

DECISÃO NO PLANEJAMENTO BIANUAL DA COLHEITA FLORESTAL: O USO DA PROGRAMAÇÃO INTEIRA MISTA

Alessandro Cruvinel Fidelis¹

Ricardo Pereira Reis²

RESUMO

Este estudo foi realizado em uma empresa com áreas florestadas com eucalipto, na região norte de Minas, e propõe-se a apresentar um modelo matemático de apoio à decisão no planejamento bianual da colheita florestal. Foram disponibilizadas 204 glebas para corte com produtividade média de 205 st (esténeos)/ha. O modelo proposto busca a otimização da colheita florestal, minimizando-se o custo de corte do trator *feller-buncher*, e, para tal, foi utilizada a técnica de programação inteira (*Mixed Integer Programming*). Das glebas disponibilizadas, o modelo de apoio à decisão selecionou 46 para serem colhidas no primeiro ano e 42 no segundo, com um custo de corte de US\$ 91.942,00 e US\$ 79.379,00 respectivamente, atendendo à demanda de madeira da empresa estudada. Os resultados obtidos permitiram verificar que a faixa ótima de produtividade das glebas disponibilizadas para corte encontra-se acima de 150 st/ha e a decisão de não colher glebas abaixo desses níveis pode representar uma economia de até US\$ 70.000,00 ao ano.

Palavras-chave: otimização, programação matemática, colheita florestal

¹ Alessandro Cruvinel Fidelis, Mestre em Administração Rural, Gerente Agrícola da Gessy Lever - Patos de Minas - MG

² Ricardo Pereira Reis, Professor Titular do Departamento de Administração e Economia da Universidade Federal de Lavras CEP 37200-000 Lavras-MG

E-mail: ricpreis@ufla.br

1 Introdução

O planejamento da colheita florestal é essencial na coordenação das atividades, permitindo otimizar o uso de máquinas e equipamentos, regular o fluxo de madeira, elevar a produtividade e reduzir os custos. Para isso, deve-se levar em consideração um grande número de fatores, tais como: tamanho e uniformidade das glebas; idade das plantas; incremento de volume de um ano para o outro; volume, produtividade e custos estimados; distância entre a área de plantio e a área de descarga das toras, entre outros, para que se consiga atender à demanda de madeira do período em questão, otimizando-se ao máximo os fatores de produção.

Valverde et al. (1996b) efetuaram a análise técnica do corte de madeira com o trator florestal derrubador-amontoador *feller-buncher*, dividindo o ciclo operacional em deslocamento sem carga, abate, deslocamento entre árvores e deslocamento para descarregamentos. Realizaram tomadas de tempo individuais, observando que a única variável que afetou diretamente o tempo de abate foi o volume de madeira por hectare.

Em outro trabalho, Valverde et al (1996a), analisando o trator florestal arrastador *skidder*, observaram que a sua capacidade de produção (volume de madeira extraída por unidade de tempo) foi afetada pelo volume por hectare e pela distância de arraste, obtendo-se os maiores valores e, conseqüentemente, os menores custos em classes de volume por hectare mais alto e nas faixas de menor distância de arraste.

A programação linear vem sendo utilizada para solucionar problemas em sistemas agroindustriais e agroflorestais há bastante tempo, principalmente devido à complexidade destes sistemas e do grande número de inter-relações nos diversos subsistemas que os compõem. Conforme Davis e Johnson (1987), a partir da década de 70, a solução de problemas de planejamento florestal por intermédio do uso de programação linear tem sido incrementada com agilidade e, desde então, uma grande variedade de *softwares* vem sendo desenvolvida para esta finalidade, assim como: SIMAC, MAX MILLION, RAM, TREES, ECHO, MUSYC e FORPLAN, dentre outros.

Vários autores têm utilizado esta técnica no planejamento de corte de florestas de clima temperado com sua produção destinada principalmente para a indústria de celulose. Ware e Clutter (1971) elaboraram um modelo de programação linear para realizar a programação da colheita em florestas industriais de *pinus* no Sudeste dos EUA, utilizando restrições de disponibilidade de mão-de-obra. Esta restrição segue a mesma linha de restrição de disponibilização de máquinas, já que a limitação de força de trabalho tem características semelhantes.

Nelson, Brodie & Sessions (1991) e Jones, Meneghin & Kirby (1991) utilizaram *Mixed Integer Programming* (MIP) na construção de modelos de apoio ao planejamento a curto prazo da colheita de florestas de clima temperado, sugerindo corte raso e utilizando restrição de fluxo de madeira. A técnica de programação inteira e suas derivações possibilitaram uma maior aproximação da pesquisa operacional a casos em que o resultado do modelo não poderia ser dividido em partes. Na área de planejamento florestal, esta técnica é empregada para garantir que, desde que determinada unidade seja eleita para ser cortada em determinada data, toda a sua área seja utilizada e não apenas parte desta.

Este estudo apresenta um sistema de planejamento gerencial que busca a otimização da colheita florestal. Especificamente, considera-se um modelo de decisão no planejamento da colheita florestal que minimize custos, simulando situações de alocação ótima do trator florestal *feller-buncher* em florestas de rápido crescimento.

2 Metodologia

2.1 Área de Estudo e Fonte de Dados

A área florestal estudada pertence à empresa Manesmann Florestal (MAFLA), localizada próxima à cidade de Bocaiúva no norte do Estado de Minas Gerais, ocupando um total de 47.577 ha, dos quais 33.456 ha estão plantados com eucalipto. Foi utilizado como fonte o inventário pré-corte, que é um preparatório para o planejamento de colheita onde são levantadas todas as glebas disponíveis para colheita e suas características de volume de madeira, localização e incremento anual entre outras. O rendimento do trator florestal *feller-buncher* foi obtido após análises em diferentes níveis de produtividade de floresta, cujos dados de consumo de combustível, mão-de-obra dos operadores, manutenção e reparos foram levantados com base na planilha de controle de gastos da máquina e convertidos em dólares.

A colheita de madeira é realizada por um conjunto de máquinas denominado “módulo de colheita”, que é responsável pelas operações de corte, extração, carregamento e transporte da madeira até os fornos de carbonização. A madeira produzida é inteiramente destinada à produção de carvão que é utilizado como fonte de energia para siderurgia. No caso estudado, havia o “módulo de colheita” de madeira com sistema totalmente mecanizado: corte efetuado pelo trator florestal *feller-buncher*, extração por *skidder* e desdobramento e carregamento pela garra traçadeira.

2.2 Modelo Analítico e Operacionalização das Variáveis

De acordo com Machado (1994), o planejamento florestal deve ser elaborado por meio de uma metodologia científica, apoiando-se em condições lógicas, mediante os dados coletados em situações reais e quando possível, extrapolados para novas situações. O fluxo de madeira está diretamente ligado à demanda da empresa e é um fator decisivo na

intensidade da exploração, o que torna importante o dimensionamento de todas as máquinas e equipamentos florestais necessários para que não haja um estrangulamento dos processos empregados na exploração.

Neste estudo foi elaborado o modelo matemático de Apoio ao Planejamento da Colheita Florestal (APCF) utilizando-se *Mixed Integer Programming* (MIP), que é uma associação de programação linear com programação inteira, descrito como uma combinação de variáveis contínuas e variáveis discretas, em que as variáveis inteiras são do tipo zero-um (0-1).

Este modelo foi desenvolvido para apoiar a elaboração do cronograma de colheita florestal no qual devem ser definidas, dentre as glebas que estão disponíveis para corte, quais deverão ser colhidas e em que seqüência. O modelo funciona segundo dados de entrada como glebas disponíveis para corte, custo-hora-máquina e capacidade de campo do trator florestal *feller-buncher*.

O intervalo de tempo contemplado foi de dois anos, enquadrando-se na categoria de curto prazo, sendo especificadas as unidades de corte para cada ano. O modelo desenvolvido considera a inter-relações entre as áreas florestais, caracterizando-se, portanto, a gestão de floresta.

Alguns passos deverão ser seguidos para se equacionarem os dados de entrada e suas inter-relações. No primeiro passo, define-se o custo-hora total do trator *feller-buncher*, que representa o somatório entre o custo fixo e o variável pelo número de horas totais.

O segundo passo é a definição do rendimento do trator para diferentes níveis de produtividade das glebas, ou seja, Capacidade de Campo (CC). Este indicador é representado pela área trabalhada pelo trator por intervalo de tempo e varia de acordo com o volume de madeira por hectare da floresta. A empresa estudada forneceu dados de rendimento do trator para nove níveis de produtividade, variando de 60 a 260 estéreos (st) por hectare.

No terceiro passo tem-se o cálculo do custo de corte por hectare para diferentes níveis de produtividade de floresta. Esse fato é decisivo

na seleção das glebas que deverão ser cortadas e é utilizado pelo modelo como coeficiente (C_{ij}) da variável de decisão. Seu cálculo depende do custo-hora da máquina e do número de hectares cortados em uma hora, ou seja, a capacidade de campo. Portanto, para cada nível de produtividade haverá um coeficiente de custo de corte.

O custo de ajuste caracteriza a programação inteira com variáveis do tipo 0-1 e não depende do custo de corte. A variável inteira está vinculada à gleba que for selecionada para corte, agregando automaticamente um valor inteiro à função objetivo. Seu valor pode ser individual para cada gleba, como o custo de transporte das máquinas que depende das distâncias, ou pode ser o mesmo valor para todas as glebas.

Para o caso estudado, o custo de ajuste foi considerado igual para todas as glebas com o valor de US\$ 100,00. Neste caso, este valor tem o efeito de diminuir a tendência de escolha de áreas muito pequenas, já que proporcionalmente sua participação no custo final será maior.

O quarto e último passo refere-se à definição das variáveis de decisão. A empresa estudada possui 47.577 hectares de florestas plantadas e a cada período deve disponibilizar uma parte da floresta para ser cortada. A área de floresta disponibilizada é dividida em glebas com diferentes produtividades e conseqüentemente com diferentes custos de corte por hectare.

A empresa em estudo disponibilizou 204 glebas para serem selecionadas para corte em dois anos. Estas glebas foram divididas em diferentes classes de produtividade que variaram de 55 a 255 st/ha, com uma mudança de classe a cada 10 unidades. Para as diferentes classes estão associados diferentes custos de corte por hectare. Dentre as glebas disponíveis para corte, serão selecionadas aquelas que poderão ser cortadas no primeiro ano (julho de 1999 a junho de 2000) e no segundo ano (julho de 2000 a junho de 2001), apoiando, portanto, o planejamento e a elaboração do cronograma de plantio.

O modelo matemático APCF pode ser expresso por:

MINIMIZAR

$$Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (C_{ij} \cdot X_{ij} + CC_{ij} \cdot Y_{ij}) \quad (1)$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J V_{ij} \cdot X_{ij} = VT_j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} = A_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J A_i \cdot Y_{ij} = 0 \quad (4)$$

em que:

C_{ij} = custo de corte de 1 ha da gleba i no momento j ;

X_{ij} = número de hectares cortados na gleba i no momento j ;

CC_{ij} = custo de ajustamento para iniciar corte na gleba i no momento j ;

Y_{ij} = variável tipo zero-um ligada ao custo de ajuste da gleba i no momento j ;

V_{ij} = volume de madeira em 1 ha da gleba i no momento j ;

VT_j = volume total mínimo de madeira cortada no período j ;

A_i = área em hectares da gleba .

A função objetivo refere-se à minimização dos custos envolvidos na colheita florestal, apoiando, portanto, o planejamento na ocasião da tomada de decisão sobre quais glebas serão colhidas no período j . O período j pode ser qualquer subdivisão de intervalo de tempo. Para o caso estudado considerou-se um ano como subdivisão de um período de dois anos, ou seja, todas as glebas têm a possibilidade de serem colhidas

no ano 1 ou no ano 2. Dessa forma, a mesma gleba gera duas variáveis de decisão: X_{11} e X_{12} , ou seja, o número de hectares colhidos na gleba 1 no ano 1 e número de hectares cortados na gleba 1 no ano 2. Nas glebas eleitas para corte será realizado corte raso, ou seja, toda a madeira da gleba será extraída.

A restrição (2) restringe o volume total a ser colhido como maior ou igual ao mínimo demandado para o período em questão. Já a restrição de área assegura que a área cortada de determinada gleba não exceda o seu tamanho total. A restrição de ajuste possibilita acrescentar os custos não-lineares ao modelo.

O modelo tem como meta principal atingir o volume de madeira demandado com o menor custo de corte. As 204 glebas podem ser escolhidas em dois anos para atingir esse volume, com diferentes localizações e diferentes produtividades, possibilitando uma infinidade de combinações. A restrição de volume assegura essa meta, fazendo com que o volume de madeira totalizado pelas glebas selecionadas seja igual ao volume demandado para cada ano.

A gleba selecionada deve ser completamente cortada e o número de hectares cortados não deve exceder ao seu tamanho. Para que isto ocorra, a restrição de área limita o número de hectares cortados na gleba selecionada a, no máximo, o seu tamanho. Esta condição é reforçada pela restrição de ajuste que acrescenta o custo de US\$ 100,00 por hectare à função objetivo, independente do número de hectares cortados na gleba.

Devido à restrição (4), a variável Y_{ij} assumirá sempre os valores 0 ou 1. Este resultado ocorre porque a restrição de ajuste deve ser sempre menor ou igual a zero. Quando a gleba X_{ij} não for selecionada, o seu valor será igual a zero e, conseqüentemente, a variável Y_{ij} também será nula, ao passo que quando seu valor for maior que zero, conseqüentemente, X_{ij} será igual a A_{ij} , que é o próprio coeficiente da variável Y_{ij} , o que obriga a variável Y_{ij} a ser igual a 1 devido ao fato de o segundo membro da equação (4) ser nulo. Essa restrição obriga a variável Y_{ij} a apresentar sempre valores inteiros, caracterizando, portanto, a programação inteira no modelo.

3 Resultados e Discussão

O modelo trabalhou tentando encontrar a seleção de glebas que serão cortadas para atingir o volume de madeira demandado com o menor custo de corte total possível.

Com maiores níveis de produtividade da floresta, o custo de corte por volume de madeira decresce e, conseqüentemente, torna-se menos onerosa a operação da máquina, ou seja, consegue-se o volume de madeira com menor tempo de operação e, desta forma, com menor custo de corte. Se as variáveis do modelo se resumissem a estas relações, bastaria escolher as glebas com maiores volumes e, em conseqüência, seria obtido o menor custo de corte para a empresa.

No entanto, o modelo APCF leva em consideração a possibilidade de se colher uma floresta em dois períodos. No primeiro período, o volume de madeira por hectare (produtividade) é o volume atual e no segundo período considera-se o crescimento (incremento) da floresta até o momento em que ela será colhida.

Nas 204 glebas disponibilizadas, obteve-se um volume de madeira total de 918.374 st. Para os períodos em questão, a empresa demandava 258.000 st de madeira no primeiro ano (julho 1999 a junho 2000) e 270.000 st no segundo (julho 2000 a junho 2001) com o objetivo de produzir carvão suficiente para atender a demanda da siderúrgica.

Para a empresa estudada, das 204 glebas disponíveis foram geradas 408 variáveis. Isso se deve à possibilidade de corte das glebas em dois momentos distintos (ano 1 e ano 2). Como essa simulação considera dois anos, existem três possibilidades para cada variável: ser eleita para corte no primeiro ano, ser eleita para o segundo e não ser eleita para nenhum dos dois anos.

Para o primeiro ano de planejamento, o modelo selecionou 46 das 204 glebas disponíveis, perfazendo um total de 258.000 st, ao passo que para o segundo ano selecionou 42 glebas, perfazendo 270.000 st. Nesse sentido, atingiu-se o volume de madeira demandado para os dois períodos.

A minimização do custo de corte na elaboração do plano de colheita do ano 1 e do ano 2 encontra-se respectivamente nas Tabelas 1 e 2. A Tabela 1 representa a solução ótima para aquelas glebas que deverão ser colhidas no primeiro ano e a Tabela 2, no segundo ano. A variável X_{ij} representa a área da gleba i selecionada para ser colhida no ano j . O número correspondente ao índice i é a própria numeração das glebas disponíveis, enquanto o índice j representa 1 para o primeiro ano e 2 para o segundo.

A oferta de madeira é maior que a demanda em dois anos e fez com que algumas glebas disponíveis não fossem selecionadas para corte em nenhum dos períodos de planejamento, devendo permanecer em crescimento ou entrarem em uma nova otimização se houver alguma mudança de cenário.

Analisando o resultado da sugestão de planejamento bianual feita pelo modelo APCF, foram construídas as Tabelas 3 e 4 de distribuição de frequência por níveis de produtividade. Nessas estão os níveis de produtividade (st/ha), o número de glebas selecionadas para cada nível de produtividade, o número total de glebas disponíveis por nível e o percentual das glebas selecionadas pela produtividade.

Tabela 1. Glebas selecionadas para compor o cronograma de corte da empresa estudada no ano 1(1999-2000).

Gleba	Área (ha)	Incremento (st/ha)	Produtividade (st/ha)	Classe	Custo de Corte (US\$/ha)
X 29 1	37	0	147	145	56
X 31 1	36	0	148	145	56
X 32 1	41	0	149	145	56
X 34 1	25	0	159	155	58
X 35 1	49	0	162	165	61
X 41 1	41	0	179	175	64
X 42 1	14	0	186	185	67
X 43 1	11	0	194	195	68
X 44 1	16	0	205	205	70
X 45 1	42	0	209	205	70
X 46 1	10	0	219	215	73
X 49 1	22	0	269	265	82
X 53 1	46	0	210	205	70
X 57 1	32	0	176	175	64
X 60 1	28	0	199	195	68
X 61 1	24	0	191	195	68
X 63 1	37	0	200	195	68
X 64 1	32	0	152	155	58
X 68 1	24	0	156	155	58
X 69 1	13	0	229	225	75
X 79 1	33	0	217	215	73
X 121 1	26	0	150	145	56
X 124 1	24	0	228	225	75
X 126 1	37	0	205	205	70
X 131 1	38	0	163	165	61
X 132 1	34	0	169	165	61
X 136 1	39	0	157	155	58
X 138 1	38	0	156	155	58
X 140 1	39	0	196	195	68
X 141 1	27	0	157	155	58
X 142 1	38	0	163	165	61
X 145 1	37	0	150	145	56
X 146 1	36	0	150	145	56
X 148 1	38	0	209	205	70

cont.

Gleba	Área (ha)	Incremento (st/ha)	Produtividade (st/ha)	Classe	Custo de Corte (US\$/ha)
X 153 1	36	0	218	215	73
X 154 1	39	0	220	215	73
X 155 1	34	0	192	195	68
X 164 1	37	0	161	165	61
X 165 1	34	0	170	165	61
X 177 1	18	0	234	235	77
X 182 1	13	0	161	165	61
X 183 1	24	0	199	195	68
X 184 1	18	0	208	205	70
X 192 1	25	0	168	165	61
X 194 1	25	0	185	185	67
X 202 1	24	0	204	205	70

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 2. Glebas selecionadas para compor o cronograma de corte da empresa estudada no ano 2 (2000-2001).

Gleba	Área (ha)	Incremento (st/ha)	Produtividade (st/ha)	Classe	Custo de Corte (US\$/ha)
X 33 2	19	30	184	185	67
X 37 2	5	34	207	205	70
X 38 2	15	34	208	205	70
X 39 2	27	34	208	205	70
X 47 2	27	46	280	275	84
X 48 2	27	51	308	305	87
X 50 2	34	54	328	325	89
X 51 2	6	55	335	335	90
X 52 2	19	59	355	355	91
X 56 2	37	32	194	195	68
X 58 2	35	45	275	275	84
X 62 2	11	44	264	265	82
X 67 2	4	56	336	335	90
X 70 2	36	63	381	385	92
X 71 2	8	65	394	395	92
X 72 2	9	51	308	305	87
X 76 2	8	47	286	285	85

cont.

Gleba	Área (ha)	Incremento (st/ha)	Produtividade (st/ha)	Classe	Custo de Corte (US\$/ha)
X 77 2	20	70	421	395	92
X 78 2	23	46	277	275	84
X 80 2	15	73	438	395	92
X 81 2	15	48	291	295	86
X 82 2	8	59	357	355	91
X 83 2	34	54	328	325	89
X 84 2	25	50	305	305	87
X 85 2	26	46	281	285	85
X 86 2	21	50	300	295	86
X 87 2	24	60	365	365	91
X 88 2	11	42	256	255	80
X 122 2	37	42	255	255	80
X 123 2	23	44	265	265	82
X 129 2	38	34	209	205	70
X 133 2	38	34	208	205	70
X 139 2	29	42	255	255	80
X 144 2	26	46	276	275	84
X 150 2	25	55	336	335	90
X 151 2	37	42	255	255	80
X 156 2	23	25	150	145	56
X 179 2	20	47	283	285	85
X 180 2	24	47	282	285	85
X 185 2	26	42	254	255	80
X 195 2	25	45	272	275	84
X 201 2	24	44	267	265	82

Fonte: Dados da pesquisa

No ano 1 tem-se 84,8% das glebas selecionadas entre os níveis de 150 a 225 st/ha. Como pode ser observado na Tabela 3, existe uma distribuição com uma tendência de concentração entre os níveis de 150-175, 175-200, 200-225 st/ha. Essa distribuição indica que no ano 1, com as glebas disponíveis da empresa e suas respectivas características de produtividade e tamanho, a melhor escolha para corte encontra-se nesses níveis.

Tabela 3. Distribuição de frequência das glebas selecionadas pelo modelo APCF para serem cortadas no ano 1 (1999-2000).

Níveis de Produtividade(st/ha)	<125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	>250
Nº de Glebas Selecionadas	0	3	17	10	12	3	1
Nº Total de Glebas	81	32	27	12	21	13	18
% de Glebas Selecionadas	0	6,5	37	21,8	26,0	6,5	2,2

Fonte: Dados de pesquisa

Tabela 4. Distribuição de frequência das glebas selecionadas pelo modelo APCF para serem cortadas no ano 2 (2000-2001).

Níveis de Produtividade (st/ha)	<125	125-150	150-175	175-200	200-225	225-250	>250
Nº de Glebas Selecionadas	0	0	1	2	5	0	34
Nº Total de Glebas	62	21	24	7	7	1	36
% de Glebas Selecionadas	0	0	2,3	4,7	12,0	0	81,0

Fonte: Dados de pesquisa

Um comportamento contrário é observado no ano 2 (Tabela 2) quando 81% das glebas selecionadas estão no nível de produtividade acima de 250 st/ha. Essa distribuição pode ser explicada pelo aumento do número de glebas que entram nesse nível quando aumentam seus volumes de madeira, já que recebem o incremento na produtividade correspondente a um ano de crescimento, aliado ao fato de reduzir o número de glebas em níveis de produtividade inferiores, pois sua maioria foi selecionada no ano 1. Em ambos os casos a incidência de seleção de glebas com produtividade abaixo de 150 st/ha foi baixa, o que indica que abaixo deste nível, o custo de corte é alto.

Com a seleção realizada pelo modelo APCF no primeiro ano, se o planejador seguir a proposta de glebas que deverão ser colhidas, o volume de 258.000 st será colhido a um custo de US\$ 91.942,00. Enquanto no segundo ano, o volume de madeira demandado de 270.000 st será atingido com o custo de corte de US\$ 79.379,00. A empresa estudada utiliza como parâmetro intuitivo para definição da viabilidade da utilização da máquina a escolha de glebas com níveis de produtividade acima de 100 st/ha.

Para facilitar a visualização da redução de custo com o uso do modelo APCF, foi realizada uma comparação em dois cenários. No cenário tradicional, as glebas escolhidas para corte estão entre 100 e 150 st/ha e no cenário otimizado utilizaram-se os dados do resultado do modelo com glebas selecionadas entre os níveis de 125 e acima de 250 st/ha (Tabela 5), cujo resultado retrata uma economia de cerca de US\$ 70.000,00 por ano quando se colhem as glebas propostas pelo sistema.

Os procedimentos para planejamento bianual podem ser repetidos para intervalos de tempo menores ou maiores, seguindo-se a mesma lógica do modelo, bastando para isso fazer os ajustes nas repetições das glebas e no volume total por período. A partir dos dados das Tabelas 1 e 2, que são os resultados da interação das variáveis de decisão do modelo proposto, o planejador poderá fazer o detalhamento mensal das glebas que serão colhidas elaborando o cronograma de colheita anual da empresa.

Tabela 5. Comparativo de custo de corte ótimo e tradicional para o período de planejamento 1999-2001.

Especificação	Ano 1 - 258.000 st *	Ano 2 - 270.000 st *
Custo de Corte Ótimo	91.942,00	79.379,00
Custo/st Ótimo	0,356	0,293
Custo de Corte Tradicional (150 st)	163.000,00	149.349,00
Custo/st Tradicional (150 st)	0,631	0,553
Redução de Custo	71.058,00	69.970,00

Fonte: Dados de Pesquisa

* Valores em US\$

4 Conclusões

O modelo de Apoio ao Planejamento da Colheita Florestal (APCF) foi operacionalizado de forma a atender às necessidades de flexibilização decorrentes de possíveis mudanças de cenário do planejamento florestal, sendo aplicável em empresas florestais que utilizam diferentes sistemas de colheita ou àquelas que destinam madeira para a produção de carvão ou celulose, podendo trazer redução de custos em um momento de economia competitiva.

O aumento do custo de corte por hectare em áreas com maiores níveis de produtividade não excluiu essas glebas da solução ótima. Isto se verificou porque em glebas com maiores produtividades, o volume de madeira cortado por hora (produtividade da máquina) aumentou e conseqüentemente o custo de corte por estéreo de madeira reduziu.

Os níveis de produtividade de floresta recomendados para corte pelo modelo APCF estão acima de 150 st/ha, ao passo que os parâmetros utilizados na elaboração do plano de colheita da empresa estudada estavam em níveis de custos elevados, o que recomenda a colheita em florestas com produtividade a partir de 100 st/ha. Isso indica que o modelo ajustado tem também a função de identificar novos parâmetros em condições em que se utilizavam métodos empíricos na definição de critérios de decisão,

facilitando a compreensão dos níveis ideais de produtividade das florestas a serem cortadas.

No modelo desse estudo o principal fator decisivo na seleção das glebas foi a produtividade, tendo um impacto direto no custo de corte.

Foi identificada a oportunidade de se testar a introdução do custo de exaustão e do custo de carbonização nas variáveis de decisão, completando-se portanto o ciclo produtivo desde a formação das mudas até a transformação da madeira em carvão.

O custo de ajustamento apresentou sempre valores iguais a 0 ou 1, caracterizando um modelo de decisão binário.

As simulações de alocação do trator florestal *feller-buncher* no ano 1 e no ano 2 demonstraram a possibilidade de utilização do modelo em diferentes intervalos de tempo. Para isso é necessária a subdivisão das variáveis de decisão em intervalos de tempo menores, aumentando portanto o número de variáveis do modelo de acordo com a necessidade de monitoramento de menores intervalos.

Atualmente as empresas florestais vêm investindo em ferramentas de tecnologia de informação modernas como o Geographic Information System (GIS) e o Geographic Position System (GPS) para o mapeamento e gerenciamento de informações. Portanto, a oportunidade de se construir uma única ferramenta que agregasse a precisão do GPS e a versatilidade do GIS como fornecedores de informações ao modelo desenvolvido neste trabalho poderá facilitar a interface entre as áreas de mapeamento e planejamento, além de agilizar a entrada de dados que seria efetuada em apenas uma base. Essa ferramenta única poderá trazer ainda mais agilidade e precisão na tomada de decisão do planejador florestal, além dos ganhos inerentes à inevitável sinergia entre as áreas de inventário e planejamento.

5 Bibliografia

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p.

JONES, J. G.; MENEGHIN, B. J.; KIRBY, M. W. Formulating adjacency constraints in linear optimization models for scheduling projects in tactical planning. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 5, p. 1283-1297, nov. 1991.

MACHADO, C. C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal**. Viçosa: UFV, 1994. 138 p.

NELSON, J.; BRODIE, J. D.; SESSIONS, J. Integrating short-term, area-base logging plans with long-term harvest schedules. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 1, p. 101-122, mar. 1991.

VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; REZENDE, J. L. P. et al. Análise técnica e econômica do arraste com skidder no sistema de colheita de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 101-109, jan. 1996a.

VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. et al. Análise técnica e econômica do corte de madeira com o trator florestal derrubador-amontoador (*feller-buncher*) no sistema de colheita florestal de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 229-240, abr. 1996 b

WARE, G. O.; CLUTTER, J. L. A mathematical programming system for the management of industrial forests. **Forest Science**, Washington, v. 17, n. 4, p. 428-445, dec. 1971.