

MARCO ANTONIO MONTE

**INCLUSÃO DE CRITÉRIOS SOCIAIS NA MODELAGEM MATEMÁTICA
DO PLANEJAMENTO FLORESTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M772i
2012

Monte, Marco Antonio, 1976-

Inclusão de critérios sociais na modelagem matemática do planejamento florestal / Marco Antonio Monte. – Viçosa, MG, 2012.

x, 74f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Helio Garcia Leite.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Florestas - Administração - Aspectos sociais.
 2. Programação linear. 3. Desenvolvimento sustentável.
- I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.96

MARCO ANTONIO MONTE

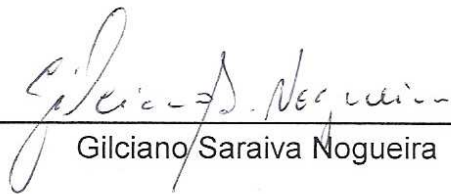
**INCLUSÃO DE CRITÉRIOS SOCIAIS NA MODELAGEM MATEMÁTICA
DO PLANEJAMENTO FLORESTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

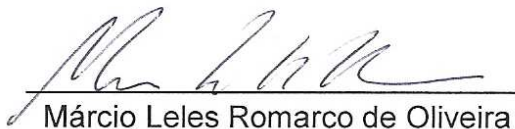
APROVADA: 30 de abril de 2012.



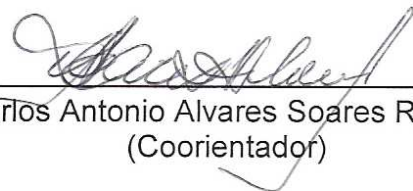
Antônio de Pádua Nacif



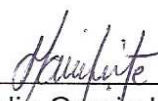
Gilciano Saraiva Nogueira



Márcio Leles Romarco de Oliveira



Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro
(Coorientador)



Helio Garcia Leite
(Orientador)

Agradeço a Deus...

Que me orienta e me conduz no caminho certo. E que por meio do Espírito Santo me fortalece e me ajuda a superar todos os desafios, orienta-me na busca de novos conhecimentos, e faz-me encorajado a sempre perseverar.

Obrigado Senhor

Letra e Música: Pe. José Weber

Obrigado, Senhor, porque és meu amigo,
Porque sempre contigo eu posso falar;
No perfume das flores, na harmonia das cores
E no mar que murmura o teu nome a cantar.

Escondido, Tu estás no verde da floresta,
Nas aves em festas, no sol a brilhar;
Na sombra que abriga, na brisa amiga,
Na fonte que corre ligeira a cantar.

Te agradeço ainda porque na alegria,
Ou na dor de cada dia, posso Te encontrar;
Quando a dor me consome, murmuro o Teu nome
E, mesmo sofrendo, eu posso cantar.

Obrigado Senhor! Obrigado Senhor!

AGRADECIMENTOS

Em especial, aos meus pais e a todos meus familiares pelo apoio durante minha jornada acadêmica; certamente estão orgulhosos por mais essa conquista.

Aos amigos da minha terra natal, que sempre me incentivaram e que compartilham comigo momentos de intensa felicidade.

Ao professor Helio Garcia Leite, pela orientação, atenção e valiosas sugestões na realização deste trabalho e ao longo da minha vida acadêmica.

Aos professores Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro e Heleno do Nascimento Santos pela coorientação do presente trabalho e pelas contribuições feitas a este estudo.

Aos professores Márcio Leles Romarco de Oliveira e Gilciano Saraiva Nogueira e ao Dr. Antônio de Pádua Nacif pela prontidão em participarem da banca e pelas sugestões que muito contribuíram para enriquecer o presente estudo.

Aos professores Maria das Graças Ferreira Reis e Geraldo Gonçalves dos Reis, agradeço pela sincera amizade, pelos incentivos e pela orientação que muito contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Florestal, à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela oportunidade e pelo apoio financeiro.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal (Ritinha, Chiquinho, Jamile, Rose, Alexandre, Alfredo, Cida e Neuza).

Em especial, ao Daniel Binoti, que prestou valiosa contribuição na realização deste trabalho.

Aos amigos Ivan, Eric, Felipe, Ranieri. E àqueles com tive o prazer de uma agradável convivência: Norberto, Rafael, William, Dalton, Marinaldo, Tiago, Pablo, Phillip Dernier e Rodrigo Firmino.

A todos os professores que participaram da minha vida estudantil e que contribuíram na minha formação, desde o primário até o doutorado.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARCO ANTONIO MONTE, filho de Isaurino Monte e Maria da Penha Salvador Monte, nasceu em Nova Venécia, Espírito Santo, em 20 de junho de 1976.

Em fevereiro de 2000, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em janeiro de 2005.

Em março de 2005, iniciou o Curso de Mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, com ênfase em Silvicultura, obtendo o título de *Magister Scientiae* em dezembro de 2006.

Em março de 2008, iniciou o Curso de Doutorado em Ciência Florestal, na área de Manejo Florestal, também na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de *Doctor Scientiae* em abril de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
Referências.....	2
OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO 1: ABORDAGEM DA QUESTÃO SOCIAL NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	5
Referências.....	8
CAPÍTULO 2: ESTRATIFICAÇÃO ESPACIAL POR MUNICÍPIO NA OBTENÇÃO DA FLORESTA REGULADA	11
2.1 Introdução.....	12
2.2 Material e métodos	14
2.3 Resultados e discussão	20
Conclusões	25
Referências.....	26
CAPÍTULO 3: REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO FLORESTAL COM A INCLUSÃO DE CRITÉRIOS SOCIAIS.....	28
3.1 Introdução.....	30
3.2 Material e métodos	31
3.3 Resultados e discussão	42
Conclusões	50
Referências.....	50
CAPÍTULO 4: ALTERNATIVA PARA ANTECIPAR A REGULACÃO DA PRODUÇÃO FLORESTAL	53
4.1 Introdução.....	54
4.2 Material e métodos	56
4.3 Resultados	61
4.4 Discussão	68

Conclusões	69
Referências.....	70
CONCLUSÕES GERAIS	72
APÊNDICE A	73

RESUMO

MONTE, Marco Antonio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2012. **Inclusão de critérios sociais na modelagem matemática do planejamento florestal**. Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientadores: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro e Heleno do Nascimento Santos.

Numa abordagem pioneira, buscou-se incluir, em modelo de planejamento florestal, abordagens sociais que contribuam para o desenvolvimento regional, que atendam às exigências da empresa e ampliem as oportunidades de geração de renda para a comunidade local. Nesse contexto, foram conduzidos estudos de caso acerca do uso dos modelos propostos, considerando-se povoamentos de eucalipto com 2.191 ha, localizados em três municípios e com idades de plantio variando entre 1 e 7 anos. O horizonte de planejamento utilizado foi de oito anos e a taxa líquida de desconto anual foi de 8,75%. Modelos de regulação florestal foram formulados de acordo com o modelo I de programação linear (*PL*), com o objetivo de maximizar a receita líquida global da empresa. As abordagens utilizadas compreenderam: 1) regulação da produção florestal com a estratificação espacial por município; 2) doação de árvores de pequeno porte (menor ou igual a 11,0 cm de diâmetro) para a comunidade, no momento da colheita florestal e 3) antecipação da regulação florestal. As abordagens propostas foram comparadas com o modelo usual de regulação florestal. A estratificação espacial por município não reduziu a receita líquida global da empresa e atendeu à demanda de madeira. Além disso, essa restrição promoveu menor variação no volume anual de produção de madeira. A regulação com a doação de árvores de pequeno porte resultou em redução no custo de colheita e, conseqüentemente, no aumento da renda líquida da empresa em 7,5%. Para a comunidade, foi gerada uma renda bruta significativa equivalente a 0,7% da renda líquida global da empresa. A antecipação da regulação reduziu a receita líquida global em 3,38%, mas promoveu ganho social aos municípios por assegurar que as operações florestais ocorrerão anualmente em cada município. As abordagens utilizadas contribuem inequivocamente para o desenvolvimento regional,

favorecendo a arrecadação de impostos para os municípios e gerando renda para a comunidade.

ABSTRACT

MONTE, Marco Antonio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2012.
Inclusion of social criteria in mathematical modeling of forest planning.
Adviser: Helio Garcia Leite. Co-advisers: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro and Heleno do Nascimento Santos.

The aim of this study was include social approaches in forest planning model that contribute to regional development, meet the company requirements and expand the income-generating opportunities for the local community. In this context, studies case were conducted about the use of the proposed models, considering eucalyptus stands with 2,191 ha, located in three districts and with planting ages ranging between 1 and 7 years. The planning horizon used was eight years and the net annual discount rate was 8.75%. Forest regulation models were formulated according to the model I of linear programming, with the goal of maximizing the overall net revenue of the company. The approaches used included: 1) Regulation of forest production with the spatial stratification by district; 2) donation of small trees (less than or equal to 11.0 cm diameter) to the community at the time of harvesting and 3) anticipation of the forest regulation. The proposed approaches were compared with the usual model of forest regulation. The spatial stratification by district did not reduce the overall net revenue of the company and met the demand for wood. Furthermore, this constraint promoted less variation in annual volume of wood production. The regulation made by donation of small trees resulted in reduction in cost of harvest and, consequently, increasing the company's net income in 7.5%. To the community, it was generated a significant total income equivalent to 0.7% of the company's overall net income. The anticipation of regulation reduced the overall net revenue at 3.38%, but promoted social gain to districts by ensuring that forestry operations would occur annually in each district. The approaches used clearly contribute to regional development by promoting the collections of taxes to the districts and generating income for the community.

INTRODUÇÃO GERAL

O planejamento florestal está fundamentado nas dimensões ambiental, econômica e social (DAVIS et al., 2005). Essa tríade sacramenta o conceito de sustentabilidade e, por isso, é necessário contemplá-la nos modelos de planejamento florestal. Contudo, a tomada de decisão terá maior respaldo com a consideração de fatores tecnológicos e políticos.

Nos modelos de planejamento florestal, aqui considerando especificamente os modelos de regulação da produção florestal, as questões de ordem econômica e ambiental já são há muito utilizadas (RODRIGUES et al., 1998; RODRIGUES et al., 2003; SILVA et al., 2003; SILVA et al., 2006; CASTRO, 2007; BINOTI, 2010; CAVALCANTE, 2011, entre outros). Entretanto, as questões de ordem social são, ainda, incipientes e precisam ser formuladas matematicamente e avaliadas.

Na tentativa de incluir critérios sociais em modelo de planejamento estratégico, Rodrigues (2002), Lee *et al.* (2005) e Silva *et al.* (2006) utilizaram a variável mão de obra. Todavia, apenas o uso dessa variável é insuficiente para fundamentar a tomada de decisão em relação à dimensão social. É necessário incluir abordagens que sabidamente contribuam para gerar renda para a comunidade, culminando com a promoção da sustentabilidade.

Embora a responsabilidade social seja contemplada nos padrões de certificação florestal, a inclusão de variáveis sociais nos modelos de regulação da produção florestal ainda representa um grande desafio. No caso do presente estudo, o desafio é desenvolver abordagens que gerem renda para a comunidade do entorno e que contribuam com o desenvolvimento regional. Não é tarefa fácil considerar tais questões em modelos matemáticos de pesquisa operacional (WHITE; LEE, 2009). Geralmente, as medidas sociais realizadas pelas empresas não são incorporadas nos modelos matemáticos de planejamento. A maioria delas tem caráter assistencialista, pouco contribuindo para consolidar o aumento da renda da comunidade. Seus resultados são, sobretudo, socialmente questionáveis.

As decisões podem ser ecologicamente corretas, economicamente viáveis, mas podem não ser socialmente justas (DAVIS et al., 2005). Conforme esses autores, os argumentos ambientais e econômicos frequentemente utilizados não são suficientes para garantir a viabilidade social das decisões. Não considerar os aspectos sociais no desenvolvimento sustentável poderá levar à marginalização da tomada de decisão (LEHTONEN, 2004).

Haja vista a sua importância na sustentabilidade, é fundamental considerar as questões sociais no planejamento florestal estratégico. Apesar de essa incorporação contribuir para o aumento do nível de complexidade dos processos de tomada de decisões e influenciar diversamente seus resultados, ela contribuirá para legitimar, em termos de benefícios sociais, tais decisões (BUCHY; HOVERMAN, 2000).

Nesse contexto, foi idealizado e conduzido este estudo. No capítulo 1, é apresentada a abordagem da questão social no desenvolvimento sustentável e sua utilização em modelos de planejamento florestal estratégico. Nos demais capítulos, essas abordagens são incorporadas em modelos de planejamento florestal estratégico, de forma a avaliar suas contribuições na geração de renda à comunidade e no desenvolvimento regional.

Referências

BINOTI, D. H. B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vistas ao manejo da paisagem**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

BUCHY, M.; HOVERMAN, S. Understanding public participation in forest planning: a review. **Forest Policy and Economics**, v. 1, n. 1, p. 15-25, 2000.

CASTRO, R. R. **Regulação de florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CAVALCANTE, R. B. L. **Planejamento de povoamentos de eucalipto com condicionantes hidrológicos: um estudo de caso em Eldorado do Sul/RS**. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. E. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4. ed. Long Grove: Waveland Press Inc., 2005. 804 p. (Reissued).

LEE, W-K; BIGING, G. S.; GADOW, K. V.; BYUN, W-H. A forest planning model for continuous employment in a forested village with primarily young stands in Korea. **New Forests**, v. 29, p. 15-32, 2005.

LEHTONEN, M. The environmental–social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions. **Ecological Economics**, v. 49, n. 2, p. 199-214, 2004.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, M. L. Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear: uma aplicação da teoria do modelo II. **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p. 193-213, 1998.

RODRIGUES, F. A. **Inclusão das dimensões social e ecológica em planos de manejo para florestas de rápido crescimento**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; SOUZA, A. L. Solução de problemas de planejamento florestal com restrições de inteireza utilizando busca tabu. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 701-713, 2003.

SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 677-688, 2003.

SILVA, G. F.; GHISOLFI, E. M.; TEIXEIRA, A. F.; CABRINI, A. M., BARROS JÚNIOR, A. A. O método das restrições na solução de um problema de planejamento florestal multiobjetivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, p. 41-48, 2006.

WHITE, L.; LEE, G. H. Operational research and sustainable development: tackling the social dimension. **European Journal of Operational Research**, v. 193, n. 3, p. 683-692, 2009.

OBJETIVOS

Geral

Avaliar a inclusão de critérios sociais na modelagem matemática do planejamento florestal, visando gerar renda para a comunidade e contribuir para o desenvolvimento regional.

Específicos

1. Contextualizar questões sociais em planejamento florestal estratégico, por meio de revisão de literatura.
2. Formular a restrição de estratificação espacial por município e avaliar sua eficiência em modelo de planejamento florestal estratégico.
3. Formular matematicamente uma alternativa que possibilite gerar renda para a comunidade do entorno dos projetos florestais.
4. Formular uma restrição visando antecipar a regulação da produção florestal.

CAPÍTULO 1: ABORDAGEM DA QUESTÃO SOCIAL NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A contribuição do setor florestal para a economia nacional é inquestionável. Isso pode ser evidenciado por meio de alguns indicadores macroeconômicos relativos à floresta plantada. Em 2010, o valor bruto da produção florestal (*VBPF*) foi de R\$ 51,8 bilhões, enquanto a arrecadação de tributos gerou R\$ 7,41 bilhões. No mesmo ano, o setor totalizou 2,1 milhões de empregos, sendo 640,4 mil diretos e 1,45 milhão indiretos (ABRAF, 2011).

Apesar dessa contribuição, os empreendimentos com base em floresta plantada ainda continuam sendo alvo de críticas em relação às suas ações socioambientais. Grande parte dessas críticas persiste pela mitificação gerada no início dos plantios florestais em larga escala. Contudo, avanços importantes foram feitos no sentido de solidificar o setor florestal. A certificação florestal possibilitou que empresas florestais conciliassem as questões socioambientais e, ao mesmo tempo, aumentassem a competitividade internacional de seus produtos.

A certificação florestal é regida por princípios e critérios extremamente rígidos (ABNT, 2001; FSC, 2012), com concessões na forma de selo (logomarca) usado para a etiquetagem das matérias-primas ou dos produtos que saem das unidades de manejo certificadas (MARTINELLI, 2006). Ela é um diferencial competitivo, resultando em ganhos para os produtos e processos certificados (SPATHELF et al., 2004; HOFF et al., 2008). Até o ano de 2008, 49 empresas florestais brasileiras, com base em floresta plantada, obtiveram a certificação florestal. Isso corresponde a uma área de 3.701.522 ha, incluindo os selos do FSC e do CERFLOR (ABNT, 2001; FSC, 2012).

Conforme relatado por Silva (2006), a certificação florestal não é uma solução mágica para os problemas socioambientais do setor florestal. A realidade é mais complexa, pois envolve, também, políticas públicas. Por isso, toda iniciativa que promova a responsabilidade socioambiental, constitui um aliado na busca por melhores condições de vida e de trabalho.

A incorporação de elementos dos padrões de certificação florestal em modelos de regulação da produção florestal pode contribuir para a sustentabilidade dos empreendimentos florestais. Porém, devido ao caráter qualitativo de alguns princípios e critérios desses padrões, ainda existe dificuldade para implementá-los nos modelos matemáticos. Nos resumos dos planos de manejo, as empresas têm destacado a inclusão de variáveis socioambientais no planejamento, porém de forma empírica. A inclusão destas variáveis nos modelos de planejamento florestal ainda representa grande desafio, pois torna esses modelos mais complexos e geralmente compromete o objetivo da empresa, que é maximizar o retorno econômico.

A importância da dimensão social no desenvolvimento sustentável aumentou durante a última década do século XX. No entanto, a avaliação dos impactos sociais e o cálculo de indicadores adequados à sua análise não se desenvolveram, comparado aos indicadores ambientais (LABUSCHAGNE; BRENT, 2006). Isso representa um desafio para incluir tais questões em modelos matemáticos de planejamento florestal.

Segundo Lehtonen (2004), a dimensão social é o pilar mais fraco da sustentabilidade, principalmente quando se trata das suas ferramentas analíticas e teóricas. Labuschagne e Brent (2006) acrescentaram ainda que a inclusão de aspectos sociais nos debates e nas práticas de sustentabilidade tem sido negligenciada, comparada com as dimensões ambiental e econômica. Para Silva (2006), as empresas devem minimizar os impactos negativos da sua atividade produtiva na vida das pessoas, gerar empregos e renda, e serem proativas em iniciativas de responsabilidade social que tragam benefícios para as comunidades. Segundo Bettinger *et al.* (2009), além de fornecer oportunidades de emprego para as comunidades locais, a atividade florestal também gera receitas para o Estado por meio dos impostos, o que contribui para o desenvolvimento local.

O planejamento florestal envolve a interação entre os sistemas ambiental, econômico e social (DAVIS *et al.*, 2005), além de envolver grupos de interesses conflitantes, dotando o problema de características de múltiplos critérios (WEBLER *et al.*, 2001; KANGAS *et al.*, 2010). Isso torna o planejamento florestal uma tarefa complexa pela quantidade de variáveis de

decisão envolvidas. A solução desses modelos é auxiliada com o uso de ferramentas de pesquisa operacional (*PO*).

O desenvolvimento e o uso da *PO* podem contribuir para o desenvolvimento sustentável (MIDGLEY; REYNOLDS, 2004; WHITE; LEE, 2009). A *PO* e o desenvolvimento sustentável têm *amplos limites* em termos de clientela, de variedades de abordagens metodológicas e de atenção aos valores múltiplos – muitas vezes conflitantes (MIDGLEY; REYNOLDS, 2004). Conforme esses autores, ambos necessitam de interdisciplinaridade e estão voltados para a execução e a concepção do planejamento estratégico.

A maior parte dos modelos de planejamento florestal objetiva o retorno econômico para a empresa florestal. Recentemente foram incluídas algumas abordagens ambientais (CASTRO, 2007; BINOTI, 2010; CAVALCANTE, 2011) e sociais (RODRIGUES, 2002; LEE et al., 2005; SILVA et al., 2006) nesses modelos.

Silva *et al.* (2006) utilizaram, em modelo multiobjetivo, a variável mão de obra, como forma de ganho social para a empresa. Os autores consideraram a mão de obra total disponível durante todo o período de planejamento (*MO*) e a mão de obra utilizada em cada unidade de manejo *i*,

sob a prescrição de manejo *j* (M_{ij}), tal que:
$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N M_{ij} X_{ij} \leq MO$$
, sendo X_{ij} a

fração de área (ha) da unidade de manejo *i* assinalada à prescrição de manejo *j*. Considerando-se que a empresa não tem excedente de mão de obra, pois representaria desperdício de capital, o ideal, então, seria distribuir a mão de obra nas unidades de manejo, de forma a racionalizar o seu uso e maximizar a receita da empresa e não apenas considerar um número máximo de *MO*.

A tomada de decisão deve envolver toda a complexidade e incerteza relacionada às dimensões ambiental e social, além de considerar interesses específicos das partes interessadas. Em grande parte, as informações fornecidas por esses grupos advêm de crenças, atitudes e percepções que são descritivas e subjetivas, exigindo métodos de avaliação que considerem tais imprecisões, incertezas e subjetividades dessas informações (KIJAZI; KENT, 2011). Em muitas situações, o número de objetivos é tanto maior

quanto maior for o número de pessoas ou grupos de interesse afetados pelo planejamento (KANGAS et al., 2005).

Incentivar o desenvolvimento regional é uma exigência dos padrões de certificação florestal. A utilização adequada da mão de obra local e alternativas que visam gerar rendas para as comunidades são mecanismos que possibilitam promover economicamente a região. Contudo, é fundamental incluir tais mecanismos em modelos de planejamento florestal visando tornar mais consistente a tomada de decisão. Para Bettinger *et al.* (2009), as atividades florestais têm forte impacto sobre a população e economia local. Os autores argumentam que o recurso humano envolvido nas atividades de manejo compreende desde as tarefas das operações diárias (tais como manutenção de registros, escrituração, manutenção e instalação), até os profissionais envolvidos no inventário florestal, na produção de mudas, na colheita de madeira, na construção e manutenção de estradas e no emprego de outros profissionais em diferentes setores da economia local.

Nos capítulos subsequentes, algumas abordagens são formuladas matematicamente e inseridas em modelos de regulação da produção florestal, visando promover ganhos sociais para a comunidade do entorno.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF**: ano base 2010. Brasília, 2011. 130 p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF11-BR.pdf>>. Acesso em: 21 março 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Manejo florestal**: princípios, critérios e indicadores para plantações florestais: NBR 14789. Rio de Janeiro, 2001. 9 p.

BETTINGER, P.; BOSTON, K.; SIRY, J. P.; GREBNER, D. L. **Forest management and planning**. New York: Elsevier, 2009. 331 p.

BINOTI, D. H. B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vistas ao manejo da paisagem**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CASTRO, R. R. **Regulação de florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CAVALCANTE, R. B. L. **Planejamento de povoamentos de eucalipto com condicionantes hidrológicos**: um estudo de caso em Eldorado do Sul/RS. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. E. **Forest management**: to sustain ecological, economic, and social values. 4. ed. Long Grove: Waveland Press Inc., 2005. 804 p. (Reissued).

FOREST STWARDSHIP COUNCIL. **Princípios e critérios**. 2012. Disponível em: <<http://www.fsc.org.br>>. Acesso em: 29 janeiro 2012.

HOFF, D. N.; BLUME, R.; PEDROZO, E. A. Construindo competitividade a partir da certificação florestal: um estudo na Ervateira Putingense, RS. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 17, p. 121-132, 2008.

KANGAS, J.; STORE, R.; KANGAS, A. Socioecological landscape planning approach and multicriteria acceptability analysis in multiple-purpose forest management. **Forest Policy and Economics**, v. 7, n. 4, p. 603-614, 2005.

KANGAS, A.; SAARINEN, N.; SAARIKOSKI, H.; LESKINEN, L. A.; HUJALA, T.; TIKKANEN, J. Stakeholder perspectives about proper participation for Regional Forest Programmes in Finland. **Forest Policy and Economics**, v. 12, n. 3, p. 213-222, 2010.

KIJAZI, M. H.; KANT, S. Social acceptability of alternative forest regimes in Mount Kilimanjaro, Tanzania, using stakeholder attitudes as metrics of uncertainty. **Forest Policy and Economics**, v. 13, n. 4, p. 242-257, 2011.

LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C. Social indicators for sustainable project and technology life cycle management in the process industry. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 1, p. 3-15, 2006.

LEE, W-K; BIGING, G. S.; GADOW, K. V.; BYUN, W-H. A forest planning model for continuous employment in a forested village with primarily young stands in Korea. **New Forests**, v. 29, p. 15-32, 2005.

LEHTONEN, M. The environmental–social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions. **Ecological Economics**, v. 49, n. 2, p. 199-214, 2004.

MARTINELLI, B. M. **Certificação do manejo florestal comunitário**: desafios na definição de indicadores para a avaliação local. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília-DF.

MIDGLEY, G.; REYNOLD, M. Systems/operational research and sustainable development: towards a new agenda. **Sustainable Development**, v. 12, n. 1, p. 56-64, 2004.

RODRIGUES, F. A. **Inclusão das dimensões social e ecológica em planos de manejo para florestas de rápido crescimento**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

SILVA, A. C. N. Benefícios sociais da certificação florestal. **Revista Opiniões**. 2006. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=366>>. Acesso em: 25 janeiro 2012.

SILVA, G. F.; GHISOLFI, E. M.; TEIXEIRA, A. F.; CABRINI, A. M., BARROS JÚNIOR, A. A. O método das restrições na solução de um problema de planejamento florestal multiobjetivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, p. 41-48, 2006.

SPATHELF, P.; MATTOS, P. P.; BOTOSSO, P. C. Certificação florestal no Brasil – uma ferramenta eficaz para a conservação das florestas naturais? **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 34, n. 3, p. 373-379, 2004.

WEBLER, T.; TULER, S.; KRUEGER, R. What is a good public participation process? Five perspectives from the public. **Environment Management**, v. 27, n. 3, p. 435-450, 2001.

WHITE, L.; LEE, G. H. Operational research and sustainable development: tackling the social dimension. **European Journal of Operational Research**, v. 193, n. 3, p. 683-692, 2009.

CAPÍTULO 2: ESTRATIFICAÇÃO ESPACIAL POR MUNICÍPIO NA OBTENÇÃO DA FLORESTA REGULADA

Resumo

Objetivou-se, neste estudo, obter a estrutura de floresta regulada utilizando a área com floresta plantada em cada município como critério de estratificação espacial. Essa abordagem foi comparada com o modelo usual de regulação da produção florestal. Ambas as formulações seguiram a abordagem clássica de programação linear (*PL*). Para avaliar a abordagem proposta, foram utilizados povoamentos de eucalipto com área de 2.191 ha, localizados em três municípios e com idade dos povoamentos florestais variando de 1 a 7 anos. O horizonte de planejamento foi de oito anos. A taxa líquida de desconto anual foi de 8,75%. Na estratificação espacial por município, é considerada a área de floresta plantada em cada município, ao passo que, na abordagem tradicional, é considerada a área total da floresta. O objetivo foi maximizar a receita líquida global da empresa. A solução ótima do modelo proposto de *PL* atendeu às restrições impostas (de área, de demanda e de regulação) e garantiu a colheita anual de madeira em todos os municípios. A estratificação por município, nas condições do presente estudo, não reduziu a receita líquida e garantiu o abastecimento anual de madeira da empresa. Promoveu também menor variação no volume de madeira produzido por ano em cada município. A estratificação por município pode ser utilizada como indicador de responsabilidade social das empresas, pois a menor variação de volume, ao longo dos anos, possibilita gerar receitas mais uniformes aos municípios, por meio de arrecadação de impostos. Além disso, promove a racionalização do uso da mão de obra e estabilidade de empregos.

Palavras-chave: Planejamento florestal; Responsabilidade social; Programação linear.

Abstract

The aim of this study was obtain the structure of forest regulated using the area with forest in each district as a criterion of spatial stratification. This approach was compared to classical forest regulation model. The models were formulated considering the classical approach of linear programming (*LP*). To evaluate the proposed approach was used a stand of eucalyptus with area of 2,191 ha, located in three districts and with the age of the forest stands ranging from 1 to 7 years. The horizon planning was eight years and the net annual discount rate was 8.75%. The spatial stratification by district, considers the area of planted forest in each district, while the traditional approach considers the total area of the forest. The goal was to maximize the company's global revenues. The optimal solution of the model *LP* attended the constraints (area, demand and regulation constraints) and guaranteed annual harvest of wood in all districts. The stratification by district, under the conditions of the present study, did not reduce the net of the company and guaranteed annual timber supply wood. Furthermore, it promoted less variation in volume of wood produced per year in each district. The stratification by district may be used as an indicator of corporate social responsibility, because the smallest change in volume, over the years, provides more uniform revenue to districts through tax collection, as well as promoting the rational use of manpower and employment stability.

Keywords: Forest planning; Social responsibility; Linear programming.

2.1 Introdução

A regulação da produção florestal contribui na busca pela sustentabilidade (LEUSCHNER, 1990; DAVIS et al., 2005) e resulta em manutenção de um fluxo anual constante de madeira e de mão de obra. Nos modelos de planejamento florestal, a regulação da produção é imposta como

restrição. Essa restrição garante que, ao final do período de planejamento, a estrutura atual das classes de idades do povoamento florestal seja convertida em uma estrutura de idades organizadas sequencialmente no tempo, variando de 01 até a idade de rotação regulatória (RODRIGUES, 1997; DAVIS et al., 2005). Na formulação dessa restrição, a área total da floresta é dividida pelo número de classes de idade, implicando equiproductividade dos talhões.

A maioria das empresas florestais brasileiras tem atividades em diversos municípios. Por isso, a restrição de regulação usual não garante a realização de atividades de colheitas anualmente em todos os municípios envolvidos no empreendimento, uma vez que se considera, indistintamente, a área total florestada. Isso poderá gerar implicações sociais, pois a ausência de atividades anuais em alguns municípios impede a geração de receitas por meio de arrecadação de impostos advindos da atividade florestal. Dessa forma, é proposto, neste estudo, modificar a restrição de regulação usual. Em vez de se considerar a área total da floresta, propõe-se considerar a área de floresta em cada município, ou seja, é realizada a estratificação espacial por município. Apesar de ser uma formulação simples, ela tem um cunho prático importante, pois assegura a realização de atividades anuais de colheita em todos os municípios de atuação da empresa. Isso permite aos municípios obterem receitas regulares por meio de arrecadação de impostos.

Técnicas de pesquisa operacional (*PO*) têm sido utilizadas na solução de problemas no planejamento florestal, como a programação linear (RODRIGUEZ; LIMA, 1985; BERGER et al., 2003; SILVA et al., 2003) ou meta-heurísticas; os algoritmos genéticos (FALCÃO; BORGES, 2003; RODRIGUES et al., 2004a; SILVA et al., 2009; GOMIDE et al., 2009; BINOTI, 2010); a busca tabu (FALCÃO; BORGES, 2003; RODRIGUES et al., 2003) e o *simulating annealing* (FALCÃO; BORGES, 2003; RODRIGUES et al., 2004b). O uso das ferramentas de *PO* ou de heurísticas pode auxiliar os gestores, fundamentando teoricamente a tomada de decisão e contrapondo-a ao empirismo.

O objetivo do trabalho foi avaliar a estratificação espacial por município, com a finalidade de garantir colheitas anuais em todos os

municípios envolvidos no empreendimento florestal e, assim, promover arrecadação constante de impostos, devido às atividades florestais. As hipóteses formuladas foram:

H_{01} : a estratificação espacial por município promove impactos negativos na receita líquida da empresa florestal.

H_{02} : a solução ótima gerada pela estratificação influencia no abastecimento anual de madeira da empresa florestal.

2.2 Material e métodos

A restrição de regulação da produção florestal usualmente utilizada nos modelos de planejamento florestal é assim definida:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = \frac{S}{NC} \quad k = \{1, 2, \dots, NC\}$$

Nesse caso, X_{ijk} representa a área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , cujas árvores terão k períodos (anos) de idade ao final do horizonte de planejamento (HP). A área total de floresta (S) do empreendimento é dividida pelo número de classes de idades (NC) para a floresta regulada e haverá um total de NC restrições de regulação de produção florestal, sendo uma para cada classe de idade ao final do HP . A restrição é formulada considerando o número total de unidades (talhões) de manejo (M) e o número total de alternativas de manejo (N).

Como a restrição de regulação usual considera apenas a área total de floresta, pode ocorrer que, em determinado ano do HP , não haja colheita em determinado município. Na abordagem proposta, é realizada, então, a estratificação espacial considerando a área de floresta em cada município envolvido no empreendimento. Essa abordagem tem por finalidade garantir colheitas anuais de madeira em cada município e, conseqüentemente, contribuir na obtenção de receitas por meio de arrecadação de impostos. Matematicamente, a restrição é formulada da seguinte forma:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijpk} = \frac{S_p}{NC} \quad p = \{1, 2, \dots, P\} \text{ e } k = \{1, 2, \dots, NC\}$$

X_{ijpk} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , em cada município p , cujas árvores terão k períodos (anos) de idade ao final do horizonte de planejamento;

S_p – área de floresta em cada município envolvido no empreendimento;

P – número total de municípios envolvidos no empreendimento.

Conseqüentemente, o número de restrições de regulação, nesse caso, é dado por $NC \times P$.

Para avaliar a inclusão da restrição proposta, foram considerados povoamentos de eucalipto com 2.191 ha, localizados em três municípios. As idades das árvores variaram de 1 a 7 anos (Tabela 1).

Tabela 1 – Estrutura dos povoamentos de eucalipto utilizados no estudo de caso, considerando a idade atual e a área com floresta em cada município

Idade atual (anos)	Área do povoamento (ha)		
	Município A	Município B	Município C
1	73	90	140
2	56	100	120
3	70	80	160
4	77	120	200
5	79	100	100
6	62	80	150
7	73	116	145
Total	490	686	1015

Os custos de implantação e de manutenção (Tabela 2) foram os mesmo utilizados por Binoti (2010). A estrutura final da floresta foi considerada no cálculo do valor presente líquido (VPL). O preço de madeira da classe comercial (com idades igual ou superior a cinco anos) foi de 80,00 R\$/m³ enquanto a madeira não comercial (com idades inferiores a cinco anos) de 40 R\$/m³.

O custo médio de colheita foi de 12,94 R\$/m³.

Tabela 2 – Custos de implantação e manutenção utilizados na avaliação econômica do povoamento de eucalipto do estudo de caso

Ano	Custo (R\$/ha)
0	4.042,85
1	1.617,79
2	759,58
3	80,12
4	80,12
5	80,12
6	80,12

Fonte: Binoti (2010).

Ajustou-se o modelo logístico com dados de parcelas de inventário florestal contínuo, em povoamento de eucalipto e medições feitas nas idades de 2 a 7 anos. O espaçamento inicial foi de 3,0 x 3,0 m. Foram consideradas unidades de manejo equiprodutivas e a equação de produção utilizada para estimar o estoque de colheita e de crescimento foi:

$$Volume (m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{296,4599}{(1 + 19,1454e^{-0,7648 * Idade(anos)})}$$

Modelo de planejamento florestal

Abordagem 1

A estratificação espacial por município foi então incluída em um modelo de planejamento florestal, formulado com base no *modelo 1* de programação linear (PL) definido por:

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^P C_{ijp} X_{ijp}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^N X_{ijp} = A_{ip} \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \text{ e } p = \{1, 2, \dots, P\} \quad \text{estrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijph} X_{ijp} = V_{ph} \quad h = \{0, 1, \dots, H-1\} \text{ Restrição de produção por município}$$

$$V_h = \sum_{p=1}^P V_{ph}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijpk} = \frac{S_p}{NC} \quad k = \{1, 2, \dots, NC\} \quad \text{Restrição de estratificação}$$

espacial por município

$$X_{ijp} \geq 0$$

em que:

C_{ijp} – valor presente líquido (VPL), por hectare, da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , em cada município p ;

M – número total de unidades (talhões) de manejo;

N – número total de prescrições de manejo;

X_{ijp} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , no município p ;

A_{ip} – área total da unidade de manejo i , em cada município p ;

V_{ijph} – volume (m^3ha^{-1}) produzido na unidade de manejo i , sob a prescrição j , em cada município p , no período h do horizonte de planejamento;

V_{ph} – volume total (m^3ha^{-1}) produzido em cada município p , no período h do horizonte de planejamento;

V_h – volume total (m^3ha^{-1}) produzido no período h do horizonte de planejamento;

H – horizonte de planejamento;

D – demanda de madeira estipulada;

X_{ijpk} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , em cada município p , cujas árvores terão k períodos (anos) de idade ao final do horizonte de planejamento;

S_p – área de floresta em cada município envolvido no empreendimento;

P – número total de municípios envolvidos no empreendimento.

No conjunto de restrições de área, há garantia de gestão de toda a área da unidade de manejo i , submetida à prescrição de manejo j .

O conjunto de restrições de produção refere-se à produção anual de madeira. O volume total de madeira colhido em cada ano do horizonte de planejamento (V_h) corresponde aos volumes colhidos em cada município

nesse mesmo ano. Essa restrição não estabelece um limite de volume de madeira colhido anualmente. Por isso, ela foi associada à demanda (D) anual de madeira da empresa, estipulada em 100.000 m³. Para permitir flexibilidade nesse conjunto de restrições, foi estabelecida uma flutuação na produção anual. Essa flutuação foi incorporada na restrição considerando valores mínimos (α) e máximos (β) de 20%.

As restrições de estratificação espacial por município impõem que sejam colhidas unidades de manejo anualmente em cada município envolvido no empreendimento e, após o período de transição, obtenha-se uma floresta regulada. Foi adotada a idade de rotação regulatória de cinco anos e o intervalo de corte de um ano.

Abordagem 2

Nessa abordagem, foi avaliado o efeito da restrição da produção por município. Assim, em relação à abordagem 1, foi incluída a restrição de regulação usual em substituição à restrição de estratificação espacial por município. As demais restrições foram mantidas.

A restrição de regulação da produção usual é definida por:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = \frac{S}{NC} \quad k = \{1, 2, \dots, NC\}$$

Essa restrição impõe a regulação da floresta considerando a área total de floresta. A idade regulatória foi de cinco anos e o intervalo de corte de um ano.

As restrições de área e de produção anual de madeira foram as mesmas utilizadas na abordagem 1. Também foram mantidos os limites mínimos (α) e máximos (β) da produção desejada e a demanda anual estipulada.

Abordagem 3

A comparação das duas abordagens anteriores foi feita com base no modelo de regulação da produção usual definido por:

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

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = A_i \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \quad \text{Restrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijh} X_{ij} = V_h \quad h = \{0, 1, \dots, H-1\} \quad \text{Restrição de produção}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = \frac{S}{NC} \quad k = \{1, 2, \dots, NC\} \quad \text{Restrição de regulação usual}$$

$$X_{ij} \geq 0$$

Em que:

C_{ij} – valor presente líquido (VPL), por hectare, da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j ;

X_{ij} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j ;

A_i – área total da unidade de manejo i ;

V_{ijh} – volume (m^3ha^{-1}) produzido na unidade de manejo i , sob a prescrição j , no período h do horizonte de planejamento;

V_h – volume total (m^3ha^{-1}) produzido no período h do horizonte de planejamento;

D – demanda de madeira estipulada;

H – horizonte de planejamento;

X_{ijk} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , cujas árvores terão k períodos (anos) de idade ao final do horizonte de planejamento;

S – área total de floresta;

NC – número de classes de idades para a floresta regulada.

O objetivo foi maximizar a receita líquida global da empresa utilizando como critério econômico o valor presente líquido (*VPL*) representado pelo coeficiente *C* da função-objetivo. O cálculo do *VPL* é dado por:

$$VPL = \sum_{t=0}^n (R_t - C_t) \times (1 - \theta)^{-t}$$

C_t = custo final no ano t (R\$);

R_t = receita no final no ano t (R\$);

θ = taxa líquida de desconto anual (%);

n = número de período de tempo.

Foi considerado o horizonte de planejamento de oito anos, a taxa líquida de desconto anual de 8,75% e as ações realizadas no início de cada ano. Também foi considerada idade mínima de colheita de cinco e máxima de sete anos em um sistema de alto fuste.

2.3 Resultados e discussão

A formulação do problema resultou em 81 variáveis de decisão (prescrições de manejo), considerando-se apenas o regime de alto fuste (Apêndice A). A solução ótima do modelo de planejamento florestal foi obtida por meio do aplicativo LINDO (*Linear, Interactive, and Discrete Optimizer*), versão 6.1 demonstrativa, 2002.

A receita líquida global da empresa foi de R\$ 29,6 milhões, considerando as três abordagens. Essa equivalência na solução ótima indica que a estratificação espacial por município, nas condições do presente estudo, não acarreta prejuízos financeiros para a empresa. Todavia, não se pode assegurar que, para problemas de regulação florestal com maior complexidade (inclusão de outras variáveis) e englobando um número maior de municípios, não haja redução no valor da função objetivo.

A estratificação por município (abordagem 1) resultou em maior divisibilidade das unidades de manejo (Tabela 3), em relação às demais abordagens. Foram indicadas 35 variáveis de decisão, ao passo que, nas abordagens 2 e 3, foram indicadas 27 variáveis de decisão não nulas.

Essa fragmentação das unidades de manejo é esperada em modelos de planejamento florestal utilizando programação linear (*PL*). Embora seja indesejável do ponto de vista operacional, a *PL* foi utilizada por ser um método rápido e simples para obter soluções ótimas. Destaca-se ainda que, no presente estudo, o objetivo foi testar a viabilidade da estratificação espacial por município em modelos de regulação da produção florestal. O arredondamento dessas soluções pode ser uma alternativa para contornar esse problema; no entanto, isso pode ocasionar solução inviável (SILVA et al., 2003; GOLDBARG; LUNA, 2005). Nesse caso, é recomendável o uso de programação inteira ou de algumas heurísticas para se evitar o retalhamento (RODRIGUES et al., 2003; RODRIGUES et al., 2004a; RODRIGUES et al., 2004b; SILVA et al., 2009).

Embora a receita líquida global tenha sido a mesma nas três abordagens avaliadas, as opções de manejo foram diferenciadas (Tabela 3), indicando que cada abordagem representa diferentes momentos para que sejam realizadas as atividades de colheita e de plantio nas unidades de manejo. Isto é, existem diferenças marcantes na forma de manejo da floresta, com a inclusão da estratificação espacial por município.

Por exemplo, para a unidade de manejo 2, localizada no município 1 e com idade das árvores no início do planejamento de dois anos, a prescrição de manejo X_{221} indica o primeiro corte no quarto ano do *HP*. Isso representa colher as árvores com seis anos, momento em que se realiza o novo plantio. Na prescrição X_{231} , a opção de colheita seria, então, aos sete anos (idade máxima de colheita), sendo, portanto, outra forma de condução para tal unidade. Na Tabela 3, observa-se que, ao realizar a estratificação por município (abordagem 1), a solução ótima do modelo de regulação florestal indicou a colheita de 49,0 ha aos seis e 7,0 ha aos sete anos. Ao passo que, para as outras duas abordagens, a solução ótima indicou fazer a colheita em uma mesma ocasião do *HP*, que seria, então, colher os 56,0 ha aos seis anos.

O volume produzido em cada ano do horizonte de planejamento foi igual nas três abordagens (Figura 1) e atendeu à demanda anual de madeira de 100.000 m³, levando em conta a variação de $\pm 20\%$. Isso demonstra que

a estratificação espacial por município não compromete a demanda da empresa florestal.

A estratificação espacial por município resultou em menor variação do volume de madeira colhido anualmente em cada município (Tabela 4), o que representa enorme contribuição dessa nova abordagem. Em contrapartida, a restrição de regulação usual, além de não garantir colheitas anuais em cada município, promove, também, maior variação no volume de madeira colhido anualmente. Por exemplo, para o município 1, a variação no volume colhido foi de 6 a 40 mil m³ (Tabela 4), ao considerar a regulação da produção usual.

A menor variação do volume de madeira colhido implica que a receita municipal, advinda das atividades florestais por meio da arrecadação de impostos, será melhor distribuída anualmente.

Para a empresa, essa menor variação da produção pode indicar maior controle sobre os recursos utilizados no processo produtivo, como o uso de insumos e mão de obra e, assim, pode-se geri-los de forma sustentável e mais eficientemente.

Tabela 3 – Solução ótima obtida para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a estratificação espacial por município (abordagem 1), a produção volumétrica anual por município (abordagem 2) e a regulação da produção usual (abordagem 3)

Abordagem 1		Abordagem 2		Abordagem 3	
Variáveis de decisão	Área (ha)	Variáveis de decisão	Área (ha)	Variáveis de decisão	Área (ha)
X ₁₂₁	73,0	X ₁₂₁	73,0	X ₁₂₁	73,0
X ₂₂₁	49,0	X ₂₂₁	56,0	X ₂₂₁	56,0
X ₂₃₁	7,0	X ₂₃₁		X ₂₃₁	
X ₃₂₁	21,0	X ₃₂₁		X ₃₂₁	
X ₃₃₁	49,0	X ₃₃₁	70,0	X ₃₃₁	70,0
X ₄₃₁		X ₄₃₁	19,5	X ₄₃₁	19,5
X ₄₄₁	77,0	X ₄₄₁	57,5	X ₄₄₁	57,5
X ₅₅₁		X ₅₅₁	2,5	X ₅₅₁	
X ₅₆₁	79,0	X ₅₆₁	76,5	X ₅₆₁	79,0
X ₆₄₁	43,0	X ₆₄₁	62,0	X ₆₄₁	
X ₆₅₁	19,0	X ₆₅₁		X ₆₅₁	62,0
X ₇₁₁	18,0	X ₇₁₁		X ₇₁₁	48,1
X ₇₂₁	55,0	X ₇₂₁	73,0	X ₇₂₁	24,9
X ₈₂₂	90,0	X ₈₂₂	90,0	X ₈₂₂	90,0
X ₉₂₂	82,9	X ₉₂₂	12,9	X ₉₂₂	12,9
X ₉₃₂	17,1	X ₉₃₂	87,1	X ₉₃₂	87,1
X ₁₀₂₂	25,7	X ₁₀₂₂	60,7	X ₁₀₂₂	
X ₁₀₃₂	54,3	X ₁₀₃₂	19,3	X ₁₀₃₂	80,0
X ₁₁₃₂	8,5	X ₁₁₃₂		X ₁₁₃₂	
X ₁₁₄₂	111,5	X ₁₁₄₂	120,0	X ₁₁₄₂	120,0
X ₁₂₄₂	2,5	X ₁₂₄₂		X ₁₂₄₂	2,5
X ₁₂₆₂	97,5	X ₁₂₆₂	100,0	X ₁₂₆₂	97,5
X ₁₃₄₂	48,8	X ₁₃₄₂		X ₁₃₄₂	
X ₁₃₅₂	31,2	X ₁₃₅₂	80,0	X ₁₃₅₂	80,0
X ₁₄₁₂	30,1	X ₁₄₁₂	48,1	X ₁₄₁₂	
X ₁₄₂₂	85,9	X ₁₄₂₂	67,9	X ₁₄₂₂	116,0
X ₁₅₂₃	140,0	X ₁₅₂₃	140,0	X ₁₅₂₃	140,0
X ₁₆₂₃	57,0	X ₁₆₂₃	120,0	X ₁₆₂₃	120,0
X ₁₆₃₃	63,0	X ₁₆₃₃		X ₁₆₃₃	
X ₁₇₂₃	14,0	X ₁₇₂₃		X ₁₇₂₃	60,7
X ₁₇₃₃	146,0	X ₁₇₃₃	160,0	X ₁₇₃₃	99,3
X ₁₈₃₃	11,0	X ₁₈₃₃		X ₁₈₃₃	
X ₁₈₄₃	189,0	X ₁₈₄₃	200,0	X ₁₈₄₃	200,0
X ₁₉₆₃	100,0	X ₁₉₆₃	100,0	X ₁₉₆₃	100,0
X ₂₀₄₃	58,0	X ₂₀₄₃	90,3	X ₂₀₄₃	149,8
X ₂₀₅₃	92,0	X ₂₀₅₃	59,7	X ₂₀₅₃	0,2
X ₂₁₂₃	145,0	X ₂₁₂₃	145,0	X ₂₁₂₃	145,0
Total	2.191,0		2.191,0		2.191,0
X _{ij} > 0	35		27		27

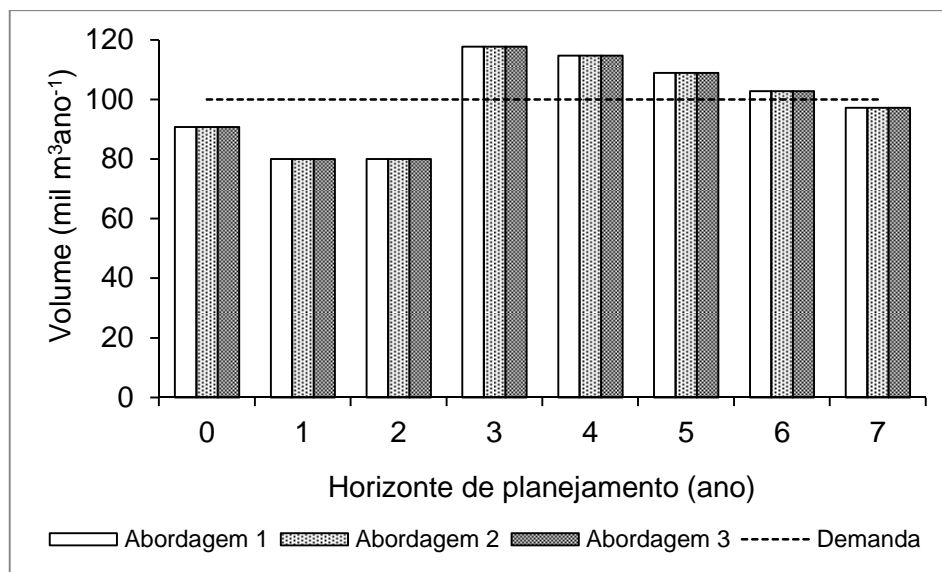


Figura 1 – Variação de madeira colhida anualmente para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a estratificação espacial por município (abordagem 1), a produção volumétrica anual por município (abordagem 2) e a regulação da produção usual (abordagem 3).

Um inconveniente que poderá surgir, a partir dessa restrição, refere-se ao atendimento de madeira anual da empresa, pois, em condição real, existem municípios com pequenas áreas de floresta plantada. Dessa forma, visando garantir que essa demanda seja apropriadamente atendida, é recomendável fazer um agrupamento dos municípios com pequenas áreas plantadas e que estejam próximos geograficamente, agrupando-os por região.

Tabela 4 – Volume de madeira (m^3ano^{-1}) colhido anualmente, em cada município, para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a estratificação espacial por município (abordagem 1), a produção volumétrica anual por município (abordagem 2) e a regulação da produção usual (abordagem 3)

Horizonte de planejamento (anos)	Município 1	Município 2	Município 3	Total
Estratificação espacial por município				
0	19.844	31.533	39.417	90.795
1	16.854	22.370	40.776	80.000
2	21.475	28.611	29.914	80.000
3	26.143	36.688	54.852	117.684
4	25.480	35.334	53.834	114.649
5	23.782	33.276	51.870	108.928
6	22.639	32.042	48.110	102.790
7	21.230	29.903	46.036	97.169
Produção volumétrica anual por município				
0	19.844	31.533	39.417	90.795
1	17.477	21.747	40.776	80.000
2	25.632	27.184	27.184	80.000
3	15.631	47.684	54.368	117.684
4	32.926	8.448	73.275	114.649
5	18.116	56.068	34.744	108.928
6	31.078	16.851	54.861	102.790
7	20.689	40.759	35.721	97.169
Regulação da produção usual				
0	19.844	31.533	39.417	90.795
1	16.854	22.370	40.776	80.000
2	26.314	26.502	27.184	80.000
3	15.631	32.621	69.431	117.684
4	32.926	24.948	56.775	114.649
5	28.171	46.013	34.744	108.928
6	6.180	29.312	67.298	102.790
7	35.977	40.234	20.957	97.169

Conclusões

1. A restrição que considera a estratificação espacial por município aumenta as restrições do modelo de regulação da produção florestal e resulta na seleção de maior número de variáveis de decisão não nulas.

2. A estratificação espacial por município, nas condições do presente estudo, não reduz a receita líquida da empresa e nem influencia o atendimento da demanda de madeira da empresa.
3. A estratificação espacial por município pode resultar em menor variação no volume de madeira produzido anualmente em cada município.

Referências

BERGER, R.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R.; CARNIERI, C.; LACOWICZ, P. G.; SAWINSKI JUNIOR, J; BRASIL, A. A. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 33, n. 1, p. 53-62, 2003.

BINOTI, D. H. B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vistas ao manejo da paisagem**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. E. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4. ed. Long Grove: Waveland Press Inc., 2005. 804 p. (Reissued).

FALCÃO, A. O.; BORGES, J. G. Heurísticas para a integração de níveis estratégico e operacional da gestão florestal em problemas de grande dimensão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 63, p. 94-102, 2003.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro-RJ: Elsevier, 2005. 518 p.

GOMIDE, L. R.; ARCE, J. E.; SILVA, A. C. L. Uso do algoritmo genético no planejamento florestal considerando seus operadores de seleção. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 4, p. 460-467, 2009.

LEUSCHNER, W. A. **Introduction to forest resource management**. New York: John Wiley and Sons, 1984. 284 p.

MELLO, A. A.; CARNIERI, C.; ARCE, J. E.; SANQUETTA, C. R. Planejamento florestal visando à maximização dos lucros e a manutenção do estoque de carbono. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 205-217, 2005.

PEREIRA, G. W. **Aplicação da técnica de recozimento simulado em problemas de planejamento florestal multiobjetivo**. 2004. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; SOUZA, A. L. Solução de problemas de planejamento florestal com restrições de inteireza utilizando busca tabu. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 701-713, 2003.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; SOUZA, A. L.; SILVA, G. F. Metaheurística algoritmo genético para solução de problemas de planejamento florestal com restrições de integridade. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 233-245, 2004a.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S. Metaheurística *simulated annealing* para solução de problemas de planejamento florestal com restrições de integridade. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 247-256, 2004b.

RODRIGUEZ, L. C. E.; LIMA, A. B. H. P. M. A utilização da programação linear na determinação de uma estratégia ótima de reforma de um talhão florestal. **IPEF**, Piracicaba-SP, n. 31, p. 47-53, 1985.

SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 677-688, 2003.

SILVA, G. F.; PIASSI, L. C.; MÔRA, R.; MARTINS, L. T.; TEIXEIRA, A. F.; BARROS JUNIOR, A. A. Avaliação da metaheurística algoritmo genético na solução de modelos de planejamento florestal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE, v. 4, n. 2, p. 160-166, 2009.

CAPÍTULO 3: REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO FLORESTAL COM A INCLUSÃO DE CRITÉRIOS SOCIAIS

Resumo

O objetivo do presente estudo foi formular e avaliar matematicamente, em modelo de regulação florestal, restrições que possibilitem gerar renda para a comunidade e contribuam para o desenvolvimento regional dos municípios envolvidos no empreendimento florestal. Propôs-se uma abordagem em que a empresa florestal viabilizaria para a comunidade árvores de dimensões reduzidas (inferiores a 11,0 cm de diâmetro), no momento da colheita florestal. Para a empresa, tal iniciativa contribuiria para a redução de custo de colheita. Também, inseriu-se no modelo a restrição de estratificação espacial por município com o propósito de permitir colheitas anuais em cada município. As abordagens propostas foram comparadas com o modelo usual de regulação da produção. Os modelos foram formulados e aplicados a povoamentos de eucalipto com área plantio de 2.191 ha, localizados em três municípios, visando à maximização da receita líquida global da empresa. A doação de madeira de menor dimensão resultou em menor custo de colheita e, por isso, aumentou a renda líquida global da empresa florestal. Para a comunidade, essa alternativa gerou uma renda significativa; considerando o uso da madeira doada para produção de carvão vegetal, nas condições do presente estudo, 10 famílias poderiam ser assistidas a cada ano, atribuindo uma renda mensal de três salários mínimos por família. A estratificação espacial por município não representou redução na receita líquida global da empresa, tampouco afetou a renda familiar, indicando que esta restrição poderá ser utilizada no modelo garantindo colheitas anuais em cada município. Conclui-se que a doação de madeira de menor diâmetro promove receita significativa à comunidade e pode ser utilizada sem comprometer a receita líquida e a demanda volumétrica da empresa. Essa alternativa pode ser utilizada para gerar renda para a comunidade do entorno, contribuindo para o desenvolvimento regional. A implementação do modelo, porém, depende de uma série de ações que não foram objeto deste estudo.

Palavras-chave: Planejamento florestal, Restrições sociais; Responsabilidade social; Programação linear.

Abstract

The aim of this study was to formulate and evaluate mathematically, in a forest regulation model, social constraints that make it possible to generate income to the community and contribute to the regional development of the districts involved in the forestry enterprise. It was suggested an approach that would allow the company to donate small size trees (less than 11.0 cm diameter) to the community forest, at the time of harvesting. To the company, this initiative would contribute to reduce the cost of harvesting. Furthermore, it was inserted in the model the constraint of spatial stratification by district in order to allow annual harvests in each district. The proposed approaches were compared to the usual regulation model. The models were formulated and applied to eucalyptus stand with planting area of 2,191 ha, located in three districts, in order to maximize the company's global revenues. The spatial stratification by district along with the donation of smaller wood resulted in lower cost of harvest and increased net income. Therefore it is beneficial to the company. For the community, this alternative could result in a significant source of income. Considering the use of wood for charcoal production, it is possible, under the conditions of this study, attend approximately 10 families per year, taking into account a monthly income of three minimum wages per family. It is concluded that the donation of smaller diameter wood promotes significant revenue to the community and can be used without compromising the demand volume and net revenue of the company. This alternative can be used to generate income to the surrounding community, contributing to regional development. However, the implementation of the model depends on a series of actions that were not subject of this study.

Keywords: Forest planning; Social constraint, Social responsibility, Linear programming.

3.1 Introdução

O planejamento florestal estratégico envolve a interação de sistemas ambiental, econômico e social (DAVIS et al., 2005). Na literatura, são encontrados modelos de planejamento florestal priorizando questões econômicas (SILVA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2004a,b; MELLO et al., 2005; GOMIDE et al., 2009, entre outros) ambientais (CASTRO, 2007; BINOTE, 2010; CAVALCANTE, 2011) e, de modo incipiente, sociais (RODRIGUES, 2002; SILVA et al., 2006). Silva *et al.* (2006) incluíram em seu estudo a variável mão de obra como parte de um modelo de planejamento, cujo objetivo foi maximizar o uso de mão de obra e promover ganho social para a empresa.

O fomento florestal pode ser indicado com uma medida que concilia os interesses da empresa florestal com a geração de renda para o produtor. Gomes *et al.* (2006) analisaram diversos projetos sociais desenvolvidos por empresas certificadas, e concluíram que o fomento florestal foi eficiente, por estar alinhado com a maximização da receita das empresas e por gerar renda aos produtores envolvidos. Oliveira *et al.* (2006) destacaram que as receitas obtidas no fomento florestal realizado no estado do Espírito Santo foram importantes na composição da renda familiar dos produtores.

No geral, as empresas adotam medidas sociais de caráter assistencialista. Embora sejam importantes, elas não são incluídas como variáveis sociais nos modelos matemáticos do planejamento florestal. É fundamental, então, que sejam desenvolvidas abordagens que contemplem também benefícios para a comunidade do entorno, possibilitando gerar renda para essa comunidade, contribuindo, assim, para o desenvolvimento regional.

A importância da dimensão social para o desenvolvimento sustentável aumentou na última década do século XX. Contudo, incluir a dimensão social em modelos de planejamento florestal ainda representa um desafio. Bettinger *et al.* (2009) afirmaram que as atividades florestais têm papel importante sobre a população e economia local. Além de fornecer

oportunidades de emprego para a comunidade, também gera receitas para o estado e municípios por meio dos impostos gerados.

A redução de custos é um dos objetivos que as empresas buscam alcançar em suas atividades. Geralmente, as empresas implantam programas de redução de custos em situações de crise financeira, por meio de demissão de mão de obra. Dessa forma, alternativas que visam reduzir o custo da empresa, sem reduzir o quadro pessoal, podem representar uma vantagem competitiva.

Envolver a comunidade na tomada de decisão se faz necessário para aumentar a legitimidade da decisão. Assim, no presente estudo, é proposto o estreitamento da parceria empresa-comunidade. A empresa, por ocasião da colheita, doaria árvores de pequenas dimensões. Essa medida representaria, para a empresa, redução do custo de colheita, pois a colheita de árvores de pequeno diâmetro, com volume individual pequeno, implica elevado custo de colheita. Esse custo tende a diminuir exponencialmente com o aumento do diâmetro a 1,3 m (*dap*), estabilizando-se nos maiores *dap* (TARNOWSKI et al., 2009) ou em função da produtividade da árvore por classe de diâmetro (JIROUŠEK et al., 2005). Também, essa medida representa uma forma de geração de renda para a comunidade.

Com base no exposto, objetivou-se inserir, em um modelo de planejamento florestal, alternativa que gere renda para a comunidade do entorno e que contribua com o desenvolvimento regional. As hipóteses avaliadas foram:

H₀₁: a inclusão de critério social no modelo de planejamento florestal reduz de forma significativa a receita líquida global da empresa.

H₀₂: Tal abordagem utilizada compromete significativamente o atendimento anual de madeira e o conjunto de soluções viáveis do modelo.

3.2 Material e métodos

O critério social avaliado, no presente estudo, consiste em uma alternativa que visa gerar renda para a comunidade. Nesse caso, a empresa

se comprometeria a doar para a comunidade árvores de pequeno porte. Com base no volume de madeira doado, foi, então, elaborada uma restrição de renda familiar e tal restrição foi incluída no modelo de planejamento florestal.

Para avaliar a viabilidade da restrição proposta, foi elaborado um estudo de caso, considerando povoamentos de eucalipto com 2.191 ha, localizados em três municípios. As idades das árvores variaram de 1 a 7 anos (Tabela 1).

A produção total anual foi estimada a partir do modelo

$$Volume (m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{296,4599}{(1 + 19,1454e^{-0,7648 * Idade(anos)})}$$

ajustado com dados de inventário florestal contínuo e conduzido em povoamento de eucalipto nas idades de 2 a 7 anos. Considerou-se, portanto, que os povoamentos são equiprodutivos.

Tabela 1 – Estrutura dos povoamentos de eucalipto utilizados no estudo de caso, considerando a idade atual e a área com floresta em cada município

Idade atual (anos)	Área do povoamento (ha)		
	Município A	Município B	Município C
1	73	90	140
2	56	100	120
3	70	80	160
4	77	120	200
5	79	100	100
6	62	80	150
7	73	116	145
Total	490	686	1.015

O critério adotado visando gerar renda para a comunidade consistiu na doação de árvores de pequeno porte. No presente estudo, foram consideradas árvores com *dap* inferior a 11,0 cm, pelo fato de, na maioria das vezes, não resultarem em uma tora de 6,0 m de comprimento, para fins de celulose, cujo diâmetro mínimo da árvore sem casca deve ser de 6,0 cm.

A influência dessa medida na receita líquida global da empresa está diretamente associada ao custo de colheita. Para estimar tal custo,

inicialmente, foi necessário obter a distribuição diamétrica para cada idade de corte: cinco, seis e sete anos (Tabela 2). Essa distribuição foi obtida com dados de inventário pré-corte, para povoamento de eucalipto.

Tabela 2 – Frequência de árvores por hectare, em função da classe de diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*), aos 5, 6 e 7 anos, para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso

Centro de classe de <i>dap</i> (cm)	Idade (anos)		
	5	6	7
5	2	2	2
6	10	7	6
7	16	12	9
8	17	17	13
9	31	22	17
10	33	29	23
11	33	29	26
12	44	34	30
13	63	47	33
14	103	75	43
15	136	109	70
16	139	128	103
17	114	127	118
18	105	107	124
19	69	85	112
20	50	67	97
21	16	45	72
22	9	26	47
23	5	16	27
24	1	8	15
25	0	4	7
26	0	2	3

A partir da distribuição diamétrica e com as equações de altura total (*Ht*) $LnHt = 3,73514 - 11,68387dap^{-1}$ e de volume individual (*V*) $V = 0,0000473dap^{1,70448}Ht^{1,16873}$, calculou-se a produção em cada classe de diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*).

A estimativa de volume total em cada ano não correspondeu ao volume obtido com o modelo logístico. Por isso, realizou-se a correção de volume em cada classe de *dap* (Tabela 3) por meio da fórmula:

$$V_{2(j)} = \frac{V_{1(j)}}{\sum_{j=1}^n V_j} V_{L(i)}$$

$V_{1(j)}$ – volume estimado no centro de classe de diâmetro j ;

$V_{2(j)}$ – volume corrigido no centro de classe de diâmetro j ;

$V_{L(i)}$ – volume (m^3ha^{-1}) na idade i , estimado pelo modelo logístico.

Tabela 3 – Volume (m^3ha^{-1}) em função da classe de diâmetro a 1,3 m de altura (dap), aos 5, 6 e 7 anos, para a floresta de eucalipto utilizado no estudo de caso

Classe dap (cm)	5	6	7
5	0,01	0,01	0,01
6	0,10	0,07	0,06
7	0,29	0,22	0,16
8	0,49	0,50	0,36
9	1,32	0,96	0,70
10	1,96	1,76	1,33
11	2,61	2,34	2,00
12	4,48	3,53	2,96
13	8,03	6,10	4,08
14	16,05	11,91	6,50
15	25,43	20,77	12,70
16	30,72	28,82	22,08
17	29,37	33,34	29,49
18	31,18	32,38	35,72
19	23,39	29,35	36,82
20	19,17	26,17	36,07
21	6,89	19,74	30,06
22	4,32	12,71	21,88
23	2,66	8,67	13,93
24	0,59	4,78	8,53
25	0,00	2,62	4,37
26	0,00	1,43	2,04

Com os dados de volume por classe de dap , foi possível estimar o custo de colheita em cada classe. Primeiramente, estimou-se o rendimento operacional de um harvester utilizando a equação $Y = 60,711x^{0,6545}$ (JIROUŠEK et al., 2005). O rendimento operacional foi estimado considerando a hora efetiva de trabalho (Y), em função do volume individual da árvore (m^3) para cada centro de classe (X). Em seguida, utilizou-se o

custo médio operacional de US\$ 92.50 por hora efetiva de trabalho de um harvester, para povoamento de eucalipto (SIMÕES et al., 2010). Com as estimativas de rendimento e de custo médio operacional, estimou-se o custo de colheita em cada classe de *dap* (Figura 1). Utilizou-se a taxa de conversão R\$/US\$ de 1,6522, disponível no site Banco Central (consulta em 05 set. 2011).

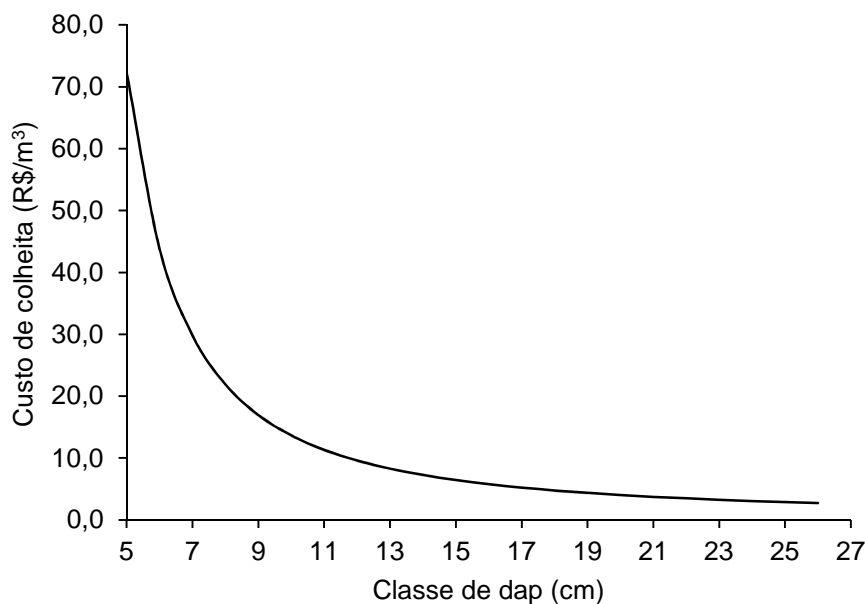


Figura 1 – Custos de colheita em cada classe de diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*), para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso.

O custo médio de colheita foi de 12,94R\$/m³. Considerando apenas a colheita de árvores com diâmetros superiores a 11,0 cm, o custo de colheita seria de 4,99R\$/m³, representando uma considerável redução de custo de colheita para a empresa.

Os custos de implantação e de manutenção (Tabela 4) foram os mesmo utilizados por Binoti (2010). A estrutura final da floresta foi considerada no cálculo do valor presente líquido (*VPL*). O preço de madeira da classe comercial (com idades igual ou superior a cinco anos) foi de 80,00 R\$/m³, enquanto a madeira não comercial (com idades inferiores a cinco anos) foi de 40 R\$/m³.

Tabela 4 – Custos de implantação e manutenção utilizados na avaliação econômica do povoamento de eucalipto do estudo de caso

Ano	Custo (R\$/ha)
0	4.042,85
1	1.617,79
2	759,58
3	80,12
4	80,12
5	80,12
6	80,12

Fonte: Binoti (2010).

Modelo de planejamento florestal

Foi utilizado um modelo de planejamento florestal formulado via modelo I de programação linear (JOHNSON; SCHEURMAN, 1977). Foram, então, feitas algumas abordagens comparativas considerando a influência da doação da madeira de pequeno porte na receita líquida global da empresa.

Abordagem 1

Esta abordagem considerou o modelo de regulação da produção usual. Porém, foi incluída a restrição de renda mínima para as famílias beneficiadas com a doação de madeira. Deve-se destacar que, na estimativa dos coeficientes $C_{ij\rho}$ da função objetivo, não se considerou o custo de colheita de árvores com *dap* inferior a 11,0 cm.

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = A_i \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \quad \text{Restrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijh} X_{ij} = V_h \quad h = \{0, 1, \dots, H-1\} \quad \text{Restrição de produção}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = \frac{S}{NC} \quad k = \{1, 2, \dots, NC\} \quad \text{Restrição de regulação usual}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^P X_{ijph} Y_{ijph} Lf_c \geq RF_h \quad \text{Restrição de renda familiar}$$

$$RF_h > (1 - z)RMA_f \quad \text{e} \quad RF_h < (1 + y)RMA_f$$

$$X_{ij} \geq 0$$

C_{ij} – valor presente líquido (*VPL*), por hectare, de cada unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j ;

X_{ij} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j ;

M – número total de unidades de manejo;

N – número total de prescrições de manejo;

A_i – área total da unidade de manejo i ;

V_{ijh} – volume (m^3ha^{-1}) produzido na unidade de manejo i , sob a prescrição j , no período h do horizonte de planejamento;

V_h – volume total ($\text{m}^3\text{ano}^{-1}$) produzido no período h do horizonte de planejamento;

D – demanda de madeira estipulada;

S – área total da floresta da empresa;

NC – número de classes de idades para a floresta regulada;

X_{ijph} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , em cada município p , no período h do horizonte de planejamento.

Y_{ijph} – volume de madeira doado (m^3ha^{-1}) da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , em cada município p , no período h do horizonte de planejamento, considerando as árvores com $dap \leq 11,0$ cm ($V_{5anos} = 8,62$; $V_{6anos} = 7,30$; e $V_{7anos} = 6,04 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$);

L – preço de venda do carvão (82,00 R\$/mdc);

f_c – fator de conversão de madeira, em m^3 , para carvão ($f_c = 1,4$).

RF_h – receita familiar total (R\$/ano) obtida com a venda de carvão, em cada período h do horizonte de planejamento;

RMA_f – receita mínima anual para cada família da comunidade assistida pela doação.

No conjunto de restrições de área, impõe-se que a soma das áreas de uma mesma unidade de manejo, submetidas às prescrições de manejo j , seja igual à área total dessa unidade. Ela garante a gestão da totalidade da área de cada unidade de manejo.

O conjunto de restrições de produção anual de madeira estabelece o volume total colhido anualmente. Contudo, essas restrições permitem variações na produção anual de madeira, sendo necessário, então, associá-las à demanda anual (D) da empresa a fim de evitar tais variações. A demanda anual de madeira da empresa estipulada foi de 100.000 m³. Para permitir flexibilidade nesse conjunto de restrições, foi estabelecida uma flutuação na produção anual. Essa flutuação foi incorporada na restrição considerando valores mínimos (α) e máximos (β) de 20%.

A restrição de regulação da produção usual impõe a regulação considerando a área total de floresta. A idade regulatória foi de 5 anos e o intervalo de corte de 1 ano.

O conjunto de restrições de renda familiar estabelece a receita bruta anual obtida com a venda da madeira doada. Foi permitida uma flutuação nessa renda de um ano para o outro dentro de limites mínimo (z) e máximo (y) prefixados. A oscilação permitida em torno da renda foi de 10%. Considerou-se que toda a madeira doada seria transformada em carvão, por isso foi incluído o fator de conversão de madeira para carvão. Utilizou-se o preço de venda de carvão de 82,00 R\$/mdc. A renda mínima considerada foi de três salários mínimos mensais por família, ou seja, R\$ 19.620,00 por ano, tomando como base o salário mínimo mensal de R\$ 545,00, no ano-base de 2011.

Abordagem 2

Nesta abordagem, a restrição de regulação da produção usual foi substituída pela restrição de estratificação espacial por município, considerando, portanto, o município como critério de divisão da floresta regulada, conforme discutido no Capítulo 2. O modelo formulado foi o seguinte:

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^P C_{ijp} X_{ijp}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^N X_{ijp} = A_{ip} \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \text{ e } p = \{1, 2, \dots, P\} \quad \text{Restrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijh} X_{ij} = V_h \quad h = \{0, 1, \dots, H-1\} \quad \text{Restrição de produção}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijpk} = \frac{S_p}{NC} \quad p = \{1, 2, \dots, P\} \text{ e } k = \{1, 2, \dots, NC\} \quad \text{Restrição de}$$

estratificação espacial por município

$$X_{ijp} \geq 0$$

em que:

C_{ijp} – valor presente líquido (VPL), por hectare, da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , em cada município p ;

X_{ijp} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , no município p ;

A_{ip} – área total da unidade de manejo i , em cada município p ;

V_{ijh} – volume (m^3ha^{-1}) produzido na unidade de manejo i , sob a prescrição j , no período h do horizonte de planejamento;

V_h – volume total (m^3ha^{-1}) produzido no período h do horizonte de planejamento;

H – horizonte de planejamento;

D – demanda de madeira estipulada.

X_{ijpk} – área da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , em cada município p , cujas árvores terão k períodos (anos) de idade ao final do horizonte de planejamento;

S_p – área total da floresta de cada município.

Abordagem 3

Nesta abordagem, foi inserida a restrição de produção anual de madeira por município. Conseqüentemente, a restrição de produção anual usual foi eliminada do modelo.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijph} X_{ijp} = V_{ph} \quad p = \{1, 2, \dots, P\} \text{ e } h = \{0, 1, \dots, H-1\} \quad \text{Restrição de}$$

produção por município

$$V_h = \sum_{p=1}^P V_{ph}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

V_{ijph} – volume (m^3ha^{-1}) produzido na unidade de manejo i , sob a prescrição j , em cada município p , no período h do horizonte de planejamento;

V_{ph} – volume total (m^3ha^{-1}) produzido em cada município p , no período h do horizonte de planejamento;

V_h – volume total (m^3ha^{-1}) produzido no período h do horizonte de planejamento.

Abordagem 4

Aqui, foi avaliada em conjunto, no modelo de planejamento florestal, a restrição de renda familiar, a restrição de estratificação espacial por município e a restrição de produção anual por município. O modelo de planejamento florestal ficou assim definido:

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

$$\text{s.a.} \quad \sum_{j=1}^N X_{ij} = A_i \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \quad \text{Restrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijph} X_{ijp} = V_{ph} \quad p = \{1, 2, \dots, P\} \text{ e } h = \{0, 1, \dots, H-1\} \quad \text{Restrição de}$$

produção por município

$$V_h = \sum_{p=1}^P V_{ph}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijpk} = \frac{S_p}{NC} \quad \text{Restrição de estratificação espacial por município}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^P X_{ijph} Y_{ijph} Lf_h \geq RF_h \quad \text{Restrição de renda familiar}$$

$$RF_h > (1 - z)RMA_f \quad \text{e} \quad RF_h < (1 + y)RMA_f$$

$$X_{ij} \geq 0$$

Abordagem 5

Nesta abordagem, foi considerado o modelo de regulação da produção usual, como forma comparativa para as demais abordagens. Nesse caso, não são consideradas as restrições de renda familiar, tampouco a estratificação espacial por município. Outra consideração importante é que, na estimativa dos coeficientes C_{ij} da função objetivo, é utilizado o custo médio de colheita, no caso 12,94 R\$/m³. Nas abordagens anteriores, esse custo foi de 4,99 R\$/m³, pois não foi considerado o custo de colheita de árvores menores que 11,0 cm de *dap*. Além disso, no cálculo da produção anual, aqui é considerada toda a produção das unidades de manejo, ao passo que, nas abordagens anteriores, foi desconsiderado o volume de madeira doado para a comunidade.

O modelo de regulação da produção usual é definido por:

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = A_i \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \quad \text{Restrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijh} X_{ij} = V_h \quad h = \{0, 1, \dots, H-1\} \quad \text{Restrição de produção}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = \frac{S}{NC} \quad k = \{1, 2, \dots, NC\} \quad \text{Restrição de regulação usual}$$

$$X_{ij} \geq 0$$

Para as cinco abordagens, o objetivo foi maximizar a receita líquida da empresa com base no valor presente líquido (*VPL*), representado pelo coeficiente *C* da função-objetivo. O cálculo do *VPL* é dado por:

$$VPL = \sum_{t=0}^n (R_t - C_t) \times (1 - \theta)^{-t}$$

C_t = custo final no ano t (R\$);

R_t = receita no final no ano t (R\$);

θ = taxa líquida de desconto anual (%);

n = número de período de tempo.

Foi considerado o horizonte de planejamento de oito anos, a taxa líquida de desconto anual de 8,75% e as ações realizadas no início de cada ano. Também foi considerada idade mínima de colheita de cinco anos e máxima de sete anos em um sistema de alto fuste.

3.3 Resultados e discussão

A formulação do problema resultou em 81 variáveis de decisão (prescrições de manejo), considerando-se apenas o regime de alto fuste (Apêndice A). A solução ótima do modelo de planejamento florestal foi obtida por meio do aplicativo LINDO (*Linear, INteractive, and Discrete Optimizer*), versão 6.1 demonstrativa, 2002.

O critério social apresentado neste estudo, ou seja, doar madeira de menor dimensão ($dap \leq 11,0 \text{ cm}$) para a comunidade, representou redução de aproximadamente 60% nos custos de colheita por hectare (Tabela 5). Tal resultado torna-se ainda mais significativo para a empresa ao se constatar que apenas 3,1%, em média, do volume por hectare será doado à população (Tabela 6). Vale lembrar que foi considerado o custo de colheita de árvores

com *dap* superior a 11,0 cm. As árvores com *dap* inferior ou igual a esse valor seriam doadas à comunidade, que seria responsável pela colheita das mesmas.

A redução de custos de colheita inseridos nos coeficientes da função objetivo promoveu aumento na receita líquida global, que foi de R\$31,79 milhões, nas abordagens 1 a 4. Considerando a regulação da produção usual (abordagem 5), a receita líquida global foi de R\$29,59 milhões. Portanto, houve acréscimo na receita líquida global de R\$2,2 milhões, para o horizonte de planejamento de oito anos, o que representa aumento de R\$275 mil ao ano, para o estudo de caso.

Tabela 5 – Produção (m^3ha^{-1}) e custo de colheita (R\$/ m^3) para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a média todas as árvores ou aquelas com diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*) superior a 11,0 cm

Idade (anos)	Produção (m^3ha^{-1})	Custo (R\$/ m^3)	Total
Todas as árvores			
5	209,10	12,94	2.705,75
6	248,20	12,94	3.211,71
7	271,80	12,94	3.517,10
Árvores com <i>dap</i> superior a 11,0 cm			
5	200,43	4,99	1.000,15
6	240,87	4,99	1.201,94
7	265,80	4,99	1.326,34

Tabela 6 – Volume e número de árvores doadas, considerando o diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*) inferior a 11,0 cm, para a floresta de eucalipto utilizada no caso de uso

Idade (anos)	Volume (m^3ha^{-1}) doado	N ha^{-1} doado
5	8,62 (4,1%)	142
6	7,30 (2,9%)	118
7	6,04 (2,2%)	96

Embora as abordagens de 1 a 4 tenham indicado a mesma receita líquida global, o regime de manejo foi diferente (Tabela 7). Nesse caso, a

gestão do povoamento irá depender da abordagem que foi utilizada para maximizar a receita líquida global.

Em todos os regimes, houve retalhamento das unidades de manejo, o que é esperado em modelos de programação linear (*PL*). As alternativas para a modelagem e solução dessa classe de problemas são muito mais complexas. Embora esse retalhamento seja indesejável do ponto de vista operacional, a *PL* foi utilizada, no presente trabalho, por ser um método rápido e simples para obter soluções ótimas. Também, neste estudo, objetivou-se avaliar a viabilidade de incluir critério social em modelo de planejamento florestal, visando gerar renda para a comunidade. Tal objetivo, portanto, foi plenamente atendido. Estudos posteriores com programação inteira ou meta-heurísticas podem contribuir para melhoria do modelo proposto.

O volume de madeira produzido em cada período do horizonte de planejamento foi o mesmo para as abordagens de 1 a 4 e atendeu o fornecimento de madeira anual para a empresa, de 100.000 m³, conforme demonstrado na Figura 2, a seguir.

O volume de madeira colhido anualmente em cada município é fortemente afetado pela abordagem de regulação da produção adotada (Tabela 8). Considerando a inclusão de critério social ou a restrição de produção anual por município, constatou-se que, em determinado ano do horizonte de planejamento, não haverá indicação de colheita em algum dos municípios envolvidos no empreendimento (Tabela 8). Esse fato é indesejável do ponto de vista social, pois desfavorece tais municípios na participação de impostos.

Essa situação é facilmente contornada ao se proceder a estratificação espacial por município (abordagens 2 e 4), que, além de indicar colheita de madeira anualmente em cada município, também promove menor variação nesse volume colhido, o que é fundamental para gerar renda constante para o município advinda de participação nos impostos gerados com a atividade florestal. Contudo, essa restrição acarreta a penalização na produção em alguns municípios e, conseqüentemente, aumenta a produção em outros. Uma recomendação para tal abordagem é estabelecer uma produção anual mínima e máxima em cada município.

Tabela 7 – Solução ótima obtida para povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando o modelo de planejamento florestal com a restrição de renda familiar (abordagem 1), a estratificação espacial por município (abordagem 2), produção anual por município (abordagem 3), a junção dessas três restrições (abordagem 4) e a regulação da produção usual (abordagem 5)

Abordagem 1		Abordagem 2		Abordagem 3		Abordagem 4		Abordagem 5	
Variáveis de decisão	Área (ha)	Variáveis de decisão	Área (ha)	Variáveis de decisão	Área (ha)	Variáveis de decisão	Área (ha)	Variáveis de decisão	Área (ha)
X ₁₁₁	73,00	X ₁₁₁		X ₁₁₁		X ₁₁₁		X ₁₁₁	
X ₁₂₁		X ₁₂₁	73,00	X ₁₂₁	73,00	X ₁₂₁	73,00	X ₁₂₁	73,00
X ₂₁₁		X ₂₁₁	28,00	X ₂₁₁		X ₂₁₁	28,00	X ₂₁₁	
X ₂₂₁	25,32	X ₂₂₁	28,00	X ₂₂₁	56,00	X ₂₂₁	28,00	X ₂₂₁	56,00
X ₂₃₁	30,68	X ₂₃₁		X ₂₃₁		X ₂₃₁		X ₂₃₁	
X ₃₁₁	70,00	X ₃₁₁		X ₃₁₁		X ₃₁₁		X ₃₁₁	
X ₃₃₁		X ₃₃₁	70,00	X ₃₃₁	70,00	X ₃₃₁	70,00	X ₃₃₁	70,00
X ₄₃₁		X ₄₃₁	7,00	X ₄₃₁	29,92	X ₄₃₁	7,00	X ₄₃₁	19,50
X ₄₄₁	77,00	X ₄₄₁	70,00	X ₄₄₁	47,08	X ₄₄₁	70,00	X ₄₄₁	57,50
X ₅₁₁		X ₅₁₁		X ₅₁₁	12,65	X ₅₁₁		X ₅₁₁	
X ₅₆₁	79,00	X ₅₆₁	79,00	X ₅₆₁	66,35	X ₅₆₁	79,00	X ₅₆₁	79,00
X ₆₄₁		X ₆₄₁	50,00	X ₆₄₁	62,00	X ₆₄₁	50,00	X ₆₄₁	
X ₆₅₁	62,00	X ₆₅₁	12,00	X ₆₅₁		X ₆₅₁	12,00	X ₆₅₁	62,00
X ₇₁₁	73,00	X ₇₁₁	25,00	X ₇₁₁	73,00	X ₇₁₁	25,00	X ₇₁₁	48,10
X ₇₂₁		X ₇₂₁	48,00	X ₇₂₁		X ₇₂₁	48,00	X ₇₂₁	24,90
X ₈₁₂	22,74	X ₈₁₂	90,00	X ₈₁₂	90,00	X ₈₁₂	54,09	X ₈₁₂	
X ₈₂₂	67,26	X ₈₂₂		X ₈₂₂		X ₈₂₂	35,91	X ₈₂₂	90,00
X ₉₁₂		X ₉₁₂	40,12	X ₉₁₂	71,12	X ₉₁₂	17,20	X ₉₁₂	
X ₉₂₂	100,00	X ₉₂₂	47,20	X ₉₂₂	28,88	X ₉₂₂	52,12	X ₉₂₂	12,90
X ₉₃₂		X ₉₃₂	12,68	X ₉₃₂		X ₉₃₂	30,68	X ₉₃₂	87,10
X ₁₀₁₂	71,74	X ₁₀₁₂	80,00	X ₁₀₁₂		X ₁₀₁₂	49,01	X ₁₀₁₂	
X ₁₀₃₂	8,26	X ₁₀₃₂		X ₁₀₃₂	80,00	X ₁₀₃₂	30,99	X ₁₀₃₂	80,00
X ₁₁₃₂	29,92	X ₁₁₃₂	22,92	X ₁₁₃₂		X ₁₁₃₂		X ₁₁₃₂	
X ₁₁₄₂	90,08	X ₁₁₄₂	97,08	X ₁₁₄₂	120,00	X ₁₁₄₂	120,00	X ₁₁₄₂	120,00
X ₁₂₁₂		X ₁₂₁₂	12,65	X ₁₂₁₂		X ₁₂₁₂		X ₁₂₁₂	

Tabela 6. Cont...

X ₁₂₄₂		X ₁₂₄₂	53,07	X ₁₂₄₂	78,81	X ₁₂₄₂	78,81	X ₁₂₄₂	2,51
X ₁₂₆₂	100,00	X ₁₂₆₂	34,28	X ₁₂₆₂	21,19	X ₁₂₆₂	21,19	X ₁₂₆₂	97,49
X ₁₃₄₂	80,00	X ₁₃₄₂	80,00	X ₁₃₄₂	80,00	X ₁₃₄₂	12,99	X ₁₃₄₂	
X ₁₃₅₂		X ₁₃₅₂		X ₁₃₅₂		X ₁₃₅₂	67,01	X ₁₃₅₂	80,00
X ₁₄₁₂	114,61	X ₁₄₁₂	111,87	X ₁₄₁₂		X ₁₄₁₂	70,61	X ₁₄₁₂	
X ₁₄₂₂	1,39	X ₁₄₂₂	4,13	X ₁₄₂₂	116,00	X ₁₄₂₂	45,39	X ₁₄₂₂	116,00
X ₁₅₁₃		X ₁₅₁₃	5,74	X ₁₅₁₃	5,74	X ₁₅₁₃	41,65	X ₁₅₁₃	
X ₁₅₂₃	140,00	X ₁₅₂₃	134,26	X ₁₅₂₃	134,26	X ₁₅₂₃	98,35	X ₁₅₂₃	140,00
X ₁₆₁₃	71,12	X ₁₆₁₃	3,00	X ₁₆₁₃		X ₁₆₁₃	25,92	X ₁₆₁₃	
X ₁₆₂₃	48,88	X ₁₆₂₃	99,00	X ₁₆₂₃	89,32	X ₁₆₂₃	94,08	X ₁₆₂₃	120,00
X ₁₆₃₃		X ₁₆₃₃	18,00	X ₁₆₃₃	30,68	X ₁₆₃₃		X ₁₆₃₃	
X ₁₇₁₃		X ₁₇₁₃	61,74	X ₁₇₁₃	141,74	X ₁₇₁₃	92,73	X ₁₇₁₃	
X ₁₇₂₃		X ₁₇₂₃		X ₁₇₂₃		X ₁₇₂₃		X ₁₇₂₃	60,70
X ₁₇₃₃	160,00	X ₁₇₃₃	98,26	X ₁₇₃₃	18,26	X ₁₇₃₃	67,27	X ₁₇₃₃	99,30
X ₁₈₃₃		X ₁₈₃₃		X ₁₈₃₃		X ₁₈₃₃	22,92	X ₁₈₃₃	
X ₁₈₄₃	200,00	X ₁₈₄₃	200,00	X ₁₈₄₃	200,00	X ₁₈₄₃	177,08	X ₁₈₄₃	200,00
X ₁₉₁₃	12,65	X ₁₉₁₃		X ₁₉₁₃		X ₁₉₁₃	12,65	X ₁₉₁₃	
X ₁₉₄₃	61,81	X ₁₉₄₃	25,75	X ₁₉₄₃		X ₁₉₄₃		X ₁₉₄₃	
X ₁₉₅₃	17,01	X ₁₉₅₃		X ₁₉₅₃		X ₁₉₅₃		X ₁₉₅₃	
X ₁₉₆₃	8,54	X ₁₉₆₃	74,25	X ₁₉₆₃	100,00	X ₁₉₆₃	87,35	X ₁₉₆₃	100,00
X ₂₀₄₃	150,00	X ₂₀₄₃	82,99	X ₂₀₄₃	70,99	X ₂₀₄₃	150,00	X ₂₀₄₃	149,79
X ₂₀₅₃		X ₂₀₅₃	67,01	X ₂₀₅₃	79,01	X ₂₀₅₃		X ₂₀₅₃	0,21
X ₂₁₁₃		X ₂₁₁₃	50,74	X ₂₁₁₃	114,61	X ₂₁₁₃	92,00	X ₂₁₁₃	
X ₂₁₂₃	145,00	X ₂₁₂₃	94,26	X ₂₁₂₃	30,39	X ₂₁₂₃	53,00	X ₂₁₂₃	145,00
Total	2191,00		2191,00		2191,00		2191,00		2191,00
X _{ij} > 0	30		38		30		38		27

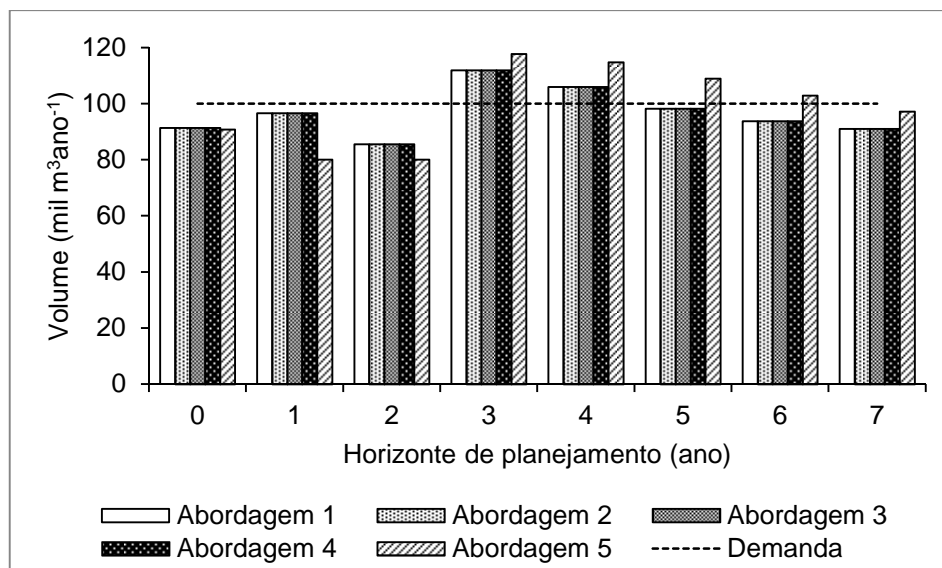


Figura 2 – Volume de madeira (m^3) colhido anualmente para povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando o modelo de planejamento florestal com a restrição de renda familiar (abordagem 1), a estratificação espacial por município (abordagem 2), produção anual por município (abordagem 3), a junção dessas três restrições (abordagem 4) e a regulação da produção usual (abordagem 5).

Tabela 8 – Volume de madeira colhido anualmente para povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando o modelo de planejamento florestal com a restrição de renda familiar (abordagem 1), a estratificação espacial por município (abordagem 2), produção anual por município (abordagem 3), a junção dessas três restrições (abordagem 4) e a regulação da produção usual (abordagem 5)

Horizonte de planejamento (Ano)	Município 1	Município 2	Município 3	Total
Renda familiar				
0	19.403	30.833	41.075	91.312
1	16.480	21.264	58.853	96.597
2	35.028	48.164	2.270	85.462
3	20.467	23.944	67.415	111.825
4	20.730	30.840	54.302	105.872
5	22.786	39.172	36.257	98.216
6	0	16.369	77.380	93.749
7	44.796	40.418	5.809	91.023
Estratificação espacial por município				
0	19.402	33.368	38.541	91.312
1	16.479	34.046	46.072	96.597
2	22.684	30.667	32.111	85.462
3	24.218	33.845	53.762	111.825
4	25.350	29.408	51.114	105.872
5	22.594	28.328	47.293	98.216
6	21.583	27.666	44.500	93.749
7	20.127	27.498	43.397	91.023
Produção volumétrica anual por município				
0	21.938	30.833	38.541	91.312
1	16.480	40.248	39.870	96.597
2	24.842	5.631	54.989	85.462
3	12.515	46.150	53.160	111.825
4	32.095	46.260	27.518	105.872
5	34.750	0	63.466	98.216
6	12.427	59.772	21.550	93.749
7	19.295	4.246	67.482	91.023
Inclusão das três restrições anteriores				
0	19.403	30.833	41.076	91.312
1	16.480	40.248	39.870	96.597
2	22.684	15.454	47.324	85.462
3	24.218	35.343	52.263	111.825
4	25.350	31.633	48.889	105.872
5	22.594	30.957	44.665	98.216
6	21.583	29.335	42.831	93.749
7	20.127	30.209	40.687	91.023
Regulação da produção usual				
0	19.844	31.533	39.417	90.794
1	16.854	22.370	40.776	80.000
2	26.314	26.502	27.184	80.000
3	15.631	32.621	69.431	117.683
4	32.926	24.948	56.775	114.649
5	28.171	46.013	34.744	108.928
6	6.180	29.312	67.298	102.790
7	35.977	40.234	20.957	97.168

Optou-se por não restringir o número de famílias beneficiadas com a doação de madeira, visto que a área do estudo de caso não correspondeu à situação real de uma grande empresa. Assim, o número de famílias assistidas aumentou com o horizonte de planejamento (Figura 3A). Porém, a demanda volumétrica anual é fator limitante, quando essa demanda ficou estabilizada, aproximadamente dez famílias puderem ser assistidas com a doação de madeira de pequeno porte. A receita familiar bruta, para essas dez famílias, totalizaria R\$200 milhões ao final do horizonte de planejamento de oito anos (Figura 3B).

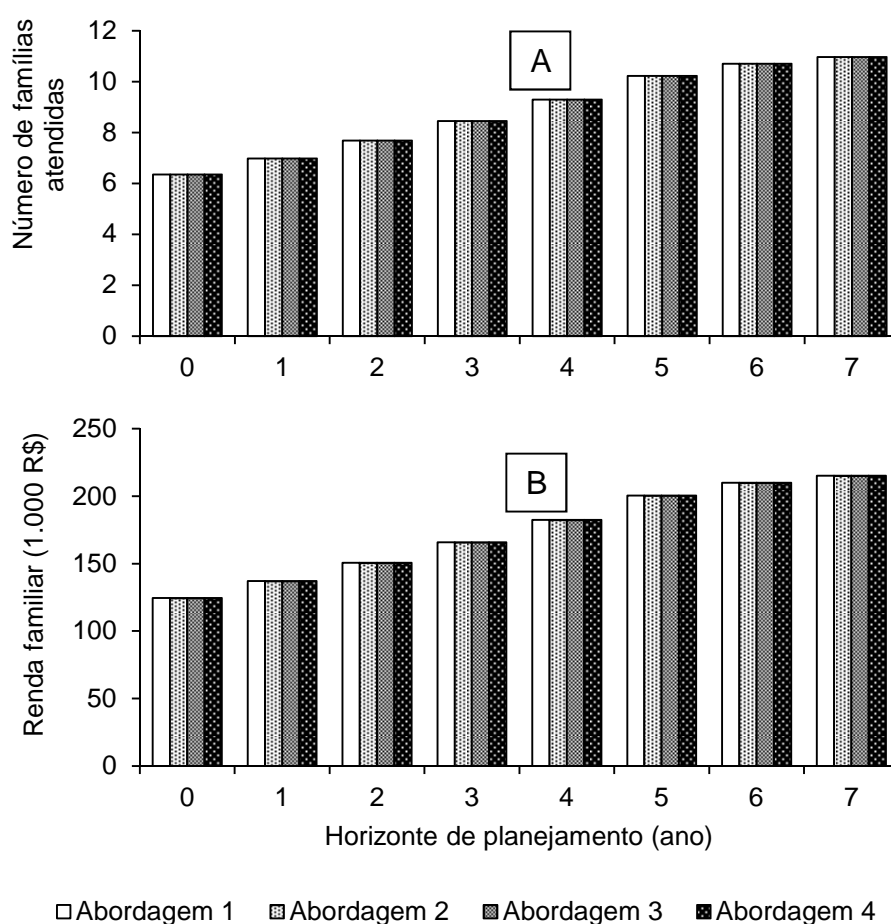


Figura 3 – Número de famílias assistidas (A) e receita familiar anual (B) para povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando o modelo de planejamento florestal com a restrição de renda familiar (abordagem 1), a estratificação espacial por município (abordagem 2), produção anual por município (abordagem 3), a junção dessas três restrições (abordagem 4).

A doação de madeira de pequeno porte mostrou-se ser socialmente vantajosa, pois, além de gerar benefícios para a comunidade, promove aumento na receita líquida da empresa, devido à redução de custo de colheita. Também, para a empresa, representa uma forma de atender ao princípio da certificação florestal, que preceitua a geração de renda para a comunidade.

É fundamental que a restrição de renda familiar seja incluída no modelo de planejamento florestal juntamente com a estratificação espacial por município, a fim de garantir colheitas anuais em cada município. Caso determinada unidade de manejo não seja colhida em determinado município, o número de famílias assistidas poderá ser comprometido.

Uma questão a ser tratada em pesquisas futuras consiste em definir estratégias para viabilizar a colheita da madeira pela comunidade.

Conclusões

1. A doação de árvores de menor diâmetro gera receita bruta significativa para a comunidade sem afetar negativamente a receita líquida da empresa.
2. Deve-se contemplar, no planejamento florestal, a inclusão do critério social de doação de árvores de menor diâmetro juntamente com a estratificação espacial por município.
3. A estratificação espacial por município promove maior retalhonamento das unidades de manejo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Manejo florestal: princípios, critérios e indicadores para plantações florestais: NBR 14789.** Rio de Janeiro, 2001. 9 p.

BINOTI, D. H. B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vistas ao manejo da paisagem.** 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CASTRO, R. R. **Regulação de florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CAVALCANTE, R. B. L. **Planejamento de povoamentos de eucalipto com condicionantes hidrológicos**: um estudo de caso em Eldorado do Sul/RS. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. E. **Forest management**: to sustain ecological, economic, and social values. 4. ed. Long Grove: Waveland Press Inc., 2005. 804 p. (Reissued)

FALCÃO, A. O.; BORGES, J. G. Heurísticas para a integração de níveis estratégico e operacional da gestão florestal em problemas de grande dimensão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 63, p. 94-102, 2003.

FOREST STWARDSHIP COUNCIL. **Princípios e critérios**. 2009. Disponível em: <<http://www.fsc.org.br>>. Acesso em: 29 setembro 2009.

GOMES, A. N.; SOUZA, A. L.; COELHO, F. M. G.; SILVA, M. L. Sustentabilidade de empresas de base florestal: o papel dos projetos sociais na inclusão das comunidades locais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 6, p. 951-960, 2006.

GOMIDE, L. R.; ARCE, J. E.; SILVA, A. C. L. Uso do algoritmo genético no planejamento florestal considerando seus operadores de seleção. **Cerne**, Lavras-MG, v. 15, n. 4, p. 460-467, 2009.

JIROUŠEK, R.; KLVAČ, R.; SKOUPÝ, A. Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. **Journal of Forest Science**, v. 53, n. 10, p. 476-482, 2007.

JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis. **Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 1-31, 1977.

LEUSCHNER, W. A. **Introduction to forest resource management**. New York: John Wiley and Sons, 1984. 284 p.

Heinonen, T. **Developing spatial optimization in forest planning**. 2007. 34 f. Dissertations Forestales. Faculty of Forestry, University of Joensuu.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. McGraw-Hill: São Paulo, 2006, 828 p.

MELLO, A. A.; CARNIERI, C.; ARCE, J. E.; SANQUETTA, C. R. Planejamento florestal visando à maximização dos lucros e a manutenção do estoque de carbono. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v. 11, n. 3, p. 205-217, 2005.

OLIVEIRA, P. R.; VALVERDE, S. R.; COELHO, F. M. G. Aspectos de relevância econômica no fomento florestal a partir da percepção dos produtores rurais envolvidos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 4, p. 593-601, 2006.

RODRIGUES, F. A. **Inclusão das dimensões social e ecológica em planos de manejo para florestas de rápido crescimento**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; SOUZA, A. L.; SILVA, G. F. Metaheurística algoritmo genético para solução de problemas de planejamento florestal com restrições de integridade. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 233-245, 2004a.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S. Metaheurística *simulated annealing* para solução de problemas de planejamento florestal com restrições de integridade. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 247-256, 2004b.

RODRIGUES, F. L.; SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Um modelo de regulação florestal e suas implicações na formulação e solução de problemas com restrições de recobrimento. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 5, p. 769-778, 2006.

SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 677-688, 2003.

SILVA, G. F.; GHISOLFI, E. M.; TEIXEIRA, A. F.; CABRINI, A. M., BARROS JÚNIOR, A. A. O método das restrições na solução de um problema de planejamento florestal multiobjetivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE, v. 1, p. 41-48, 2006.

SILVA, G. F.; PIASSI, L. C.; MÔRA, R.; MARTINS, L. T.; TEIXEIRA, A. F.; BARROS JUNIOR, A. A. Avaliação da metaheurística algoritmo genético na solução de modelos de planejamento florestal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE, v. 4, n. 2, p. 160-166, 2009.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 38, n. 88, p. 611-618, 2010.

TARNOWSKI, B. C.; SCHNEIDER, P. R.; MACHADO, C. C. Produtividade e custos do processador trabalhando em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 9, n. 2, p. 103-115, 1999.

CAPÍTULO 4: ALTERNATIVA PARA ANTECIPAR A REGULACÃO DA PRODUÇÃO FLORESTAL

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de se antecipar a regulação da produção florestal, considerando, também, a proporção de área de floresta plantada em cada município. Os resultados dessa abordagem foram comparados com os do método usual de regulação florestal, no qual a estrutura regulada é obtida ao final do período de transição. As alternativas de manejo foram obtidas com base no modelo I de programação linear, resultando em 81 variáveis decisórias. Foi elaborado um estudo de caso, com o objetivo de maximizar a receita líquida global da empresa, considerando-se povoamentos de eucalipto com 2.191 ha, localizados em três municípios, com idades de plantio variando entre 1 e 7 anos. O horizonte de planejamento foi de oito anos. A taxa líquida de desconto anual foi de 8,75%. A restrição proposta reduziu a receita líquida global em 3,38%. Porém, essa penalização pode ser justificada pelo ganho social obtido com a inclusão dessa alternativa, uma vez que há garantia de colheita anual em cada município. Isso favorece a geração de receitas para os municípios, por meio da arrecadação de impostos. Apesar da redução da receita líquida total, a restrição imposta garante ganho social para o município e atende à demanda de madeira da empresa.

Palavras-chave: Planejamento florestal; Programação linear; Responsabilidade social; Arrecadação tributária; Restrições sociais.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the possibility of anticipating the regulation of forest production, considering also the proportion of forest area planted in each district. The results of this approach were compared to the

usual method of forest regulation, in which the set structure is obtained at the end of the transition period. The management alternatives were obtained based on the model I of linear programming, resulting in 81 decision-making variables. A study case was conducted, in order to maximize the company's overall net income, considering eucalyptus stands with 2,191 ha, located in three districts, with ages from planting ranging 1 and 7 years. The horizon planning was eight years. The net annual discount rate was 8.75%. The proposed constraint reduced the overall net revenue in 3.38%. However, this penalty can be justified by social gain obtained with the inclusion of this alternative, since it guarantees annual harvest in each municipality. This favors the generation of revenue for districts, through the collection of taxes. Despite the reduction of total net revenues, the constraint ensures social gain to the districts and attends the demand of the company's wood.

Keywords: Forest planning; Linear programming; Social responsibility; Tax collection.

4.1 Introdução

A regulação da produção florestal consiste em obter uma estrutura de idades da floresta, variando de um ano até a idade de rotação regulatória, após um período de transição prefixado. Assim, ao final do período de transição, as classes de idades estão em uma progressão aritmética, sendo a razão o intervalo, em ano, entre colheitas, obtendo-se, dessa forma, árvores com idade variando de um ano até a idade de rotação (RODRIGUES, 1997). A regulação da floresta garante fluxo anual de madeira e é uma estratégia fundamental para a empresa que busca sustentabilidade (DAVIS et al., 2005).

A regulação florestal visa determinar onde, quando, quanto e como colher, considerando os objetivos da empresa (DAVIS et al., 2005). E, por isso, um grande número de variáveis está envolvido na tomada de decisão (VOLPI et al., 1999), tornando-a uma atividade complexa. Algumas dessas

variáveis são biológicas, como o potencial de produção de determinada espécie ou clone em determinado solo ou topografia; outras são econômicas, como o preço da madeira ou o custo de produção. Há, também, as variáveis sociais, como leis e impostos que incidem sobre a produção (BOUNGIORNO; GUILLES, 2003; DAVIS et al., 2005; BETTINGER et al., 2009) e a mão de obra empregada nas fases do processo produtivo (RODRIGUES, 2002; BETTINGER et al., 2009). Nesse caso, apenas a habilidade e certa experiência do manejador florestal não são suficientes para determinar os melhores regimes de manejo, o que impõe a utilização de ferramentas de programação matemática.

O procedimento usual nos modelos de planejamento florestal consiste em inserir uma restrição de regulação da produção florestal, para que se obtenha uma floresta regulada, ao final do horizonte de planejamento (*HP*). No cenário brasileiro, o *HP* utilizado tem variado de 8 a 21 anos. Assim, as alterações no mercado, na estrutura do povoamento e na lista de novos materiais genéticos cultivados interferem na obtenção dessa regulação. Dessa forma, nem sempre é possível, na prática, ter-se a estrutura regulada e mantê-la inalterada para sempre. Se fosse assim, o manejo florestal perderia sua essência dinâmica, transformando-se em mera repetição de procedimentos.

O período relativamente longo de uma rotação florestal, quando comparado aos ciclos das atividades agropecuárias tradicionais, pode ser não satisfatório ao se considerar a geração de impostos aos municípios envolvidos no empreendimento florestal. Por exemplo, para obtenção de madeira para fabricação de celulose, a rotação de florestas de eucalipto encontra-se entre 5 a 7 anos. Contudo, a gestão municipal é de apenas quatro anos. Ou seja, a rotação florestal é superior ao mandato da gestão municipal. Assim, para um projeto florestal iniciado no mesmo período da administração municipal, haverá colheita apenas no mandato seguinte. Esse fato pode fazer com que a arrecadação por meio de impostos advindos da atividade florestal seja diferenciada entre as gestões municipais.

Assim, é interessante que em cada município envolvido no empreendimento tenha atividades de colheita e plantio todos os anos. Assim, é interessante buscar antecipar a rotação florestal, impondo no

modelo de planejamento que tal situação seja feita a partir do ano zero do horizonte de planejamento.

Os benefícios que a floresta regulada promove para uma empresa florestal justificam todo o esforço para que essa condição seja alcançada. Dentre eles, Dykstra (1984) destacou a uniformidade da produção, a base regular de emprego, o equilíbrio entre receitas anuais e despesas, o melhor controle de incêndios e de ataque de insetos ou doenças e a oportunidade de produzir madeira a partir de um estoque em crescimento não maior que o necessário e sustentável economicamente. Para o município envolvido no empreendimento, a produção contínua de madeira garante, também, arrecadação constante de impostos.

O objetivo deste estudo foi inserir, em um modelo de planejamento florestal, uma restrição que possibilita antecipar a regulação da produção florestal, levando em conta a área de colheita anual proporcional à área plantada de cada município. A hipótese formulada foi:

H_{01} : a antecipação da regulação da produção florestal afeta a receita líquida global e a demanda de madeira da empresa.

4.2 Material e métodos

O critério avaliado, neste estudo, consistiu em inserir em um modelo de planejamento florestal uma abordagem que possibilita antecipar a regulação da produção. Visando tornar tal abordagem com caráter social, foi estabelecido que, para se alcançar a regulação da produção, seria levada em conta a área plantada em cada município envolvido no empreendimento. Dessa forma, haveria garantia de realização de colheitas todos os anos em cada um dos municípios.

Para avaliar a viabilidade da inclusão da restrição proposta, foi elaborado um estudo de caso, considerando povoamentos de eucalipto com 2.191 ha, localizados em três municípios. As idades das árvores variaram de 1 a 7 anos (Tabela 1).

Tabela 1 – Estrutura dos povoamentos de eucalipto utilizados no estudo de caso, considerando a idade atual e a área com floresta em cada município

Idade atual (anos)	Área do povoamento (ha)		
	Município A	Município B	Município C
1	73	90	140
2	56	100	120
3	70	80	160
4	77	120	200
5	79	100	100
6	62	80	150
7	73	116	145
Total	490	686	1015

Os custos de implantação e de manutenção (Tabela 2) foram os mesmo utilizados por Binoti (2010). A estrutura final da floresta foi considerada no cálculo do valor presente líquido (*VPL*). O preço de madeira da classe comercial (com idades igual ou superior a cinco anos) foi de 80,00 R\$/m³, enquanto a madeira não comercial (com idades inferiores a cinco anos) foi de 40 R\$/m³.

Tabela 2 – Custos de implantação e manutenção utilizados na avaliação econômica do povoamento de eucalipto do estudo de caso

Ano	Custo (R\$/ha)
0	4.042,85
1	1.617,79
2	759,58
3	80,12
4	80,12
5	80,12
6	80,12

Fonte: Binoti (2010).

Ajustou-se o modelo logístico com dados de parcelas de inventário florestal contínuo, em povoamento de eucalipto e medições feitas nas idades de 2 a 7 anos. Foram consideradas unidades de manejo equiprodutivas e a equação de produção utilizada para estimar o estoque de colheita e de crescimento foi:

$$Volume (m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{296,4599}{(1 + 19,1454e^{-0,7648 * Idade(anos)})}$$

Modelo de planejamento florestal

Foi utilizado um modelo de planejamento florestal formulado via modelo I de programação linear (JOHNSON; SCHEURMAN, 1977). Foram, então, feitas abordagens comparativas considerando a influência da abordagem na receita líquida global da empresa.

Foi considerada a idade mínima de colheita de cinco anos e máxima de sete anos e um horizonte de planejamento de oito anos. O custo médio de colheita foi de 12,94 R\$/m³.

Abordagem 1

Nesta abordagem, foi imposta a condição de antecipar a regulação da floresta e, assim, verificar o efeito de tal procedimento na receita líquida da empresa. Como forma de garantir que sejam efetuadas colheitas anuais em cada município, foi levada em conta a proporção de área plantada em cada município, em relação à área total de floresta.

O modelo de planejamento florestal formulado foi:

$$\text{Max. } Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = A_i \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \quad \text{Restrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijh} X_{ij} = V_h \quad h = \{1, 2, \dots, H-1\} \quad \text{Restrição de produção}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijh} = A_h \quad \text{Restrição de regulação proposta}$$

$$A_h > (1 - \delta)AR \quad \text{e} \quad A_h < (1 + \delta)AR$$

$$\sum_{p=1}^P I_p \gamma_h = A_h \quad \text{Restrição de proporção de área}$$

Sendo: $\frac{AT_p}{AT} = I_p$

$$X_{ij} \geq 0$$

C_{ij} – valor presente líquido (VPL), por hectare, de cada unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j ;

X_{ij} – número de hectares da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j ;

X_{ijh} – número de hectares da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , no período h do horizonte de planejamento.

M – número total de unidades de manejo;

N – número total de prescrições de manejo;

A_i – número total de hectares da unidade de manejo i .

V_{ijh} – volume (m^3ha^{-1}) produzido na unidade de manejo i , sob a prescrição j , no período h do horizonte de planejamento;

V_h – volume no período h do horizonte de planejamento;

D – demanda de madeira estipulada;

A_h – área de colheita do município p no período h do horizonte de planejamento.

AR – área de regulação florestal (ha);

H – horizonte de planejamento (anos);

I_p – fator de proporção de área do município p , em relação à área total da empresa;

γ_h – área a ser colhida no município p , no período h ;

AT_p – área total de floresta do município p ;

AT – área total de floresta da empresa.

A restrição de área total de cada unidade de manejo (A_i) estabelece que a soma da área de uma mesma unidade de manejo, submetida a prescrições de manejo j , seja igual à área total dessa unidade. Ela garante, portanto, a gestão da totalidade da área de cada unidade de manejo.

O conjunto de restrições de produção refere-se à produção anual de madeira. O volume total de madeira colhido em cada ano do horizonte de

planejamento (V_h) corresponde aos volumes colhidos em cada município nesse mesmo ano. Essa restrição não estabelece um limite de volume de madeira colhido anualmente. Por isso, ela foi associada à demanda (D) anual de madeira da empresa, estipulada em 100.000 m³. Para permitir flexibilidade nesse conjunto de restrições, foi estabelecida uma flutuação na produção anual. Essa flutuação foi incorporada na restrição considerando valores mínimos (α) e máximos (β) de 20%.

A restrição de regulação proposta consiste em estabelecer tal critério em cada ano do horizonte de planejamento. Assim, não são consideradas as k classes de idades para que se obtenha a floresta regulada. Esta passará a ser com base na área de regulação, isto é, na área total de floresta da empresa dividida pela idade de rotação. Foi permitida uma oscilação (δ) mínima e máxima na área de colheita anual de 5%.

Foi estabelecido, ainda, que a área de colheita anual (A_h) fosse proporcional à área de floresta de cada município, a fim de garantir colheitas de madeira anualmente em cada município envolvido no empreendimento. Essa proporção é obtida em relação à área total da empresa. Dessa forma, a área de colheita anual deve ser igual à área regulatória.

Esta abordagem é uma alternativa à estratificação espacial por município, discutida nos capítulos 2 e 3.

Abordagem 2

A fim de possibilitar estimativa comparativa, foi estabelecido o modelo de planejamento florestal, considerando a restrição de regulação da produção em sua forma usualmente utilizada. Tal modelo é assim definido:

$$MaxZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = A_i \quad i = \{1, 2, \dots, M\} \quad \text{Restrição de área}$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijh} X_{ij} = V_h \quad \text{Restrição de produção anual}$$

$$V_h > (1 - \alpha)D \quad \text{e} \quad V_h < (1 + \beta)D$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = \frac{S}{NC} \quad k = \{1, 2, \dots, NC\} \quad \text{Restrição de produção anual}$$

$$X_{ij} \geq 0$$

X_{ijk} – número de hectares da unidade de manejo i , sob a prescrição de manejo j , cujas árvores terão k períodos (anos) de idade ao final do período h horizonte de planejamento;

S – área total da floresta;

NC – número de classes de idades para a floresta regulada;

Para as duas abordagens, o objetivo foi maximizar a receita líquida da empresa com base no valor presente líquido (*VPL*), representado pelo coeficiente C da função-objetivo. O cálculo do *VPL* é dado por:

$$VPL = \sum_{t=0}^n (R_t - C_t) \times (1 - \theta)^{-t}$$

C_t = custo final no ano t (R\$);

R_t = receita no final no ano t (R\$);

θ = taxa líquida de desconto anual (%);

n = número de período de tempo.

Foi considerado o horizonte de planejamento de oito anos, a taxa líquida de desconto anual de 8,75% e as ações realizadas no início de cada ano. Também foi considerada idade mínima de colheita de cinco anos e máxima de sete anos em um sistema de alto fuste.

4.3 Resultados

A formulação do problema resultou em 81 variáveis de decisão (prescrições de manejo), considerando-se apenas o regime de alto fuste (Apêndice A). A solução ótima do modelo de planejamento florestal foi obtida

por meio do aplicativo LINDO (*Linear, INteractive, and Discrete Optimizer*), versão 6.1 demonstrativa, 2002.

A solução ótima para a abordagem proposta apresentou receita líquida global para a empresa de R\$ 28,59 milhões, para o horizonte de planejamento de oito anos. No modelo de planejamento florestal que considera a restrição de regulação da produção usual, a receita líquida global foi R\$ 29,59 milhões. Ao se antecipar a regulação, houve redução de R\$1,00 milhão na receita líquida global, o que equivale à redução de 3,38% nessa receita.

Nas Tabelas 3 e 4 estão indicadas as áreas de colheita, com as prescrições de manejo que foram assinaladas como viáveis para as duas abordagens. Cada abordagem indicou uma estratégia diferente de colheita.

A área regulatória foi atendida a partir do primeiro ano, para as duas abordagens (Figura 1). Porém, a abordagem 1 promoveu menor variação na área de colheita, pelo fato de estabelecer uma oscilação em torno dessa área. Contudo, a receita líquida foi 3,38% inferior comparada ao modelo de planejamento usual (abordagem 2).

As produções anuais obtidas estão indicadas na Figura 2. Ambas as abordagens utilizadas suprimam a demanda anual imposta.

Tabela 3 – Prescrições de manejo viáveis para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a antecipação da regulação florestal (abordagem 1)

Município	Prescrição de manejo	Idade inicial (anos)	Variáveis de decisão	Horizonte de planejamento (anos)							Idade Final (anos)		
				0	1	2	3	4	5	6		7	
1	5	1	X ₁₁₁					52,8					4
1	6	1	X ₁₂₁						20,2				3
1	5	2	X ₂₁₁				13,1						5
1	6	2	X ₂₂₁					42,9					4
1	6	3	X ₃₂₁				70,0						5
1	6-5	4	X ₄₃₁			55,7					55,7		1
1	7	4	X ₄₄₁				21,3						5
1	5-5	5	X ₅₁₁	5,2					5,2				3
1	6-5	5	X ₅₄₁		23,7					23,7			2
1	6-6	5	X ₅₅₁		10,1							10,1	1
1	7-5	5	X ₅₆₁			40,0						40,0	1
1	7-5	6	X ₆₄₁		62,0						62,0		2
1	7-5	7	X ₇₁₁	70,3					70,3				3
1	7-6	7	X ₇₂₁	20,2							20,2		2
Total Município 1				95,7	95,7	95,7	104,4	95,7	95,7	105,8	105,8		
2	5	1	X ₈₁₂					62,8					4
2	6	1	X ₈₂₂						27,2				3
2	5	2	X ₉₁₂				33,8						5
2	6	2	X ₉₂₂					66,2					4
2	6	3	X ₁₀₂₂				80,0						5
2	6-5	4	X ₁₁₃₂			93,1					93,1		1

Continua...

Tabela 3 – Cont.

2	7	4	X ₁₁₄₂				26,9				5
2	5-5	5	X ₁₂₁₂	15,0				15,0			3
2	6-5	5	X ₁₂₄₂		49,0				49,0		2
2	7-5	5	X ₁₂₆₂			35,9				35,9	1
2	7-5	6	X ₁₃₄₂		66,4				66,4		2
2	7-6	6	X ₁₃₅₂		13,6					13,6	1
2	7-5	7	X ₁₄₁₂	86,9				86,9			3
2	7-6	7	X ₁₄₂₂	27,2					27,2		2
Total Municipio 2				129,0	129,0	129,0	140,7	129,0	129,0	142,6	142,6
3	5	1	X ₁₅₁₃					99,7			4
3	6	1	X ₁₅₂₃						40,3		3
3	5	2	X ₁₆₁₃				28,2				5
3	6	2	X ₁₆₂₃					91,8			4
3	5-5	3	X ₁₇₂₃				160,0				5
3	6-5	4	X ₁₈₃₃			179,5				179,5	1
3	7	4	X ₁₈₄₃				20,5				5
3	5-5	5	X ₁₉₁₃	46,5					46,5		3
3	6-5	5	X ₁₉₄₃		41,5				41,5		2
3	7-5	5	X ₁₉₆₃			12,0				12,0	1
3	7-5	6	X ₂₀₄₃		129,8				129,8		2
3	7-6	6	X ₂₀₅₃		20,2					20,2	1
3	7-5	7	X ₂₁₁₃	104,7					104,7		3
3	7-6	7	X ₂₁₂₃	40,3					40,3		1
Total Municipio 3				191,5	191,5	191,5	208,7	191,5	191,5	211,7	211,7
Total				416,3	416,3	416,3	453,7	416,3	416,3	460,1	460,1

Tabela 4 – Prescrições viáveis de manejo para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a restrição de regulação da produção usual (abordagem 2)

Município	Prescrição de manejo	Idade inicial (anos)	Variáveis de decisão	Horizonte de planejamento (anos)							Idade Final (anos)	
				0	1	2	3	4	5	6		7
1	5	1	X ₁₂₁						73			3
1	7	2	X ₂₃₁						56			3
1	7	3	X ₃₃₁					70				4
1	7	4	X ₄₄₁				77					5
1	7-5	5	X ₅₆₁			79					79	1
1	7-5	6	X ₆₄₁		62					62		2
1	7-5	7	X ₇₁₁	48,1					48,1			3
1	7-6	7	X ₇₂₁	24,9						24,9		2
Total município 1				73,0	62,0	79,0	77,0	70,0	177,1	86,9	79,0	
2	6	1	X ₈₂₂						90,0			3
2	6	2	X ₉₂₂					68,9				4
2	7	2	X ₉₃₂						31,1			3
2	7	3	X ₁₀₃₂					80,0				4
2	6-5	4	X ₁₁₃₂			19,5					19,5	1
2	7	4	X ₁₁₄₂				100,5					5
2	7-5	5	X ₁₂₆₂			100,0					100,0	1
2	7-5	6	X ₁₃₄₂		80,0					80,0		2
2	7-6	7	X ₁₄₂₂	116,0						116,0		2
Total município 2				116,0	80,0	119,5	100,5	148,9	121,1	196,0	119,5	
3	6	1	X ₁₅₂₃						140,0			3
3	6	2	X ₁₆₂₃					120,0				4
3	6	3	X ₁₇₂₃				60,7					5

Tabela 4 – Cont.

3	7	3	X ₁₇₃₃					99,3		4	
3	7	4	X ₁₈₄₃			200,0				5	
3	6-5	5	X ₁₉₄₃	2,5				2,5		2	
3	7-5	5	X ₁₉₆₃		97,5				97,5	1	
3	7-5	6	X ₂₀₄₃	7,8				7,8		2	
3	7-6	6	X ₂₀₅₃	142,2					142,2	1	
3	7-6	7	X ₂₁₂₃	145,0				145,0		2	
Total município 3				145,0	152,5	97,5	260,7	219,3	140,0	155,3	239,7
Total				334,0	294,5	296,0	438,2	438,2	438,2	438,2	438,2

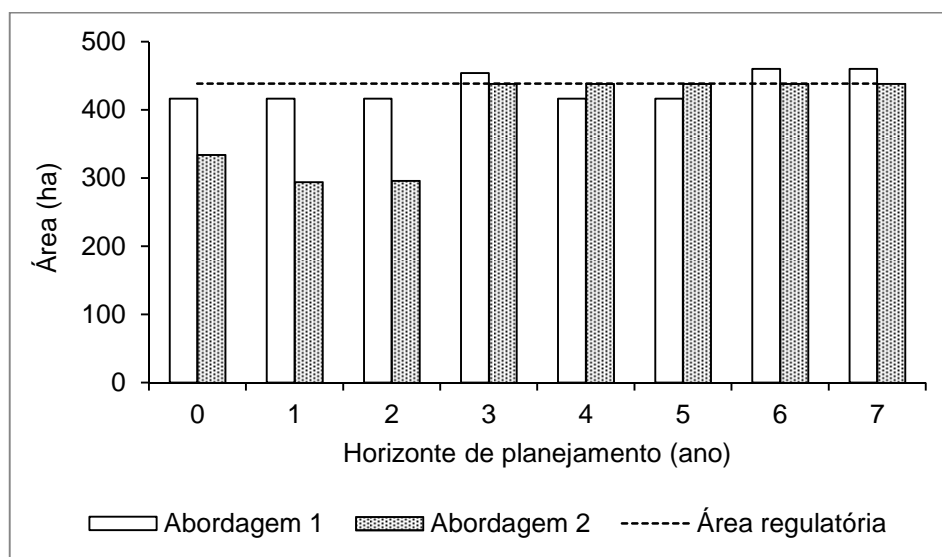


Figura 1 – Área de colheita anual para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a antecipação da regulação florestal (abordagem 1) e a restrição de regulação da produção usual (abordagem 2).

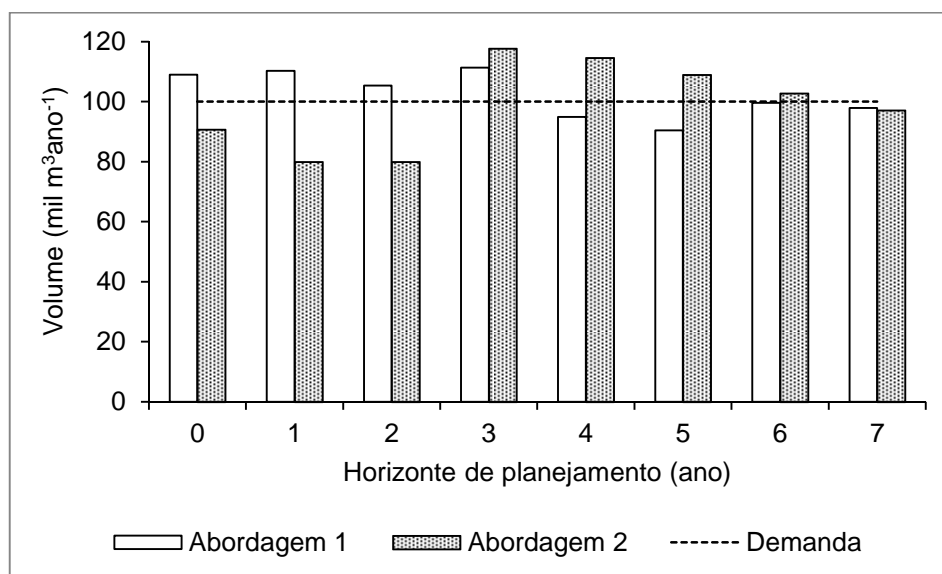


Figura 2 – Volume anual obtido para o povoamento de eucalipto utilizado no estudo de caso, considerando a antecipação da regulação florestal (abordagem 1) e a restrição de regulação da produção usual (abordagem 2).

4.4 Discussão

A modelagem de problemas de planejamento florestal tem sido feita utilizando o modelo I ou o modelo II de programação linear (JOHNSON; SHEURMAN, 1977). Soluções ótimas obtidas com o modelo I podem ser encontradas em Nautyal e Pearse (1967), Ware e Clutter (1971), Taube Netto (1984), Rodrigues *et al.*, (1999) entre vários outros autores.

No presente trabalho, foi utilizado o modelo I de *PL*, com vistas a maximizar a receita líquida (valor presente líquido – *VPL*). A receita líquida é dada pelo somatório dos valores de custos e receitas das prescrições selecionadas em cada regime, capitalizados ou descapitalizados para determinado ano do horizonte de planejamento (*HP*). No presente trabalho, esses valores foram descapitalizados para o ano zero do *HP*. Maximizar o valor desse somatório significa priorizar a escolha dos regimes economicamente ótimos. O *VPL* foi utilizado, pois se objetivou testar a viabilidade da regulação no início do *HP*, considerando a proporção de área de cada município.

A receita líquida, utilizando a regulação a partir do ano zero, reduziu 3,38%, o que indica penalização ao se estabelecer essa restrição no modelo. Esse valor é relativamente pequeno comparado a outro caso, como Binoti (2010), que encontrou redução de 8% no *VPL* global, como consequência da imposição de restrição de ordem ambiental. Cabe lembrar que Binoti (2010) considerou um horizonte de planejamento de 18 anos, enquanto no presente trabalho, o *HP* foi de apenas oito anos, o que pode ser uma justificativa para tal resultado.

Essa penalização na receita líquida seria um indicativo para a empresa não adotar tal medida. Contudo, deve-se verificar o apelo social dessa nova abordagem, já que tal medida garante que sejam efetuadas colheitas de madeira anualmente em cada município envolvido no empreendimento.

As duas abordagens aqui descritas levaram à obtenção de diferentes planos de manejo ótimo (Tabelas 3 e 4). Portanto, a inclusão de critérios de responsabilidade social promove alterações no regime ótimo de manejo.

Rodrigues (2002), ao inserir critérios sociais e ambientais, e Binoti (2010), ao incluir critérios ambientais, também constataram alterações nas indicações ótimas do plano de manejo. A abordagem utilizada promoveu menor variação na área de colheita anual em cada município (Figura 1) e no volume anual (Figura 2), o que favorece a adoção de estratégias de gestão mais eficientes. Para obter solução factível, no presente estudo, foi necessário fazer um relaxamento em duas restrições de área, para os municípios 1 e 2, uma em cada município. Nesse caso, a igualdade de área foi substituída por inequação (\geq).

O volume total indicado para todo o horizonte de planejamento foi maior na abordagem 1. Isso representa maior custo de colheita para a empresa. Contudo, a abordagem proposta revela-se de grande utilidade para a avaliação de variáveis antes não consideradas durante o processo de seleção de regimes de manejo.

Embora o volume total seja maior na abordagem 1, a receita líquida global foi menor, o que indica que está sendo priorizada a distribuição de área por município, estratégia que nem sempre produz maior valor econômico. Considerando o dinamismo do processo de busca pela sustentabilidade, novos objetivos poderão ser incluídos e seu efeito mensurado economicamente, como será descrito no cenário estabelecido para avaliar a possibilidade de a empresa ceder áreas, no primeiro ano de implantação, para o cultivo de culturas agrícolas pela comunidade.

Conclusões

1. A antecipação da regulação florestal compromete a receita líquida global da empresa e promove alteração na gestão das unidades de manejo.
2. A adoção dessa abordagem justifica-se pelo ganho social para os municípios, pois garante colheita anual em cada município.

Referências

- BETTINGER, P.; BOSTON, K.; SIRY, L. P.; GREBNER, R. L. **Forest management and planning**. New York: Elsevier, 2009. 331 p.
- BINOTI, D. H. B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vistas ao manejo da paisagem**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- BRASIL. Decreto-lei nº 38.714, de 24 de março de 1997. Belo Horizonte-MG.
- BUONGIORNO, J.; GILLES, J. K. **Decision methods for forest resource management**. San Diego, CA: Academic Press. 2003. 439 p.
- CASTRO, R. R. **Regulação de Florestas equiâneas incluindo restrições de adjacência**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N.; BETTINGER, P.; Howard, T. E. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4.ed. Long Grove: Waveland Press Inc., 2005. 804 p. (Reissued).
- DYKSTRA, D. P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984. 318 p.
- JOHNSON, K. N., SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis. **Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 1-31, 1977.
- NAUTIYAL, J. C.; PEARSE, P. H. Optimizing the conversion to sustained-yield – a programming solution. **Forest Science**, v. 13, p. 131-139, 1967.
- RODRIGUES, F. L. **Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear**. 1997. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, M. L. Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear: uma aplicação da teoria do modelo II. **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p. 193-213, 1998.
- RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; GOMES, A. N. Determinação de estratégias ótimas de reforma, condução da brotação e compra de terras, utilizando programação linear. **Revista Árvore**, v. 23, n. 2, p. 169-186, 1999.
- RODRIGUES, F. A. **Inclusão das dimensões social e ecológica em planos de manejo para florestas de rápido crescimento**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

SGS QUALIFOR. **Relatório de monitoramento do manejo florestal.** Resumo Público da Celulose Nipo-Brasileira S.A. - CENIBRA. 2006. 109 p. Acesso em: 20 junho 2010. Disponível em: < <http://www.cn.sgs.com/sgs-8155-br-cenibra-sa2009-14-ad36a-gm-psummary-es-09.pdf> >.

TAUBE NETTO, M. Um modelo de programação linear para planejamento de florestas de eucalipto. **Pesquisa Operacional**, v. 4, n. 1, p. 19-39, 1984.

VOLPI, N. M. P.; CARNIERI, C.; SANQUETA, C. R. O impacto da estocasticidade das informações em um modelo de planejamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 23, n. 1, p. 103-112, 1999.

WARE, G. O.; CLUTTER, J. L. A mathematical programming system for the management of industrial forests. **Forest Science**, v. 17, n. 3, p. 428-445, 1971.

CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos estudos de caso analisados, os resultados permitiram as seguintes conclusões gerais:

1. A restrição de estratificação espacial por município, nas condições do presente estudo, não reduz a receita líquida da empresa, assim como não compromete o atendimento à demanda de madeira.
2. A restrição de estratificação espacial regulação por município promove menor variação no volume anual de madeira colhida em cada município.
3. A doação de madeira de menor diâmetro, menor que 11,0 cm, favorece o aumento da receita líquida da empresa (devido à redução de custo de colheita) e não compromete o atendimento à demanda de madeira da empresa.
4. A doação de madeira promove receita bruta significativa à comunidade sem comprometer a receita líquida da empresa.

APÊNDICE A

Prescrições viáveis de manejo considerando um horizonte de planejamento de oito anos

Unidade de manejo	Município	Idade Atual (anos)	Rotação (anos)	Horizonte de planejamento								Idade Final	Prescrições de manejo			
				0	1	2	3	4	5	6	7					
1	1	1	5										4	X ₁₁₁		
1	1	1	6											3	X ₁₂₁	
1	1	1	7												2	X ₁₃₁
2	1	2	5												5	X ₂₁₁
2	1	2	6												4	X ₂₂₁
2	1	2	7												3	X ₂₃₁
3	1	3	5-5												1	X ₃₁₁
3	1	3	6												5	X ₃₂₁
3	1	3	7												4	X ₃₃₁
4	1	4	5-5												2	X ₄₁₁
4	1	4	5-6												1	X ₄₂₁
4	1	4	6-5												1	X ₄₃₁
4	1	4	7												5	X ₄₄₁
5	1	5	5-5												3	X ₅₁₁
5	1	5	5-6												2	X ₅₂₁
5	1	5	5-7												1	X ₅₃₁
5	1	5	6-5												2	X ₅₄₁
5	1	5	6-6												1	X ₅₅₁
5	1	5	7-5												1	X ₅₆₁
6	1	6	6-5												3	X ₆₁₁
6	1	6	6-6												2	X ₆₂₁
6	1	6	6-7												1	X ₆₃₁
6	1	6	7-5												2	X ₆₄₁
6	1	6	7-6												1	X ₆₅₁
7	1	7	7-5												3	X ₇₁₁
7	1	7	7-6												2	X ₇₂₁
7	1	7	7-7												1	X ₇₃₁
8	2	1	5												4	X ₈₁₂
8	2	1	6												3	X ₈₂₂
8	2	1	7												2	X ₈₃₂
9	2	2	5												5	X ₉₁₂
9	2	2	6												4	X ₉₂₂
9	2	2	7												3	X ₉₃₂
10	2	3	5-5												1	X ₁₀₁₂
10	2	3	6												5	X ₁₀₂₂
10	2	3	7												4	X ₁₀₃₂
11	2	4	5-5												2	X ₁₁₁₂
11	2	4	5-6												1	X ₁₁₂₂
11	2	4	6-5												1	X ₁₁₃₂
11	2	4	7												5	X ₁₁₄₂
12	2	5	5-5												3	X ₁₂₁₂
12	2	5	5-6												2	X ₁₂₂₂
12	2	5	5-7												1	X ₁₂₃₂
12	2	5	6-5												2	X ₁₂₄₂
12	2	5	6-6												1	X ₁₂₅₂
12	2	5	7-5												1	X ₁₂₆₂
13	2	6	6-5												3	X ₁₃₁₂
13	2	6	6-6												2	X ₁₃₂₂
13	2	6	6-7												1	X ₁₃₃₂
13	2	6	7-5												2	X ₁₃₄₂
13	2	6	7-6												1	X ₁₃₅₂
14	2	7	7-5												3	X ₁₄₁₂
14	2	7	7-6												2	X ₁₄₂₂

14	2	7	7-7	■						1	X ₁₄₃₂
15	3	1	5					■		4	X ₁₅₁₃
15	3	1	6					■	■	3	X ₁₅₂₃
15	3	1	7					■	■	2	X ₁₅₃₃
16	3	2	5					■		5	X ₁₆₁₃
16	3	2	6					■	■	4	X ₁₆₂₃
16	3	2	7					■	■	3	X ₁₆₃₃
17	3	3	5-5					■		1	X ₁₇₁₃
17	3	3	6					■	■	5	X ₁₇₂₃
17	3	3	7					■	■	4	X ₁₇₃₃
18	3	4	5-5					■		2	X ₁₈₁₃
18	3	4	5-6					■	■	1	X ₁₈₂₃
18	3	4	6-5					■	■	1	X ₁₈₃₃
18	3	4	7					■		5	X ₁₈₄₃
19	3	5	5-5					■		3	X ₁₉₁₃
19	3	5	5-6					■	■	2	X ₁₉₂₃
19	3	5	5-7					■	■	1	X ₁₉₃₃
19	3	5	6-5					■	■	2	X ₁₉₄₃
19	3	5	6-6					■	■	1	X ₁₉₅₃
19	3	5	7-5					■	■	1	X ₁₉₆₃
20	3	6	6-5					■		3	X ₂₀₁₃
20	3	6	6-6					■	■	2	X ₂₀₂₃
20	3	6	6-7					■	■	1	X ₂₀₃₃
20	3	6	7-5					■	■	2	X ₂₀₄₃
20	3	6	7-6					■	■	1	X ₂₀₅₃
21	3	7	7-5					■		3	X ₂₁₁₃
21	3	7	7-6					■	■	2	X ₂₁₂₃
21	3	7	7-7					■	■	1	X ₂₁₃₃

■ Realizar atividade operacional de colheita e plantio.

□ Não realizar atividade operacional de colheita e plantio.