucalyptus saligna*.

No Quadro 2 encontram-se as produções por rotação, classe de manejo e idade das espécies de *Eucalyptus grandis* (EGR) e *Eucalyptus saligna* (ESA), obtidas em SCHNEIDER et al. (1988).

QUADRO 2  
PRODUÇÕES POR ESPÉCIE, ROTAÇÃO E CLASSE DE MANEJO

Espécie	Rotação	Cl. Manejo	Idade (Anos)				
			5	6	7	8	9
ESA	1. <sup>a</sup>	I	152.78	210.65	276.75	353.12	442.44
ESA	1. <sup>a</sup>	II	120.16	163.67	212.35	267.70	331.50
ESA	1. <sup>a</sup>	III	101.12	131.89	163.36	195.54	228.84
ESA	2. <sup>a</sup>	I	158.38	204.66	247.64	287.28	324.42
ESA	2. <sup>a</sup>	II	123.53	158.04	189.75	228.51	245.45
ESA	2. <sup>a</sup>	III	91.87	116.62	139.11	159.59	178.22
EGR	1. <sup>a</sup>	I	191.84	252.03	311.35	369.31	426.32
EGR	1. <sup>a</sup>	II	143.88	184.59	223.49	260.68	296.99
EGR	1. <sup>a</sup>	III	104.46	131.37	156.54	180.25	203.08
EGR	2. <sup>a</sup>	I	154.59	193.08	233.78	277.03	322.74
EGR	2. <sup>a</sup>	II	116.74	143.59	171.07	199.64	229.37
EGR	2. <sup>a</sup>	III	84.73	103.07	121.32	139.85	158.79

### 3.3 — Estratificação da Floresta

Visando a formulação do modelo de programação linear a floresta foi dividida em estratos. Entende-se por estrato um conjunto de secções florestais de mesma espécie, rotação, idade e classe de manejo. O Horto Florestal Terra Dura foi dividido em 14 estratos, conforme Quadro 3.

Outra distribuição importante, visando principalmente a determinação da produção sustentada, é a composição da floresta por classe de idade, onde na classe de idade 1 foram incluídas as secções que possuíam de zero a 0,99 anos, no momento da análise, e assim nas demais classes. Essa classificação é apresentada no Quadro 4.

QUADRO 3  
DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS POR ESTRATO

Estrato	Espécie	Rotação	Cl. Manejo	Cl. Idade	Área (ha)
1	ESA	1. <sup>a</sup>	II	4	151.70
2	ESA	1. <sup>a</sup>	III	4	10.40
3	ESA	1. <sup>a</sup>	II	5	55.30
4	ESA	1. <sup>a</sup>	II	6	25.90
5	EGR	1. <sup>a</sup>	I	6	26.60
6	EGR	1. <sup>a</sup>	II	6	54.50
7	ESA	2. <sup>a</sup> ou 3. <sup>a</sup>	II	5	47.90
8	ESA	2. <sup>a</sup> ou 3. <sup>a</sup>	II	6	30.00
9	ALBA	2. <sup>a</sup>	III	7	15.00
10	ESA	3. <sup>a</sup>	II	1	284.60
11	ESA	3. <sup>a</sup>	II	2	49.60
12	EGR	1. <sup>a</sup>	II	1	30.50
13	ESA	2. <sup>a</sup>	II	4	6.10
14	ESA	1. <sup>a</sup>	II	6	31.80

QUADRO 4  
DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA POR CLASSE DE IDADE

Classe de Idade	Área (ha)
1	315.10
2	59.60
3	0.00
4	168.20
5	103.20
6	168.80
7	15.00

O inventário florestal das secções, realizado pela empresa, forneceu a situação atual do povoamento, o que juntamente com as prognoses de produção e os fatores de extrapolação, possibilitou a confecção da tabela de produção, apresentada no Quadro 5.

QUADRO 5  
PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA (M<sup>3</sup>SC/HA) ATUAL DO POVOAMENTO, EM PRIMEIRA E SEGUNDA ROTAÇÕES

Estrato	Produtividade Atual (anos)					
	4	5	6	7	8	9
1	57,30	82,50	107,70	131,80	154,10	157,30
2	42,70	62,69	80,30	98,20	114,90	130,70
3		66,60	86,80	105,90	124,50	141,20
4			161,42	196,42	230,20	262,42
5			213,51	256,20	288,20	316,00
6			180,00	219,60	253,70	280,70
7		120,70	156,91	191,91	225,71	255,88
8			199,60	317,64	373,25	423,25
9				92,70	109,40	127,00
10		120,16	163,67	212,35	267,70	331,50
11		120,16	163,67	212,35	267,70	331,50
12		143,88	184,59	223,49	260,68	296,99
13		123,53	158,04	189,75	228,51	245,45
14			180,00	219,60	253,70	280,70

QUADRO 5 (Continuação)

Estrato	Primeira Rotação (Anos)					Segunda Rotação (Anos)				
	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
1	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
2	101,1	131,9	163,4	195,5	222,8	91,9	116,6	139,1	159,6	178,2
3	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
4	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
5	191,8	252,0	311,4	268,3	426,3	154,6	193,1	233,8	277,0	322,7
6	143,9	184,6	223,5	260,7	297,0	116,7	143,6	171,1	199,6	229,4
7	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
8	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
9	101,1	131,9	163,4	195,5	228,8	91,9	116,2	139,1	159,6	178,2
10	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
11	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
12	143,9	184,6	223,5	260,7	297,0	116,7	143,6	171,1	199,6	229,4
13	120,2	163,7	212,4	267,7	331,5	123,6	158,0	189,8	228,5	245,4
14	143,9	184,6	223,5	260,7	297,0	116,7	143,6	171,1	199,6	229,4

### 3.4 — Alternativas Silviculturais para o Manejo de Florestas

As florestas de *Eucalyptus* sp., em geral, são manejadas tipicamente em ciclo de duas ou três rotações. Quando finda a primeira rotação o administrador florestal depara-se com duas alternativas silviculturais de

decisão: a reforma do povoamento e a condução da brotação. Para solucionar este problema a empresa dispõe de uma metodologia para decisão entre reforma e condução da brotação, que para os 14 estratos do caso em estudo resultou nas seguintes alternativas, conforme Quadro 06.

QUADRO 6

ALTERNATIVAS DE MANEJO POR ESTRATO

Estrato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Alternat.	CR	CR	CR	CC	CC	CC	CR	CC	CR	CC	CC	CC	CC	CR

Onde: CR = corte e reforma do povoamento  
CC = corte e condução da brotação

Para a modelagem do problema, ainda, foi necessário a definição da próxima alternativa silvicultural a ser empregada, bem como do período de tempo em que cada uma ocorrerá. Este resultado foi obtido através do cálculo do valor esperado da terra (VET).

A estas duas rotações, as alternativas silviculturais empregadas e o intervalo de tempo compreendido pelas mesmas, definiu-se como sendo Ciclo Florestal.

### 3.5 — Determinação do ciclo economicamente ótimo

#### 3.5.1 — Custos

Em cada alternativa silvicultural ocorrem custos diferenciados, bem como produções distintas. Na opção de reforma do povoamento os custos utilizados encontram-se no Quadro 07.

O custo de implantação (839,50 \$/ha) foi dissolvido em 21 anos e o montante correspondente a 7 anos equivale ao valor de 436,40 \$/ha. Na formação deste custo não estão incluídos os gastos com administração. Estes gastos fazem parte do custo de administração, que é considerado como uma prestação anual.

A taxa mínima atrativa (t) considerada foi de 8% ao ano.

QUADRO 7

TIPOS DE CUSTOS PARA REFORMA DO POVOAMENTO

Ano	Tipo de Custo	Valor (\$/ha)
0	implantação	436,40
1	manutenção	120,00
2	manutenção	120,00
3	manutenção	52,00
..	manutenção	52,00
n	manutenção	52,00

Na opção de condução da brotação foram utilizados os seguintes custos, conforme Quadro 08.

QUADRO 8

TIPOS DE CUSTO PARA CONDUÇÃO DA BROTAÇÃO DO POVOAMENTO

Ano	Tipo de Custo	Valor (\$/ha)
0	manutenção	167,31
1	manutenção	149,50
2	manutenção	60,92
3	manutenção	45,10
...	manutenção	45,10
n	manutenção	45,10

O custo de administração, para as duas alternativas silviculturais, foi de 196 \$/ha/ano. E o custo de exploração foi de 3,12 \$/metro cúbico.

O preço da madeira para este estudo foi fixado em 11,31 \$/m<sup>3</sup> sem casca.

### 3.5.2 — Cálculo do valor esperado da terra

Estes custos juntamente com as prognoses de produção em primeira e segunda rotações possibilitaram o cálculo do valor esperado da terra (VET). A fórmula do VET é a seguinte:

$$VET = \sum_{m=1}^r \frac{(R_m - C_m) (1+t)^{r-m}}{(1+t)^r - 1}$$

Onde:  $R_m$  = receita do ciclo no ano  $m$ ;  
 $C_m$  = custos do ciclo no ano  $m$ ;  
 $r$  = anos do ciclo considerado;  
 $t$  = taxa de juros;  
 $tm$  = momento de ocorrência da receita e/ou custo.

Partindo da alternativa silvicultural apresentada pelo inventário, simulou-se duas possibilidades: a repetição da alternativa dada ou a outra alternativa. Este cálculo, além de fornecer a próxima alternativa silvicultural determinou a idade ótima de corte do povoamento.

O critério de decisão utilizado, entre as duas alternativas silviculturais, foi o maior valor do VET, cujos resultados são mostrados no Quadro 09.

QUADRO 9

#### VALOR ESPERADO DA TERRA POR ESTRATO

Estrato	Alternativas	Idades	Vet (\$/ha)
1	CR x CC	8 x 8	1795,853
2	CR x CC	9 x 7	905,338
3	CR x CC	8 x 8	1795,853
4	CC x CR	8 x 8	1881,610
5	CC x CR	7 x 7	2725,758
6	CC x CR	7 x 8	1603,552
7	CR x CC	8 x 8	1795,853
8	CC x CR	8 x 8	1881,610
9	CR x CC	8 x 9	977,007
10	CC x CR	8 x 8	1881,610
11	CC x CR	8 x 8	1881,610
12	CC x CR	7 x 8	1603,552
13	CC x CR	8 x 8	1881,610
14	CR x CC	7 x 8	1603,552

### 3.6 — Cálculo do valor líquido presente (VLP)

O primeiro modelo de planejamento apresentou como objetivo a maximização da renda líquida da floresta, e para tanto torna-se necessária a determinação do valor líquido presente para cada alternativa silvicultural em seus diferentes períodos de ocorrência.

Da aplicação de diferentes regimes de manejo resultam fluxos com diferentes períodos, e para torná-los equivalentes utilizamos a metodologia apresentada por CLUTTER et al. apud LIMA (1988) que fixa os seguintes critérios:

1) se o intervalo de tempo entre o corte da última rotação do regime e o final do período de planejamento permite uma primeira rotação do ciclo economicamente ótimo, repete-se mais um ciclo do regime em questão e à receita obtida com o último corte deste ciclo, soma-se o VET do ciclo economicamente ótimo;

2) se o intervalo de tempo entre o corte da última rotação do regime e o final do período de planejamento não permite uma primeira rotação do ciclo economicamente ótimo, encerra-se o fluxo de caixa no ano de corte da última rotação do ciclo em questão e soma-se do ciclo economicamente ótimo à receita obtida com esse último corte;

3) se o último corte do regime ocorre exatamente no último ano do horizonte de planejamento, encerra-se o fluxo de caixa nesse ano e soma-se o VET do ciclo economicamente ótimo à receita obtida com esse corte.

Utilizando-se os critérios citados acima calculou-se os VLPs para todos os regimes de manejo possíveis em cada estrato.

$$VLP_{ij} = \sum_{m=1}^{r-1} \frac{(R_m - C_m)}{(1+t)^m} + \frac{(R_r - C_r) + VET_i}{(1+t)^r}$$

Os coeficientes (VLP) da função objetivo são apresentados no Quadro 10.

QUADRO 10

#### VALORES LÍQUIDOS PRESENTE DOS ESTRATOS FLORESTAIS, SEGUNDO O REGIME DE MANEJO EMPREGADO

Regime	ESTRATOS				
	1	2	3	4	5
6 x 6	2.553,56				
6 x 7	2.735,45				
6 x 8	2.920,15				
7 x 6	2.593,42		2.554,875		
7 x 7	2.757,01	1.639,145	2.731,552		
7 x 8	2.923,63	1.771,615	2.911,497		
7 x 9		1.871,089			
8 x 6	2.604,98		2.550,814	4.834,970	5.961,549
8 x 7	2.751,25	1.563,461	2.708,717	4.410,110	5.981,541
8 x 8	2.900,758	1.670,549	2.870,133	4.468,778	5.993,213
8 x 9		1.777,081			
9 x 7		1.560,713			
9 x 8		1.593,466			
9 x 9		1.635,749			

QUADRO 10 (Continuação)

Regime	ESTRATOS				
	6	7	8	9	10
6 x 6					2.587,089
6 x 7					2.617,430
6 x 8					2.674,580
7 x 6		3.546,570			2.809,481
7 x 7		3.723,247			2.832,992
7 x 8		3.903,192			2.881,036
8 x 6	4.432,389	3.631,593	6.034,331		3.036,431
8 x 7	4.442,899	3.789,227	6.059,472		3.053,542
8 x 8	4.943,170	3.950,642	6.517,407		3.064,354
8 x 9					
9 x 7				2.376,527	
9 x 8				2.368,691	
9 x 9				2.336,4416	

QUADRO 10 (Continuação)

Regime	ESTRATOS			
	11	12	13	14
6 x 6	2.854,709	2.687,016	3.153,849	
6 x 7	2.887,477	2.669,020	3.332,908	
6 x 8	2.949,199	2.702,619	3.515,177	
7 x 6	3.094,929	2.789,242	3.229,129	
7 x 7	3.120,209	2.798,060	3.390,288	
7 x 8	3.240,310	2.799,424	3.554,821	
8 x 6	3.340,000	2.829,213	3.355,912	4.431,909
8 x 7	3.358,478	2.836,365	3.500,035	4.442,899
8 x 8	3.401,602	2.836,824	3.647,708	4.443,170

Os valores contidos no Quadro 10 são os coeficientes das variáveis de decisão na função objetivo de maximização.

### 3.7 — Cálculo do custo anual

Neste cálculo desconsiderou-se todas as rendas obtidas com a floresta e transformou-se os custos ocorridos durante o período de planejamento em uma prestação anual.

A fórmula do custo anual é a seguinte:

$$C_{ij} = \left( \sum Cr / (1+t)^r \right) * (t * (1+t)^r / ((1+t)^r - 1))$$

m = 1

Onde: r = número de anos considerados no fluxo em questão.

Os valores obtidos através destes procedimentos, encontram-se no Quadro 11.

QUADRO 11

VALORES DO CUSTO ANUAL POR ESTRATO SEGUNDO REGIME DE MANEJO EMPREGADO

Regime	ESTRATOS						
	1	2	3	4	5	6	7
6 x 6	238,224						
6 x 7	234,150						
6 x 8	232,042						
7 x 6	219,399		232,995				258,303
7 x 7	217,730	195,229	228,735				257,764
7 x 8	216,723	194,106	227,252				255,323
7 x 9		192,626					
8 x 6	205,118		213,869	245,166	280,407	247,734	244,454
8 x 7	204,260	180,967	212,654	250,887	288,657	254,278	242,334
8 x 8	203,820	180,557	212,021	244,202	280,267	246,056	240,908
8 x 9		179,755					
9 x 7		169,159					
9 x 8		169,159					
9 x 9		181,402					

QUADRO 11 (Continuação)

Regime	ESTRATOS						
	8	9	10	11	12	13	14
6 x 6			188,465	197,700	193,679	253,367	
6 x 7			183,568	197,937	188,021	248,669	
6 x 8			179,881	153,531	182,933	249,032	
7 x 6			185,744	199,950	187,127	238,351	
7 x 7			181,552	194,922	182,443	235,243	
7 x 8			178,373	191,099	178,175	233,717	
8 x 6	286,422		184,300	197,643	180,592	225,343	363,194
8 x 7	297,576		180,629	193,307	176,678	223,944	254,278
8 x 8	289,507		165,818	189,974	160,431	223,099	246,056
9 x 7		197,380					
9 x 8		190,759					
9 x 9		184,412					

Os valores do Quadro 11 são os coeficientes das variáveis de decisão na função objetivo de minimização.

### 3.8 — Formulação do problema

O problema constitui-se na determinação da produção a ser obtida nos próximos 21 anos, bem como das alternativas silviculturais a empregar e seu respectivo período. A produção anual deve satisfazer determinados limites e utilizar toda a área disponível.

Restrições de manejo foram introduzidas no problema com a finalidade de reduzir o número de variáveis de decisão. Para a classe de manejo I a idade mínima de corte foi fixada em 5 anos e a máxima em 7 anos, já para a classe II variou de 6 a 8 anos e para a classe III de 7 a 9 anos.

A área total dos povoamentos é de 819,9 ha, plantada com espécie de gênero *Eucalyptus*.

Foram testados dois modelos de programação linear, sendo um com uma função objetivo de maximização do valor líquido presente da floresta e outro com uma função de minimização do custo anual.

#### 3.8.1 — Modelos de maximização

A função objetivo de maximização ficou definido por:

$$\text{MAX } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{i,p_{ij}} X_{ij}$$

onde:

$V_{i,p_{ij}}$  = valor líquido presente, por hectare do estrato florestal  $i$ , caso o regime  $j$  seja empregado.

$X_{ij}$  = número de hectares do estrato  $i$ , designados ao regime de manejo  $j$ .

$K$  = Número de regimes de manejo.

$N$  = Número de estratos.

Da aplicação dos  $K$  regimes possíveis de manejo nos  $N$  estratos resultaram 84 variáveis de decisão.

Com esta função objetivo foram analisados três conjuntos de restrições:

#### A) Primeiro conjunto de restrições

A.1) A área de cada estrato deve ser explorada integralmente.

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i \quad \text{onde: } A_i = \text{área do estrato}$$

A.2) A produção anual deve ser maior ou igual a 12000 m<sup>3</sup>, durante todo o período de planejamento.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \geq 12000 \text{ m}^3$$

onde:  $V_{ij}$  = volume/hectare ( $m=1,2, \dots, 21$ )

B) O segundo conjunto de restrições:

B.1) Restrição de área

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i$$

B.2) Restrições de volume

B.2.1) Volume mínimo

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \geq 15000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (m=1,2, \dots, 21)$$

B.2.2) Volume máximo

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \leq 50000 \text{ m}^3/\text{ano} \quad (m=1,2, \dots, 21)$$

C) Terceiro conjunto de restrições (produção sustentada).

O terceiro conjunto de restrições utilizado juntamente com a função de maximização do valor líquido presente da floresta, considerou como produção mínima a sustentabilidade da mesma.

Para cálculo do corte sustentado utilizou-se o método Austríaco, expresso por:

$$\text{TC} = \frac{\text{IMA} + (V_r - V_n)}{a}$$

onde:

TC = taxa de corte

IMA = incremento médio anual (total)

$V_n$  = volume normal

$V_r$  = volume real

$a$  = período de equilíbrio do estoque

O valor do IMA foi obtido através da ponderação do volume por hectare pela área de cada estrato.



O volume normal fixado para o presente caso, foi igual a 154.000 m<sup>3</sup>, obtido para a idade de 7 anos, que corresponde a 98,21% do volume real.

Já o período de equilíbrio (a) foi fixado em um valor equivalente a grandeza da rotação, igual a 7 anos, determinada para estas espécies e locais em SCHNEIDER et al. (1987).

A aplicação desta metodologia forneceu uma taxa de corte sustentado de 22000 m<sup>3</sup>/ano.

O conjunto de restrições, para este caso, ficou assim constituído:

C.1) Restrição de área

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i$$

C.2) Restrições de produção anual

C2.1) Volume mínimo (corte sustentado)

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \geq 22000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

(exceto no 7.º ano 15000) (m=1, 2, ..., 21)

C.2.2) Volume máximo

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K V_{ijm} X_{ij} \leq 50000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

(m=1, 2, ..., 21)

### 3.8.2 — Modelos de minimização

Com base nas mesmas produções e utilizando-se os custos citados anteriormente analisou-se as três situações (A, B e C) através de uma função objetivo de minimização do custo anual.

A função objetivo é expressa por:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{ij} X_{ij} \quad \text{onde:}$$

C<sub>ij</sub> = custo anual por hectare, do estrato florestal i, caso o regime de manejo j seja empregado.

### 3.8.3 — Variação da taxa de juro

Um dos fatores de grande importância na análise de investimento é a taxa mínima atrativa para remuneração do capital investido.

Aplicando a mesma metodologia citada anteriormente, variou-se a taxa mínima atrativa, que era de 8% ao ano, para 6% ao ano e em seguida para 12% ao ano.

Para estas simulações utilizou-se apenas a função objetivo de minimização do custo anual.

Desta forma o modelo de Programação Linear ficou com a seguinte estrutura:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{ij} X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^K X_{ij} = A_i$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K X_{ijm} V_{ij} \geq 22000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

(exceto no 7.º ano 15000) (m=1, 2, ..., 21)

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K X_{ijm} V_{ij} \leq 40000 \text{ m}^3/\text{ano}$$

(exceto no 7.º ano 50000)

## 3.9 — Algoritmo computacional

O modelo foi montado no utilitário LOTUS e em seguida acessado pelo programa MILP88 (Mixed Integer Linear Programming), que utiliza o algoritmo BRANCH AND BOUND. Este algoritmo é descrito com detalhes em HARVEY (1986) capítulo 13 e, em HILLER & LIEBERMAN (1988), capítulo 18.

## 4 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior valor esperado da terra (2.725,758 \$/ha) ocorreu no estrato 5, que é composto de *Eucalyptus grandis* em primeira rotação e classe de manejo I. A idade de culminio foi aos 7 anos. Já o menor VET (905,338 \$/ha) ocorreu no estrato 2, com *Eucalyptus saligna* em primeira rotação e classe de manejo III, na idade de 9 anos.

Estes resultados confirmam os obtidos por FINGER et al. (1988), para o comportamento da área basal e produção para *Eucalyptus grandis*, onde a rotação variou de 6 anos na classe de manejo I a mais de 10 anos na classe de manejo III.

Os resultados primais e duais fornecidos pelos diferentes modelos foram agrupados em Quadros e Figuras, para melhor interpretação. São esses resultados que passaremos a apresentar e discutir a partir de agora.

### 4.1 — Modelos de maximização

A solução matemática apresentada pelos modelos de maximização do valor líquido presente da floresta, citados em 3.8.1 —, modelos A, B e C, encontra-se no Quadro 12.

Analisando o Quadro 12, do ponto de vista silvicultural nota-se uma subdivisão dos estratos florestais, com diferentes regimes de manejo, a medida que exige-se uma maior produção volumétrica. Na composição destes regimes de manejo nota-se uma antecipação dos cortes com o aumento da exigência de produção.

A redução do valor líquido presente já era um resultado previsível, ficando em 2.834.428,697 dólares para o modelo A, 2.804.262,655 dólares para o modelo B e 2.744.205,758 dólares para o modelo C. Quando colocado em valores percentuais variou 1,06% entre os dois primeiros modelos e 3,18% entre o primeiro e o último.

A aplicação destes regimes de manejo ao longo do período de planejamento forneceu as produções anuais apresentada no Quadro 13 e ilustradas nas Figuras 01, 02 e 03, em anexo.

O coeficiente de variação dos volumes para o modelo A foi de 63,40%, para o modelo B 45,52% e para o modelo C foi de apenas 30,25%.

Comparando as três situações testadas, à que apre-

QUADRO 12  
ÁREA DOS ESTRATOS, POR REGIME DE MANEJO, SELECIONADA PELOS MODELOS DE MAXIMIZAÇÃO (A, B e C)

Estrato	Regime de Manejo		Área (ha)			Área Total
	Alternativas	Idade	MAX. A	MAX. B	MAX. C	
1	CR x CC	6 x 7	—	—	4,00	151,70
		7 x 6	—	—	38,20	
		7 x 7	—	0,86	2,87	
		8 x 7	82,87	69,80	25,61	
		8 x 8	68,83	81,67	81,01	
2	CR x CC	7 x 9	—	10,40	10,40	10,40
		8 x 9	10,40	—	10,40	
3	CR x CC	7 x 7	—	12,98	8,92	55,30
		7 x 8	55,30	—	—	
		8 x 7	—	2,12	15,37	
		8 x 8	—	40,20	31,07	
4	CC x CR	8 x 7	16,33	25,90	25,90	25,90
		8 x 8	9,57	—	—	
5	CR x CC	8 x 6	—	12,94	12,94	26,60
		8 x 7	26,60	13,66	13,66	
6	CC x CR	8 x 6	54,50	54,50	54,50	54,50
7	CR x CC	8 x 6	—	12,52	17,16	47,90
		8 x 7	—	35,38	30,74	
		8 x 8	47,90	—	—	
8	CC x CR	8 x 8	30,00	30,00	30,00	30,00
9	CC x CR	9 x 7	15,00	15,00	15,00	15,00
10	CC x CR	6 x 6	—	—	16,35	284,60
		6 x 8	—	—	44,3	
		7 x 6	—	—	1,98	
		7 x 7	—	—	16,49	
		7 x 8	24,70	97,82	85,13	
		8 x 6	18,30	—	11,48	
		8 x 7	33,49	—	15,35	
		8 x 8	208,10	186,78	186,78	
11	CC x CR	6 x 6	—	—	19,27	49,60
		7 x 8	24,37	44,12	30,33	
		8 x 8	25,23	5,47	—	
12	CC x CR	6 x 8	30,50	30,50	30,50	30,50
13	CC x CR	8 x 8	6,10	6,10	6,10	6,10
14	CR x CC	8 x 6	28,31	—	—	31,80
		8 x 7	3,49	31,80	31,80	

QUADRO 13

VOLUME PRODUZIDO ANUALMENTE  
COM AS SOLUÇÕES APRESENTADAS PELOS MODELOS  
DE MAXIMIZAÇÃO (A, B e C)

Período	Mod. Máx. A (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)	Mod. Máx. C (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)	Mod. Máx. C (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)
1	54481,380	50000,000	50000,000
2	21734,300	25310,401	22000,000
3	1200,000	15000,000	22000,000
4	12000,000	15000,000	22000,000
5	12000,000	22238,455	22000,000
6	69573,996	50000,000	32314,939
7	12000,000	15000,000	15000,000
8	12000,000	15000,000	22000,000
9	23846,526	15000,000	22000,000
10	35008,196	29280,107	22000,000
11	20057,694	25875,030	22000,000
12	16932,414	16173,615	22000,000
13	12000,000	22353,707	22365,553
14	47552,789	42680,239	22000,000
15	21594,017	29746,994	39378,553
16	25596,894	15000,000	26195,250
17	29751,502	33158,814	22000,000
18	16575,624	16669,444	22000,000
19	22280,559	29406,747	28436,962
20	12000,000	20772,875	22000,000
21	27719,280	16465,580	22000,000

sentou um menor coeficiente de variação e portanto produções anuais mais homogêneas ao longo do período de planejamento, foi a terceira opção, que considera como mínimo o corte sustentado. Isto demonstra que a inclusão deste parâmetro leva a uma regularização da produção, tão desejada em toda a empresa florestal, justificando as afirmações seculares da necessidade de manejar as florestas com base neste princípio.

O volume total produzido durante o planejamento não variou significativamente, servindo como mais uma justificativa para aplicação de rendimento sustentado, uma vez que a regularização dos cortes traz benefícios do ponto de vista operacional.

#### 4.2 — Modelos de minimização

Utilizando os valores Cij apresentados no Quadro 11 como coeficientes das variáveis de decisão na função objetivo de minimização e os três conjuntos de restrições citados em 3.8.1 — obteve-se as soluções apresentadas no Quadro 14.

Os regimes de manejo selecionados, para cada modelo de otimização pouco diferem dos apresentados pelos modelos de maximização.

QUADRO 14

ÁREA DOS ESTRATOS, POR REGIME DE MANEJO, SELECIONADA PELOS MODELOS DE MAXIMIZAÇÃO (A, B e C)

Estrato	Regime de Manejo		Área (ha)			Área Total
	Alternativas	Idade	MÍN. A	MÍN. B	MÍN. C	
1	CR x CC	6 x 7	—	—	6,20	151,70
		7 x 6	—	—	29,17	
		7 x 8	—	—	1,15	
		8 x 7	22,18	22,18	45,90	
		8 x 8	129,53	108,50	69,26	
2	CR x CC	9 x 8	10,40	10,40	10,40	10,40
3	CR x CC	8 x 6	—	55,30	55,30	55,30
		8 x 8	55,30	55,30	—	
4	CC x CR	8 x 6	25,90	25,90	4,28	25,90
		8 x 7	—	—	5,59	
		8 x 8	—	—	16,03	
5	CR x CC	8 x 6	26,60	26,60	26,60	26,60
6	CC x CR	8 x 6	7,63	7,07	—	54,50
		8 x 8	46,90	47,43	54,50	
7	CR x CC	8 x 6	18,00	36,34	29,60	47,90
		8 x 7	29,90	11,56	—	
		8 x 8	—	—	18,30	
8	CC x CR	8 x 6	30,00	30,00	7,93	30,00
		8 x 8	—	—	22,07	
9	CC x CR	9 x 9	15,00	15,00	15,00	15,00
10	CC x CR	6 x 6	—	—	24,90	284,60
		6 x 7	—	—	18,20	
		6 x 8	0,66	33,92	75,60	
		7 x 7	—	—	7,32	
		7 x 8	56,51	93,61	96,28	
11	CC x CR	8 x 8	227,43	157,07	62,40	49,60
		6 x 6	—	—	43,90	
		7 x 8	49,60	38,90	5,66	
12	CC x CR	8 x 8	—	11,50	—	30,50
		9 x 8	30,50	30,50	30,50	
13	CC x CR	6 x 7	—	—	4,47	6,10
		7 x 8	—	—	1,62	
		8 x 8	6,10	6,10	—	
14	CR x CR	8 x 8	31,80	31,80	31,80	31,80

QUADRO 15

VOLUME PRODUZIDO ANUALMENTE COM AS SOLUÇÕES APRESENTADAS PELOS MODELOS DE MAXIMIZAÇÃO (A, B e C)

Período	Mod. Mín. A (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)	Mod. Mín. B (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)	Mod. Mín. C (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)
1	48625,110	48625,110	50000,000
2	17696,359	17696,359	22000,000
3	24770,881	24770,881	24942,338
4	12000,000	15000,000	22000,000
5	12000,000	22958,531	22000,000
6	68833,430	50000,000	24612,555
7	15081,464	15000,000	15000,000
8	12000,000	15000,000	22000,000
9	15705,338	15817,46	22000,000
10	15383,057	15000,000	22000,000
11	36305,968	30604,192	22000,000
12	13518,693	18488,129	22000,000
13	12913,209	21389,727	22000,000
14	58060,300	41983,994	22000,000
15	26778,425	26632,496	40031,861
16	16753,202	20940,923	24970,990
17	20507,251	20653,113	22000,000
18	12000,000	18117,781	17044,917
19	44926,318	37619,817	22000,000
20	12000,000	19877,067	22710,713
21	12000,000	15000,000	22000,000

QUADRO 17

VOLUME PRODUZIDO ANUALMENTE COM AS SOLUÇÕES APRESENTADAS PELO MODELO DE MINIMIZAÇÃO VARIANDO A TAXA DE JUROS DE 6, 8, E 12%

Período	Mod. Mín. 6% (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)	Mod. Mín. 8% (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)	Mod. Mín. 12% (Vol. m <sup>3</sup> /Ano)
1	50000,000	50000,000	49810,675
2	22000,000	22000,000	22000,000
3	24573,116	24942,336	25203,206
4	22000,000	22000,000	22000,000
5	22000,000	22000,000	22000,000
6	25459,324	24612,562	24542,929
7	15000,000	15000,000	15000,000
8	22000,000	22000,000	22000,000
9	22000,000	22000,000	22000,000
10	22000,000	22000,000	22000,000
11	22000,000	22000,000	22000,000
12	22000,000	22000,000	22000,000
13	22000,000	22000,000	22000,000
14	22000,000	22000,000	22000,000
15	40000,000	40000,000	34288,324
16	26165,890	25009,353	34473,087
17	22000,000	22031,871	22000,000
18	26275,169	27006,547	23288,058
19	22000,000	22000,000	22000,000
20	22000,000	22710,706	22781,737
21	22000,000	25000,000	22000,000

O custo total foi de 166.189,795 dólares para o modelo A, 167.182,177 dólares para o B e 170.035,279 dólares para o modelo C. Isto quando comparado relativamente mostra uma diferença de 0,59% entre os dois primeiros modelos e 2,26% entre o primeiro e o último.

A aplicação destes tratamentos silviculturais nas idades recomendadas por estas soluções resultaram nas produções anuais expostas no Quadro 15, e ilustradas nas Figuras 04, 05 e 06, em anexo.

O coeficiente de variação de volume calculado para o modelo A foi de 70,40%, já para o B ficou em 45,58% e para o modelo C em apenas 29,82%. Isto mostra novamente que a inclusão do corte sustentado da floresta leva a uma homogeneização da produção.

### 4.3 — Variação da taxa de juro

Utilizando os valores Cij calculados a taxa de 6, 8 e 12%, e o conjunto de restrições apresentados em

3.8.3 —, obteve-se três modelos de planeamento, cujos resultados são mostrados no Quadro 16.

Ao visualizarmos este quadro notamos que, via de regra, o número de regimes selecionados não variou, mas apenas as idades de corte, com pequena tendência a antecipação dos cortes.

Este resultado fica mais evidenciado quando calculada a rotação média ponderada para a taxa de 6% que ficou em 7,44 anos e para 12% em 7,10 anos.

A aplicação da solução matemática apresentada acima resultou nas produções anuais mostradas no Quadro 17 e ilustradas nas Figuras 07, 08 e 09, em anexo.

Este quadro nos mostra que a variação da taxa de juro não afeta a produtividade total da floresta, ficando em torno de 515.300,000 m<sup>3</sup> para os três modelos, resultado que em parte difere do apresentado por KIDD (1969), que obteve uma diminuição da produção quando aumentou a taxa de juro de 3 para 10% ao ano.

QUADRO 16  
ÁREA DOS ESTRATOS, POR REGIME DE MANEJO. SELECIONADA PELO MODELO DE MINIMIZAÇÃO  
COM TAXA DE JURO DE 6 A 12%

Estrato	Regime de Manejo		Área (ha)			Área Total
	Alternativas	Idade	6%	8%	12%	
1	CR x CC	6 x 7	—	6,20	11,80	151,70
		7 x 6	31,63	29,00	—	
		7 x 7	—	—	8,45	
		7 x 8	4,69	1,31	15,42	
		8 x 6	17,82	—	2,80	
		8 x 7	30,57	45,93	39,50	
		8 x 8	66,99	69,26	74,52	
2	CR x CC	9 x 7	1,87	—	—	10,40
		9 x 8	8,53	10,40	10,40	
3	CR x CC	8 x 6	55,30	55,30	55,30	55,30
4	CC x CR	8 x 6	—	4,28	24,54	25,90
		8 x 7	16,92	5,59	—	
		8 x 8	8,98	16,03	0,36	
5	CR x CC	8 x 6	16,63	26,60	26,60	26,60
		8 x 7	13,97	—	—	
6	CC x CR	8 x 6	54,50	54,50	—	54,50
		8 x 8	—	—	54,50	
7	CR x CC	7 x 8	2,14	—	—	47,90
		8 x 6	—	29,77	39,27	
		8 x 7	14,89	—	8,62	
		8 x 8	30,87	18,13	—	
8	CC x CR	8 x 6	3,72	7,93	7,98	30,00
		8 x 7	—	—	22,02	
		8 x 8	26,28	22,07	—	
9	CC x CR	9 x 9	15,00	15,00	15,00	15,00
10	CC x CR	6 x 6	20,97	24,89	32,76	284,60
		6 x 7	19,82	18,23	6,14	
		6 x 8	74,80	75,63	87,19	
		7 x 7	7,34	7,33	—	
		7 x 8	96,28	96,28	92,28	
		8 x 8	65,40	62,24	62,23	
		—	—	—	—	
11	CC x CR	6 x 6	41,50	43,94	44,00	49,60
		7 x 8	8,14	5,66	5,60	
12	CC x CR	7 x 7	—	—	0,25	30,50
		8 x 8	30,50	30,50	30,25	
13	CC x CR	6 x 7	6,10	4,47	—	6,10
		7 x 8	—	1,62	6,10	
14	CR x CC	8 x 6	28,13	—	—	31,80
		8 x 8	3,67	31,80	31,80	

## 5 — CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho, permitiram as seguintes conclusões:

a) a inclusão do corte sustentado, tanto como função de custo como função de renda, homogeneizou o fluxo de produção de matéria-prima ao longo do período de planejamento;

b) a utilização do corte sustentado leva a uma segmentação dos estratos florestais com diferentes regimes de manejo, bem como a redução do retorno total;

c) o aumento da taxa mínima atrativa provoca uma antecipação dos cortes, apesar de não provocar uma variação significativa no volume total produzido;

d) a aplicação de modelos de planejamento florestal baseados em programação matemática constitui-se em ferramenta rápida, eficaz e de grande operacionalidade ao manejador florestal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, O. & WEINTRAUB, A. Planing for a vertically integrated industry. *Operations Reserch*, 30 (6): 1168-1182, 1982.
- DOLEZAL, B. A method of forest management for the planned introduction of intensive husbandry in Virgin forest stands. In: OPERATIONAL FOREST MANAGEMENT PLANNING METHODS, Romênia, 18-24 junho, 1978. *Anais ... Berkeley, Pacific Southwest Range Exp. Stn. Forest Science*, 1978. p. 1-6.
- FAO/SWE/TF. *An introduction to planning forestry development*. Roma, 1984. 86 p.
- FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; KLEIN, J.E.; BRENA, D.A. & MENEZES, L.F. Crescimento em área basal de *Eucalyptus grandis* com enfoque para o planejamento da produção florestal. IN: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6, Nova Prata, set. 1988. *Anais ... Nova Prata, Prefeitura Municipal*, 1988. p. 755-769.
- HARVEY, M.W. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro, Prentice Hall do Brasil, 1986. 851 p.
- HILLER, F.S. & LIEBERMAN, G.J. *Introdução à pesquisa operacional*. Rio de Janeiro, CAMPUS/EDUSP, 1988. 805 p.
- JOHNSON, K.N. & H.L. SCHEURMAN. Techniques for prescribing optimal timber an investment under different objectives discussion and synthesis. *Forest Science*, Bethesda, 23(1):131, 1977.
- KIDD, W.E. Forest regulation and the alternative rate — a case illustration. *Journal of forestry*, Bethesda, dec. 1969.
- KILKKI, P. Long term timber production planning via utility maximisation. *Management Science*, 21:285-295, 1986.
- KIRBY, M. Large-scale budget application of mathematical programming in the forest service. In: OPERATIONAL FOREST PLANNING METHODS, Romênia, 18-24 junho, 1978. *Anais ... Berkeley, Pacific Southwest Range Exp. Stn. Forest Science*, 1978. p. 60-67.
- KOLENKA, J. Optimal control of raw timber production processes. In: OPERATIONAL FOREST PLANNING METHODS, Romênia, 18-24 junho, 1978. *Anais ... Berkeley, Pacific Southwest Range Exp. Stn. Forest*, 1978. p. 54-59.
- LIMA, A.B.N.P.M. *Plano ótimo econômico de manejo de corte para florestas de Eucalyptus*. Piracicaba, ESALQ, 1988. 88 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia.
- LOUCKS D.P. The development of a optimal program for sustained yield management. *Journal of forestry*, Bethesda, 62:485-490, 1964.
- NETTO, M.T. Um modelo de programação linear para o planejamento de florestas de *Eucalyptus*. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, 4(1):19-38, 1984.
- RODRIGUEZ, L.C.E. & MOREIRA, M.M. Gerenciamento de florestas de *Eucalyptus* com modelos de programação linear. IPEF, Série Técnica, Piracicaba, 6(19):1-15, Maio 1989.
- SCHNEIDER, P.R. FINGER, C.A.G.; MENEZES, L.F. & KLEIN, J.E.M. *Fundamentos de planejamento da produção florestal de Eucalyptus grandis (HILL) Maiden e Eucalyptus saligna Smith*. Santa Maria, FATEC/RIOCELL S.A., 1988.
- , P.R.; FINGER, C.A.G.; MENEZES, L.F.; KLEIN, J.E.M.; TOTTI, J.A. & GONZAGA, J.V. *Metodologia para análise econômica da condução da brotação e reforma de povoamento de Eucalipto*. Santa Maria, FATEC/RIOCELL S.A., 1987. 45 p. (Relatório Técnico).

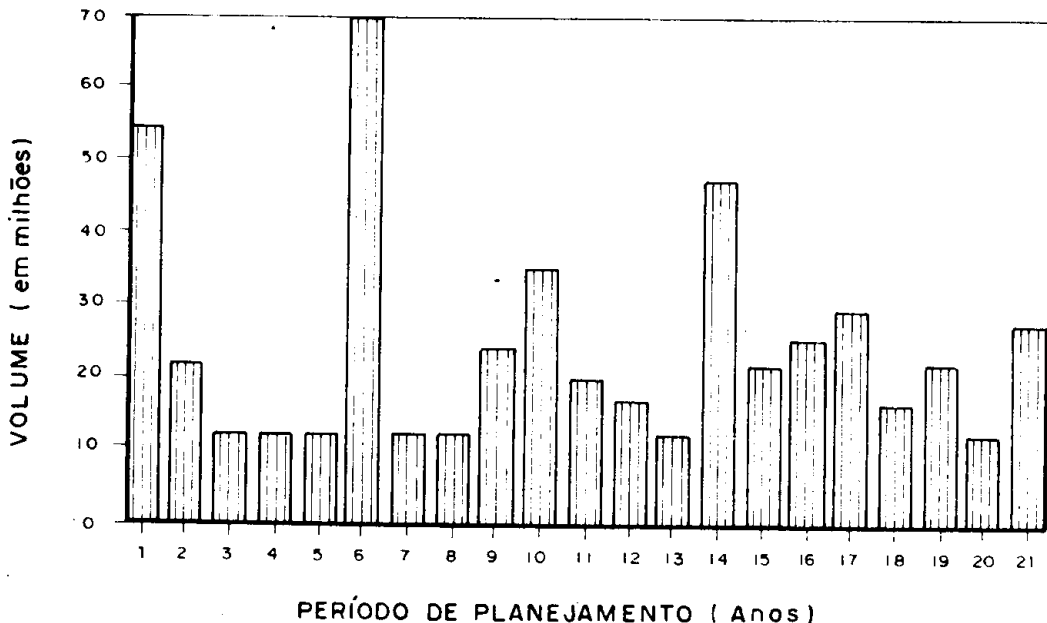


Figura 01: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de máx. do VLP, MOD. A.

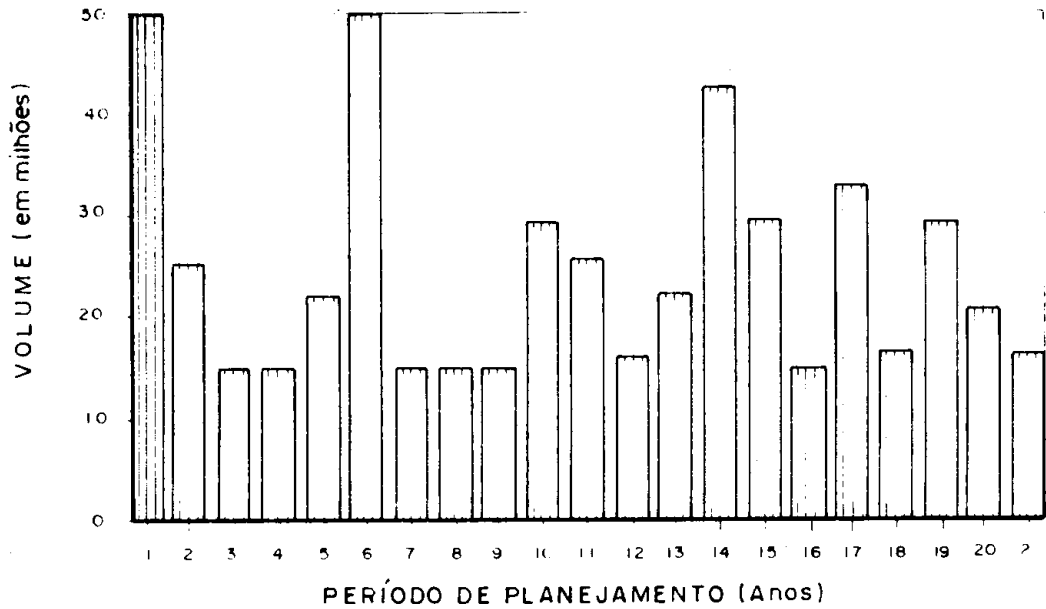


Figura 02: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de máx. do VLP, MOD. B.

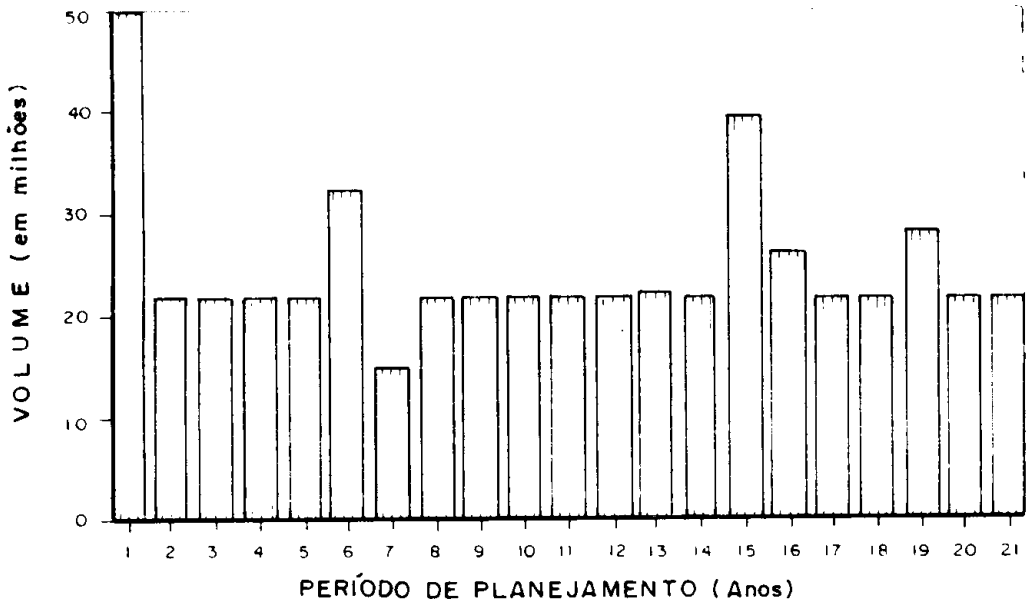


Figura 05: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de máx. do VLP, MOD. C.

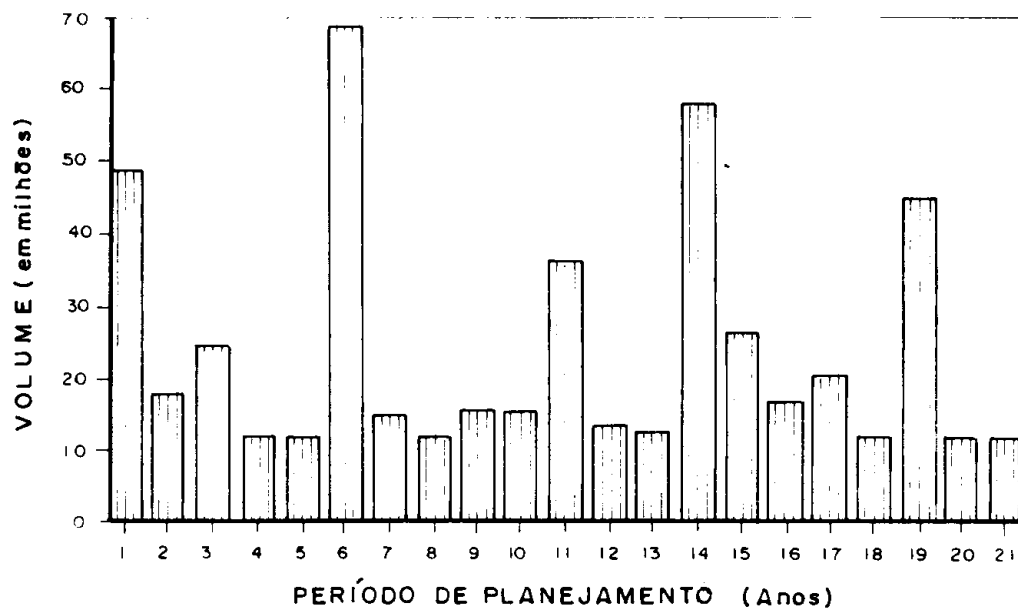


Figura 04: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de minimização, MOD. A.

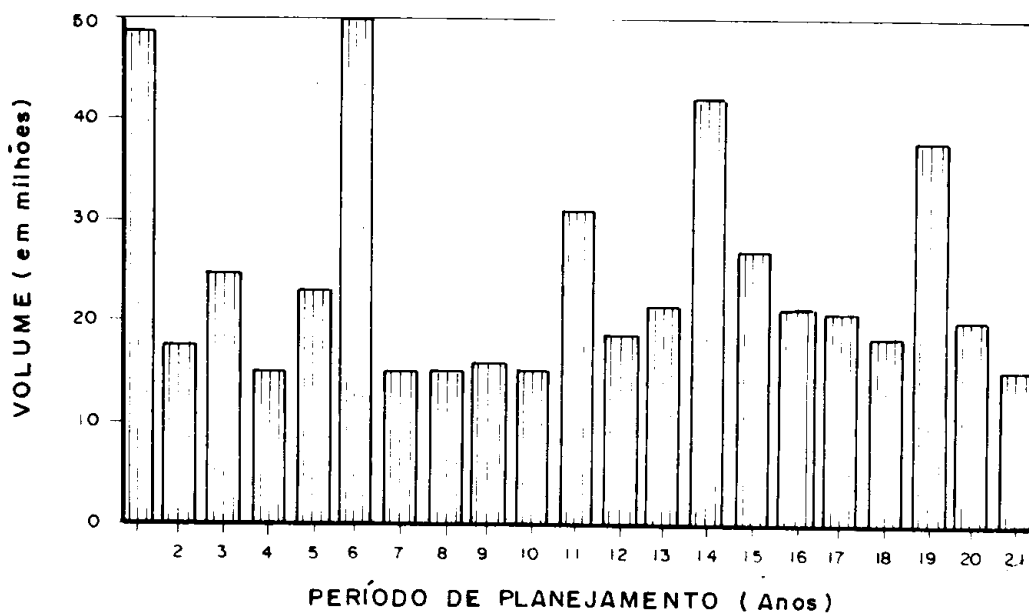


Figura 05: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de minimização, MOD. B.

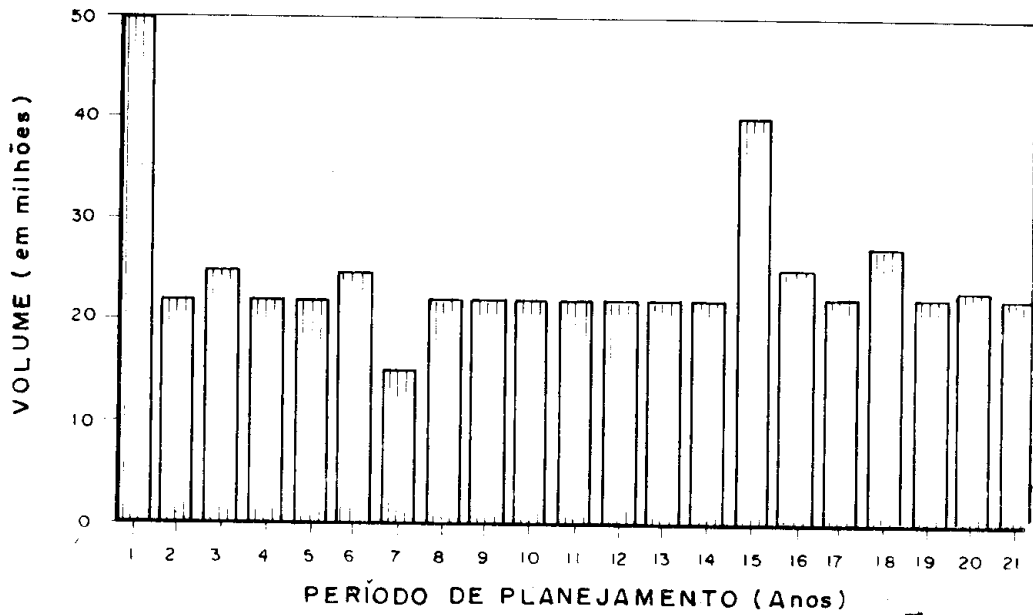


Figura 06: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de minimização, MOD. C.

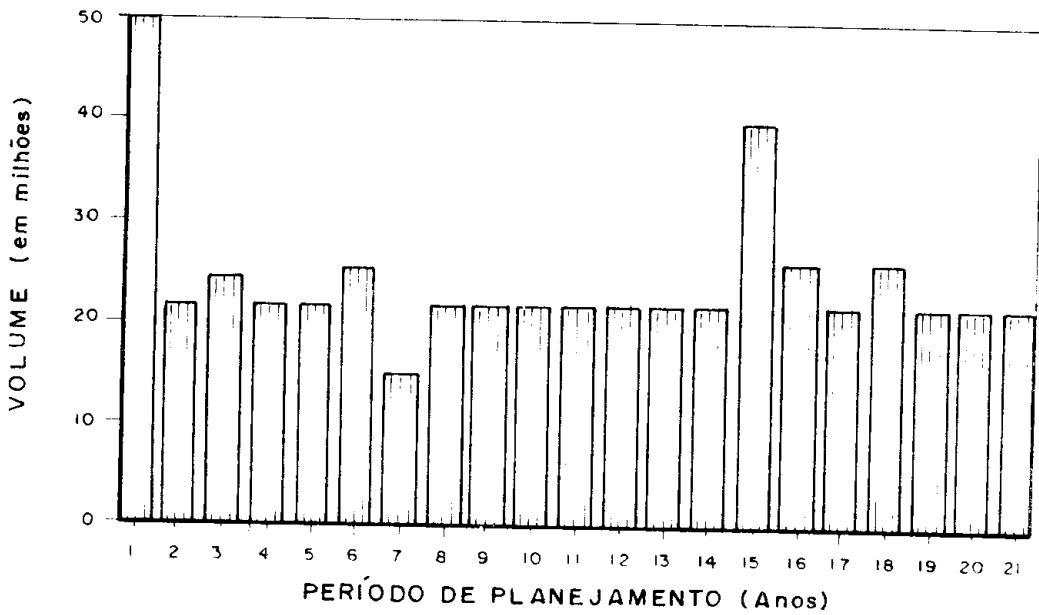


Figura 07: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de MfN,  $t = 6\%$ , MOD. A.



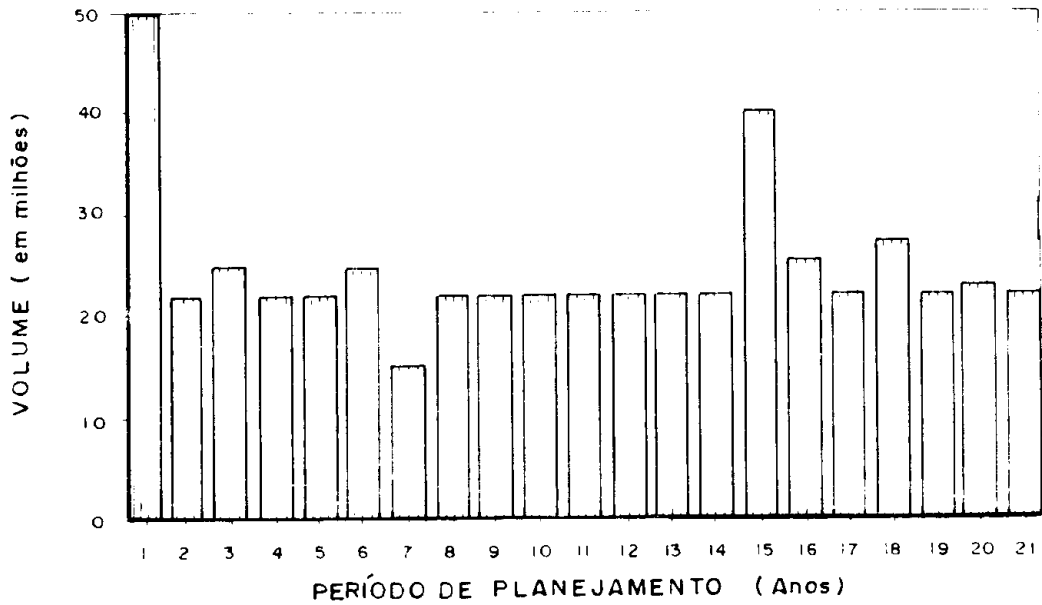


Figura 08: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de MfN.  $t = 8\%$ , MOD. B.

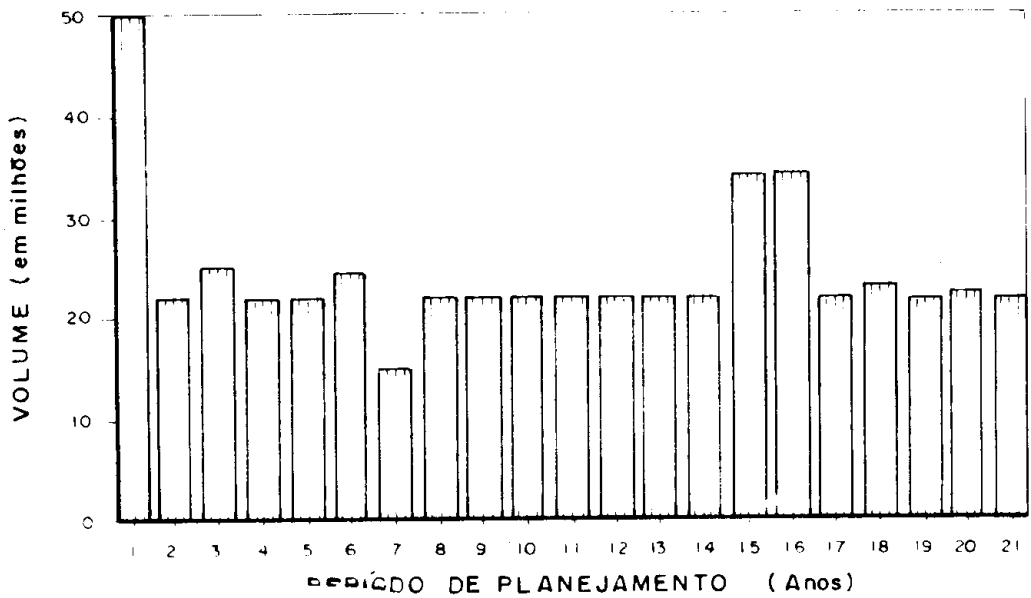


Figura 09: Produção anual obtida pela aplicação dos regimes de manejo indicados pelo modelo de MfN.  $t = 12\%$ , MOD. C.