

CÍNTIA RIBEIRO GOMIDE

**REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO
INCLUINDO DESBASTES SELETIVOS**

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
AGOSTO – 2013

CÍNTIA RIBEIRO GOMIDE

**REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO
INCLUINDO DESBASTES SELETIVOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
AGOSTO – 2013

CÍNTIA RIBEIRO GOMIDE

**REGULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO
INCLUINDO DESBASTES SELETIVOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

Aprovada em 16 de Agosto de 2013

Prof. Hélio Garcia Leite
(Orientador)

Prof. Márcio Lopes da Silva

Ms. Gustavo Eduardo Marcatti

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

À minha família pelas orações, apoio e incentivo. Especialmente, aos meus pais, João Roberto Gomide e Maris Coeli Ribeiro Gomide, por todo amor e carinho.

Ao meu irmão Cássio Ribeiro Gomide pela amizade, conselhos e presença.

Ao Professor Helio Garcia Leite, por acreditar na minha capacidade, pelos ensinamentos, pela oportunidade e orientação nesse trabalho, meus eternos agradecimentos.

Ao Dr. Daniel Binoti pelas orientações, conselhos e disponibilização do software RPF.

Ao Ms. Rafael Rode pelas sugestões e correções desse trabalho.

À Simone Silva e Marcos Antônio Miranda pelo aprendizado e auxílio para a realização desse trabalho.

À CENIBRA, na pessoa de Cláudio Rogério Pontes e Mauro Antônio Pereira Werneburg, pela oportunidade de estágio e pela experiência compartilhada.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) na pessoa de seus professores e funcionários, pela formação acadêmica.

Aos grandes amigos da graduação, agradeço a amizade e por compartilhar todos os momentos durante esses anos.

BIOGRAFIA

Cíntia Ribeiro Gomide é natural de Campo Belo, Minas Gerais. Filha de João Roberto Gomide e Maris Coeli Ribeiro Gomide, nasceu em 16 de maio de 1990.

Em 2007, concluiu o 2º grau no Colégio Dom Cabral em Campo Belo, Minas Gerais.

Iniciou o curso de Engenharia Florestal, em 2008, na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em Setembro de 2013.

ÍNDICE

EXTRATO	VIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Manejo, planejamento e regulação florestal	5
2.1.1. Importância dos elementos do manejo para a regulação florestal.....	6
2.2. A pesquisa operacional na Engenharia Florestal	7
2.2.1. Programação linear	8
2.3. Sistemas de suporte a decisão (Softwares).....	9
2.4. Regimes de desbaste.....	11
2.4.1. Efeitos do desbaste	13
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivos específicos.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. Caracterização da área de estudo	14
4.2. Estimativa da produção	15
4.3. Determinação do ciclo ótimo de desbastes.....	16
4.4. Formulação do problema de planejamento.....	16
4.5. Custos e receitas.....	19

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5.1. Modelo sem simulação de desbaste (Modelo A).....	21
5.2. Modelo com simulação de desbaste (Modelo B).....	24
5.3. Comparação dos modelos de planejamento.....	28
6. CONCLUSÕES	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

EXTRATO

GOMIDE, Cíntia Ribeiro. Universidade Federal de Viçosa, Agosto de 2013. **regulação da produção de povoamentos de eucalipto incluindo desbastes seletivos**. Orientador: Helio Garcia Leite.

Visando o atendimento tanto dos setores de celulose e energia como da demanda de madeira para serraria ou laminação, empresas florestais podem adotar maiores ciclos de corte nos povoamentos de eucalipto, aplicando desbastes, em substituição do manejo tradicional. Entretanto, quando os povoamentos são submetidos a desbastes a definição de prescrições com base apenas na idade técnica de corte das unidades de manejo não é suficiente, é necessário incluir prescrições com aplicação de desbaste. O objetivo desse trabalho foi desenvolver modelos de regulação para floresta com produção destinada à celulose (Modelo A) e incluindo aplicação de desbastes seletivos (Modelo B), onde a produção seria destinada à serraria, utilizando a programação linear e empregando o software RPF – Regulação de Produção Florestal. O cadastro florestal utilizado era composto por 193 unidades de manejo, constituindo uma distribuição irregular de classes de idade. A análise econômica foi realizada calculando o valor presente líquido (VPL), para cada modelo. Após a resolução dos modelos, verificou-se que a solução para ambos os problemas de planejamento atenderam as restrições de área de corte e produção do volume anual para a maioria dos períodos de planejamento, e ocorreu a

formação de uma nova estrutura de distribuição de classes de idade, necessária para fins de regulação. Comparando as soluções encontradas, observou-se um acréscimo de 5,0% no VPL para o Modelo B, com aplicação de desbastes. Assim, concluiu-se que o programa RPF é eficiente para a formulação e resolução de modelos de regulação florestal para corte raso, e que a inclusão de desbastes e venda de madeira para serraria resulta em retorno econômico significativo.

1. INTRODUÇÃO

Áreas com plantios florestais no Brasil ocuparam 6,6 milhões de hectares em 2012, sendo 76,6% representada pelo gênero *Eucalyptus* e híbridos. As florestas plantadas com esse gênero apresentavam produtividade média de $40 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (ABRAF, 2013). Entretanto, mesmo com elevada produtividade, a sustentabilidade do processo produtivo florestal deve ser considerada pelos gestores no manejo da floresta. Manejo Florestal, segundo Ahrens (1992) e Campos e Leite (2013), é o desenvolvimento e aplicação de análises quantitativas na tomada de decisão, a fim de garantir a produção de produtos, serviços e, ou, benefícios, diretos ou indiretos, na quantidade e qualidade requeridas, considerando a organização, o uso e a conservação da floresta e dos recursos relacionados.

O manejo tem como um dos principais objetivos a obtenção de uma floresta regulada. Essa regulação visa maximizar o retorno financeiro, determinar os critérios e sequenciamento da colheita, além de permitir a definição de maneira ótima, das práticas silviculturais a serem aplicadas a cada unidade de manejo, para que um empreendimento atenda aos objetivos de produção (energia, celulose, madeira serrada etc.).

Buscando atender tanto os setores de celulose e energia como a demanda de madeira para serraria ou laminação, pequenos produtores e empresas florestais podem

adotar ciclos de corte maiores nos povoamentos de eucalipto, aplicando desbaste e desrama artificial, em substituição ao manejo tradicional (DIAS et al., 2005).

O desbaste pode ser definido como cortes parciais realizados no povoamento, visando concentrar os fatores de crescimento para árvores remanescentes. Quando aplicado no momento ótimo, resulta em antecipação da mortalidade regular, ou seja, o desbaste pode resultar em mortalidade zero ao longo do horizonte de planejamento (CAMPOS E LEITE, 2013).

Quando os povoamentos são submetidos a desbaste, a definição das prescrições com base apenas na idade técnica de corte das unidades de manejo não é suficiente. É necessário incluir prescrições com aplicação de desbaste. Assim como a definição da idade técnica de corte é importante no manejo para um único uso da madeira, a definição de regimes ótimos de desbaste é importante quando existe o interesse em produzir árvores remanescentes de maior porte.

Devido à complexidade e quantidade de variáveis envolvidas nos modelos de regulação florestal, cada vez mais se torna necessário utilizar ferramentas da pesquisa operacional para auxiliar no direcionamento das decisões (RODRIGUES 2001). A Programação Linear é uma das técnicas mais comumente utilizadas e consiste na alocação ótima de recursos, geralmente limitados, para atividades competitivas.

Existem diferentes softwares para gerar modelos de regulação florestal, dentre eles o RPF - Regulação da Produção Florestal, desenvolvido para auxiliar a construção de modelos de regulação florestal (BINOTI et al., 2011). O RPF já foi utilizado em pesquisas sobre regulação florestal com inclusão apenas do corte raso. Não foram encontradas referências sobre o uso do software no caso de florestas submetidas a desbastes.

Muitas estratégias de regulação já foram desenvolvidas para manejo de florestas de eucalipto no Brasil (Rodrigues et al., 2003; Castro, 2007; Binoti, 2010). Entretanto são raros os estudos de regulação com inclusão de desbastes seletivos e manejo para celulose. Santos (2008) desenvolveu um modelo de regulação incluindo desbastes, onde o objetivo era a regulação para produção de madeira para celulose, com aproveitamento das melhores e maiores toras para serraria. Nesse estudo o autor recomenda o desenvolvimento de pesquisa onde o objetivo fosse a maximização da produção para

serraria, incluindo a regulação para produção de celulose como restrição do modelo de programação linear.

A decisão para a aplicação de desbaste deve considerar fatores como: os objetivos do manejo, o espaçamento inicial, a qualidade do local e a topografia, a existência de mercado para diferentes produtos, a disponibilidade de mão-de-obra e equipamentos. Como, no Brasil, as grandes empresas florestais apresentam objetivos de produção bem definidos, a recomendação de desbaste pode ser mais viável para pequenos produtores que almejam a venda da madeira ao final do ciclo.

Considerando que ao realizar desbaste, as árvores remanescentes apresentam maior valor individual, ou seja, melhor preço de venda no mercado e menor custo médio de colheita, este trabalho consistiu em elaborar modelos de regulação da produção de povoamentos de eucalipto manejados com e sem aplicação de desbastes. E demonstrar, através da comparação das soluções encontradas para cada modelo e análise econômica, se a aplicação de desbastes é viável.

2. OBJETIVOS

Com base nas recomendações de Santos (2008), o objetivo desse estudo foi desenvolver modelos de regulação para floresta com produção destinada à celulose e madeira serrada.

2.1. Objetivos específicos

- Construir e aplicar um modelo de regulação visando determinar a área de corte e produção em volume para celulose sem a aplicação de desbastes;
- Construir e aplicar um modelo de regulação visando determinar a área de corte e a produção em volume, com aplicação de desbastes, para maximizar a produção de madeira para serraria com garantia de regulação para celulose;
- Determinar os custos e receitas anuais da solução de cada modelo, bem como o valor presente líquido (VPL) das soluções;
- Comparar a solução desses dois modelos de regulação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Manejo, planejamento e regulação florestal

Manejo Florestal, segundo Campos e Leite (2013), é o gerenciamento dos recursos florestais a partir do desenvolvimento e aplicação de métodos quantitativos e conhecimentos ecofisiológicos, a fim de garantir produtos, serviços e, ou, benefícios, diretos e indiretos, com vistas à sustentabilidade (econômica, social e ambiental), a partir de uma floresta.

Rodrigues (2001) definiu gerenciamento como o esforço necessário para alcançar metas e, esse conceito envolve, dentre outros processos, o planejamento.

O planejamento florestal consiste em definir a sequência de realização dos diversos tratamentos silviculturais e operações de colheita, visando à obtenção de uma floresta regulada. Não é uma tarefa simples, pois deve considerar informações que contenham características da floresta a ser manejada, como o potencial de produção, a disponibilidade de terras e os principais objetivos aos quais se destina essa floresta (BINOTI, 2010).

Diante do grande número de variáveis de decisão resultantes da interação dos aspectos citados, a regulação florestal foi considerada por Clutter et al. (1983), um problema clássico de planejamento florestal.

Leuschner (1990) definiu regulação da produção florestal como sendo a obtenção regular, anual ou periódica, de produtos da floresta que apresentem igual volume, tamanho e qualidade, garantindo o suprimento da demanda desses produtos no mercado. Conforme este autor, o objetivo da regulação é a maximização do retorno financeiro, garantindo, ao mesmo tempo, uma base sustentável do estoque de crescimento da floresta. Sendo que a sustentabilidade não se limita a produção de madeira, mas a qualquer produto da floresta.

Uma floresta regulada está sujeita a diversas restrições de manejo, tais como: fornecer produtos que atendam as especificações de mercado e em quantidades que oscilem dentro de um limite determinado; ser compatível com a disponibilidade de capital financeiro e intelectual; garantir emprego regular da mão-de-obra; e apresentar um custo mínimo ou retorno máximo dentro de um horizonte de planejamento (RODRIGUES, 1997). Para atender estas restrições, são construídos modelos de regulação em que o horizonte de planejamento, geralmente, contempla vários anos e, por isso, são chamados modelos de planejamento estratégico ou de longo prazo.

Portanto, após o período de transição, ou seja, o tempo necessário para a conversão de uma distribuição de classe de idade atual em uma estrutura regulada, a floresta deve apresentar áreas proporcionais em todas as classes de idade, ou seja, desde a implantação até a idade de rotação, crescendo constantemente e atendendo o mercado, em quantidade e qualidade, de forma contínua (DAVIS E JOHNSON, 1987).

3.1.1. Importância dos elementos do manejo para a regulação florestal

Segundo Davis e Johnson (1987), os três elementos do manejo florestal são: a classificação de terras; a prescrição de tratamentos silviculturais e a predição (ou projeção) do crescimento.

1) Determinação da capacidade produtiva e classificação de terras:

A capacidade produtiva de um lugar é o potencial de produção de madeira para uma espécie, considerando os fatores de crescimento disponíveis nesse mesmo lugar. A determinação da capacidade produtiva é importante para seleção de espécies, aplicação de resultados experimentais, definição de unidades de manejo, estudo dos efeitos da

adubação, decisões sobre o regime de corte e estudos sobre produtividade e modelagem do crescimento e da produção (LEITE, 1994).

Para modelagem do crescimento e produção, o método mais utilizado para classificar a capacidade produtiva é através da relação da altura dominante e idade, gerando os índices de local. Esse índice é a altura dominante média do povoamento numa idade de referência (idade-índice). De acordo com Assmann (1961), a altura dominante de um povoamento é igual à média das alturas totais das 100 árvores normais de maior *dap* em um hectare representativo desse povoamento. Com base nesse conceito geralmente são medidas cerca de cinco alturas de árvores dominantes por parcela de cerca de 500m² de área; a média dessas alturas é assumida como sendo a altura dominante da parcela.

A classificação de terras e o conhecimento da capacidade produtiva são importantes para a modelagem do crescimento e produção, definição de unidades de manejo homogêneas, otimização dos regimes de corte e desbastes, e determinação das prescrições.

2) Prescrição de tratamentos:

As prescrições representam sequências preestabelecidas de ações a serem realizadas em cada unidade de manejo durante o horizonte de planejamento, visando otimizar a produção de madeira (DAVIS e JOHNSON, 1987).

3) Crescimento (predição e projeção)

Para atendimento do terceiro elemento do manejo, o crescimento é projetado através do ajuste de modelos de crescimento e produção, como o modelo de Clutter (1963), empregando dados de parcelas permanentes ou de análise de tronco (CAMPOS e LEITE, 2013).

3.2.A pesquisa operacional na Engenharia Florestal

Pesquisa Operacional (PO), segundo Ribeiro (2007), pode ser definida como uma abordagem científica para o processo de tomada de decisão, buscando determinar a melhor forma de planejar e operar um sistema, geralmente sob situações de alocação

ótima de recursos escassos. Conforme Hillier e Liberman (2006), PO são métodos de otimização ou de simulação empregados para alocação de recursos, geralmente escassos, entre atividades geralmente competitivas.

A formulação mais antiga de um problema de programação linear, por meio do método simplex, foi em 1947, desenvolvido por Dantzig, durante a Segunda Guerra Mundial. Iniciou-se então a aplicação da PO na indústria, agricultura e planejamento rural e urbano pelo governo (BOUNGIORNO e GUILLES, 2003).

Devido à quantidade de variáveis e a consequente complexidade dos problemas de PO, torna-se necessária a utilização dos sistemas de suporte a decisão. Os softwares mais utilizados no manejo florestal empregam modelos de Programação Linear (PL), Programação Inteira (PI), Programação Não-Linear (PNL), Programação Multiobjetivo (PMO), Programação Dinâmica (PD) meta-heurística e simulação (Boungiorno e Guilles, 2003; Davis et al., 2005; Bettinger et al., 2009).

Entretanto, a deficiência de tecnologias e, novamente, a complexidade dos problemas e a quantidade de dados envolvidos são fatores que limitam a difusão e utilização dessa ferramenta em larga escala (RODRIGUES et al., 2003). Devido à busca por inovações no setor florestal e a necessidade de ferramentas que assegurem menos riscos no processo de tomada de decisão, encontram-se na literatura vários estudos utilizando a pesquisa operacional, entre eles: BINOTI (2010), BARROS JUNIOR et al. (2009), RODRIGUES et al. (2003), que utilizaram as técnicas de heurística e os trabalhos de SILVA et al. (2006) e MELLO et al. (2008), que utilizaram as técnicas de programação matemática.

3.2.1. Programação linear

Dentre as ferramentas de PO, a PL é a mais comumente utilizada e é definida como a alocação ótima de recursos limitados em atividades competitivas (HILLIER e LIEBERMANN, 2006; TAHA, 2007). É um dos métodos de otimização matemática que define uma solução como ótima (BOUNGIORNO e GUILLES, 2003). De acordo com o Modelo I, descrito por Johnson e Scheurman (1977), uma variável de decisão X_{ij} representa a fração da i -ésima unidade de manejo que deverá ser assinalada a j -ésima prescrição. Um conjunto de alternativas de manejo (X_{ij}), isto é, sequências

preestabelecidas de ações que ocorrerão ao longo do horizonte de planejamento, é prescrito as unidades de manejo.

Para Ribeiro (2007), o uso da programação linear no planejamento florestal se justifica pelos seguintes aspectos:

- É uma das poucas técnicas que podem ser utilizadas para lidar com problemas do porte comumente encontrados no setor florestal;
- É uma técnica de otimização, podendo ser usada para satisfazer certas exigências legais;
- Existe uma considerável experiência acumulada na área de modelagem e manejo de recursos naturais em diversos países;
- Existência de programas para micro-computadores e de interfaces específicas para determinadas classes de problemas.

Para propósito de manejo florestal, principalmente quanto se trata de regulação da produção florestal, a grande vantagem dos modelos de PL é permitir uma análise conjunta dos objetivos e restrições que caracterizam o empreendimento florestal, enquanto métodos anteriormente utilizados não permitem esta integração (RODRIGUES, 1997). Carnieri (1989) ressaltou as seguintes críticas da PL aplicada aos problemas florestais:

- Assumir a linearidade de um problema real tem consequências nos resultados, que geralmente não são bem analisados;
- A PL é determinística enquanto que o problema florestal apresenta vários dados incertos, ou seja, é estocástico;
- As soluções geralmente fracionam as unidades de manejo, sendo este fracionamento muitas vezes difícil de implementar.

3.3.Sistemas de suporte a decisão (Softwares)

Segundo Machado e Lopes (2008), os problemas de planejamento florestal envolvem aspectos econômicos, operacionais, ambientais e sociais. Devido à complexidade e quantidade de variáveis envolvidas nos modelos de regulação florestal, cada vez mais se torna necessário a utilização de ferramentas da pesquisa operacional, assim como, a solução desses modelos demandam sistemas computacionais, a fim de

reduzir riscos e incertezas, auxiliando no direcionamento das decisões (Rodrigues, 2001).

Na literatura, é possível encontrar projetos relacionados ao manejo de recursos florestais, destacando-se o *Forplan* (Forest Planning) (Iverson e Aston, 1986), o *Planflor* (Taube Netto, 1984), o *SysFlor* (Rodrigues, 2001), o *SifPlan* (www.treesoftware.com.br), o *Remsoft* (www.remsoft.com) e o *OpTimber-LP* (www.optimber.com.br). Entretanto, havia a necessidade de um programa gratuito que se adequasse as condições do setor florestal brasileiro.

O programa Regulação da Produção Florestal - RPF foi desenvolvido para auxiliar os gestores florestais, extensionistas e acadêmicos na construção de modelos de regulação florestal. Segundo Binoti (2012), o programa é formado de vários sistemas, os quais são designados para solução de situações específicas dos problemas de regulação da produção florestal. Esse software é distribuído gratuitamente e permite o desenvolvimento de modelos de regulação utilizando a programação linear ou inteira mista conforme os critérios de formulação do modelo I, descrito por Johnson e Scheurman (1977).

A estrutura do RPF está representada na Figura 1. Primeiramente são importadas as informações necessárias para a formulação do modelo, como o cadastro florestal, os custos, as receitas e as curvas de produção do povoamento a ser regulado. Após definir as possibilidades de intervenção que poderão ocorrer na floresta durante o horizonte de planejamento, o modelo, representado pela dinâmica, é formulado. As tabelas necessárias as restrições são geradas e o modelo pode ser exportado para resolução em um solver. Ao ser importada, a solução é compilada e organizada pelo sistema RPF.

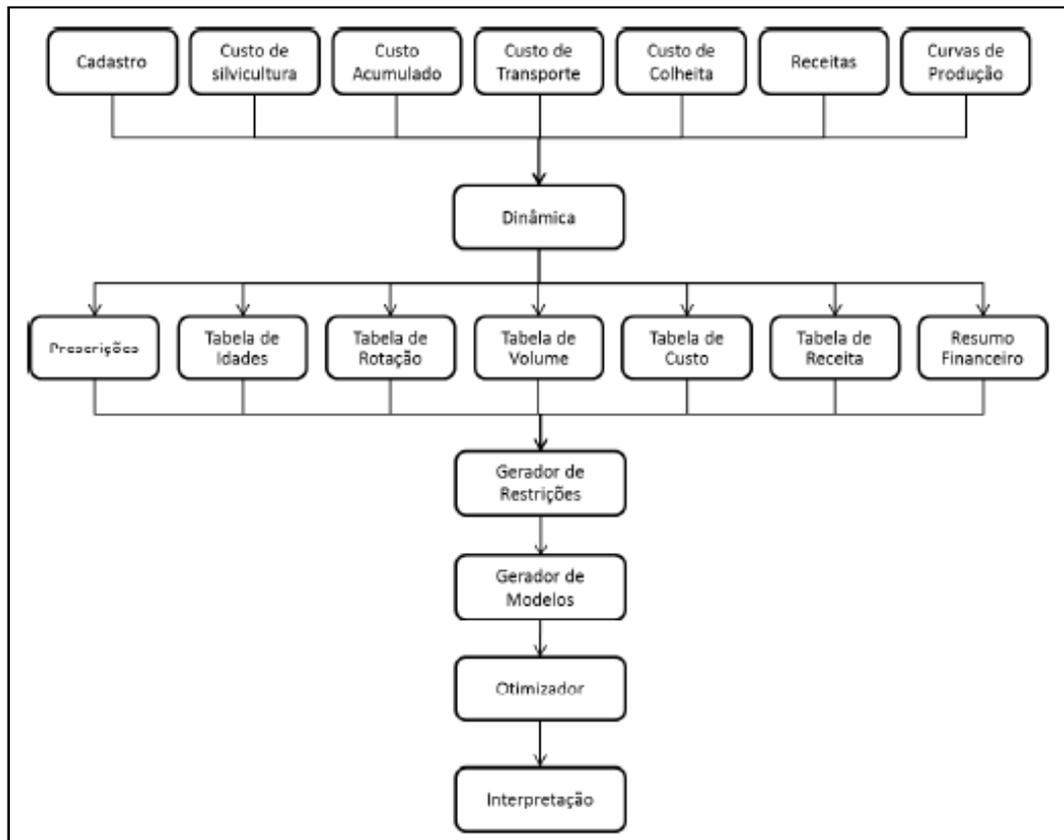


Figura 1: Estrutura básica do sistema RPF.

Fonte: Binoti (2012).

3.4.Regimes de desbaste

Campos e Leite (2013) definiram desbaste como sendo a extração parcial realizada em povoamentos florestais, visando concentrar fatores de crescimento para as árvores remanescentes, resultando em maior crescimento individual e garantia de produção contínua de madeira.

A realização de desbaste pode apresentar benefícios econômicos além de favorecer o desenvolvimento dos povoamentos. Como citado por Campos e Leite (2013), o desbaste “reduz o tempo para produzir árvores de grande porte e tronco uniforme; gera maior rendimento volumétrico no processamento da madeira para produzir troncos de qualidade desejada quanto à forma, sanidade e aspecto da madeira”.

Entretanto, para assegurar esses benefícios é necessário definir o regime ótimo de desbaste, ou seja, determinar quais árvores deverão ser desbastadas, o momento adequado e a intensidade de desbastes, buscando maximizar o retorno financeiro.

A seleção das árvores para o desbaste pode ser realizada com base em um dos seguintes métodos ou combinações: seletivo (a escolha das árvores é prévia, geralmente pautada em características como porte e sanidade, é baseada nos objetivos do desbaste), sistemático (as características das árvores não são consideradas na seleção e um padrão é estabelecido para retirada dos indivíduos) e misto (utiliza-se de critérios do seletivo e sistemático). Conforme Campos e Leite (2013), o desbaste misto é interessante por reunir a vantagem do ponto de vista biológico do seletivo com a maior praticidade do sistemático.

A realização do desbaste no momento ótimo resulta em antecipação da mortalidade regular, ou seja, o desbaste pode resultar em mortalidade zero ao longo do horizonte de planejamento (CAMPOS e LEITE, 2013). Quando o desbaste é aplicado após o momento ótimo, ocorre a estagnação do crescimento devido à competição intra-específica. Quando aplicado precocemente, há crescimento de copa e galhos em detrimento do fuste. Segundo Leite et al (2004), há um consenso entre diversos pesquisadores de que o momento ótimo de aplicação do desbaste seja próximo à estagnação do crescimento. Existem diferentes métodos para identificar o início da estagnação, por exemplo, através de modelos de regressão; acompanhamento da distribuição diamétrica ao longo dos anos; utilizando a relação entre o espaço de crescimento e a altura dominante; ou a relação entre o número de árvores e o diâmetro médio; baseado na área basal relativa (remanescente); entre outros (LEITE et al. 2004; GARCIA, 2000; Hart-BeckKing, 1928 citado por VALE et al, 1984; Reineke, 1933 citado por DAVIS e JOHNSON, 1987; ASSMANN, 1970).

A intensidade (ou peso) de desbaste foi definida por Dias (2000), como a produção em volume do povoamento com a realização do desbaste, podendo ser controlada pelo número de árvores, área basal ou volume desbastado. A intensidade do desbaste exerce influência direta sobre o povoamento remanescente. Quando realizado em intensidades extremas, pode haver redução da produção de madeira comercial. E se o desbaste for realizado em intensidades menores, a produção acumulada é reduzida devido ao elevado estoque e ao restabelecimento da competição, resultando em morte

de algumas árvores (DIAS, 2005) Em ambos os casos, a subutilização da capacidade produtiva do local pode ocorrer como consequência do desbaste, sendo necessários estudos baseados em parcelas permanentes para um efetivo controle do estoque de crescimento.

3.4.1. Efeitos do desbaste

Cada espécie em determinada capacidade produtiva apresenta um espaço de crescimento ótimo que, se o desbaste for definido no momento certo pode resultar em árvores de maior valor individual.

Segundo Dias (2005), os principais efeitos do desbaste durante o desenvolvimento do povoamento são: o aumento da taxa de crescimento em diâmetro; redução pouco significativa do crescimento em volume; e desde que não seja aplicado em intensidade excessiva, alteração pouco significativa no crescimento em altura.

O aumento do crescimento em diâmetro pode causar uma alteração pouco significativa na produção bruta. No entanto, a produtividade comercial é elevada com o aumento da dimensão do fuste.

A influência do desbaste sobre a altura das árvores é pouco significativa, pois este parâmetro não é dependente do espaçamento entre árvores no povoamento, desde que a densidade não seja extrema.

Segundo Clutter et al (1983), o desbaste apresenta os seguintes aspectos econômicos: o volume removido no corte parcial provê rendas intermediárias, porém apresenta baixo valor comercial e alto custo de colheita; apesar de não resultar em produção total maior do que em povoamentos não desbastados, o volume final produzido em um povoamento desbastado apresenta melhor preço de venda e menor custo médio de colheita.

Mesmo não resultando em ganho significativo em crescimento e produção total a aplicação do desbaste se justifica por reduzir a mortalidade natural, transformá-la em renda intermediária e aumentar a qualidade da madeira no corte final (CLUTTER et al., 1983).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dados do cadastro florestal de povoamentos de clones de eucalipto localizados na região centro-oeste de Minas Gerais. A região apresenta um clima quente e distribuição de chuvas irregular, tornando a exploração florestal arriscada, necessitando de tecnologia de apoio à produção.

A área utilizada para as simulações foi de 16.215,61 ha, distribuídas em 193 unidades de manejo com área média de cerca de 28,01 ha, com uma distribuição irregular de classes de idade no momento inicial (Figura 2).

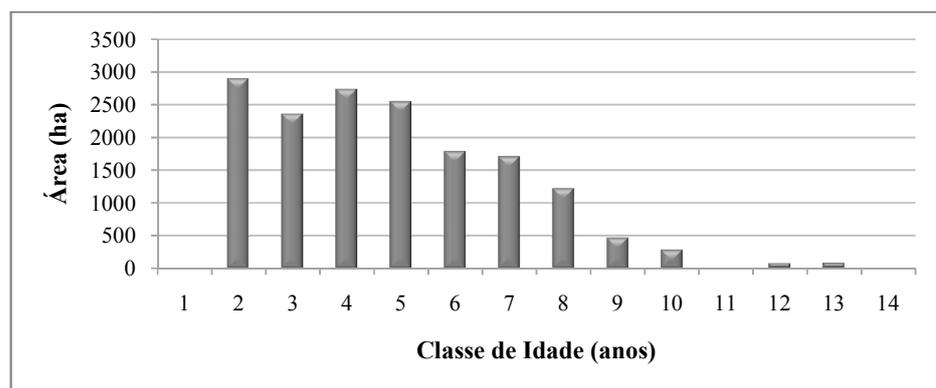


Figura 2: Distribuição inicial de classes de idade das áreas do povoamento de clones de eucalipto estudado.

Parcelas permanentes retangulares de cerca de 400 m² foram instaladas nesses povoamentos e medidas anualmente, sendo utilizados, então, para modelagem do crescimento e da produção. A base de dados contempla idades de 2 a 13 anos, diâmetro médio de 5,0 a 35 cm, altura total entre 10 e 40 m, área basal entre 5,00 e 35,00 m²ha⁻¹ e produção de madeira entre 40 a 450 m³ha⁻¹.

Atualmente os povoamentos são conduzidos com ciclos de até dois cortes, onde se tem um plantio seguido de condução por talhadia, ou seja, regime de alto-fuste (AF) e primeira talhadia (TA), sem aplicação de desbastes.

4.2. Estimativa da produção

Para projeção do crescimento e produção em volume e área basal foi ajustado o modelo de Clutter (1963), na sua forma mais usual, conforme Campos e Leite (2013):

$$\ln V_2 = b_0 + b_1(1/I_2) + b_2S + b_3 \ln B_2 + e \quad (1)$$

$$\ln B_2 = \ln B_1(I_1/I_2) + b_4(1-I_1/I_2) + b_5(1-I_1/I_2)S + e \quad (2)$$

em que:

\ln = logaritmo neperiano;

V_2 = volume futuro por hectare;

I_2 = idade futura;

I_1 = idade presente;

B_2 = área basal futura por hectare;

B_1 = área basal presente por hectare;

S = índice de local;

$b_0 \dots b_5$ = parâmetros do modelo; e

e = erro aleatório.

Os índices de local foram determinados pelo método da curva-guia, que considera a altura dominante em determinada idade-índice, nesse estudo foi utilizada a idade de 84 meses e o modelo de Gompertz (1825):

$$Hd = a * e^{-e^{(b-cl)}} \quad (3)$$

em que:

a, b e c = parâmetros do modelo;

I = idade-índice;

Hd = altura dominante em determinada idade

4.3.Determinação do ciclo ótimo de desbastes

O modelo de crescimento e produção (modelo de Clutter) foi utilizado para simular cenários de desbaste (regimes de desbaste). A avaliação econômica desses regimes foi feita com base no Valor Presente Líquido (VPL), conforme Silva et al (2005). O conjunto de regimes de desbaste gerado foi utilizado como um conjunto de prescrições a serem assinaladas às unidades de manejo.

4.4.Formulação do problema de planejamento

O problema de manejo foi formulado segundo a teoria do Modelo I de Programação Linear descrito por Johnson e Scheurman (1977). A solução foi obtida empregando o software RPF (Binoti et al, 2011) versão 0.15 e o solver Lingo. O horizonte de planejamento foi de 14 anos.

De acordo com o Modelo I, a variável de decisão X_{ij} representa a fração da i -ésima unidade de manejo que deverá ser assinalada a j -ésima prescrição. Um conjunto de alternativas de manejo (X_{ij}) é prescrito as unidades de manejo. As prescrições representam sequências preestabelecidas de ações que ocorrerão ao longo do horizonte de planejamento. A estrutura matemática desse modelo é:

Função Objetivo (F.O.)

$$Max.Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

$$C_{ij} = \sum_{k=0}^{H-1} \frac{R_k - C_k}{(1+r)^k} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq A_i \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij} X_{ij} \geq Dmin_k \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij} X_{ij} \leq Dmax_k \quad (8)$$

$$\sum_{l=1}^{IR} Alk = \frac{\text{Área total}}{R} \quad (9)$$

em que,

Z = valor presente líquido global (R\$)

C_{ij} = é o valor presente líquido (VPL) de cada hectare da alternativa de manejo j a ser implementada na unidade de manejo i ;

X_{ij} = variável de decisão representado a área (ha) da j -ésima alternativa de manejo quando assinalada na i -ésima unidade de manejo;

M = número de unidades de manejo ou estratos;

N = número total de alternativas de manejo j no projeto i ;

Rk = receita total no ano k $\{k = 0, 1, 2, \dots, H-1\}$;

Ck = custo total no ano k , $\{k = 0, 1, 2, \dots, H-1\}$;

r = taxa de juros anual;

H = tamanho do horizonte de planejamento (anos).

A_i = área da i -ésima unidade de manejo ($i=1, 2, \dots, M$).

V_{ijk} = volume por hectare (m³/ha) na i -ésima unidade de manejo manejada segundo a j -ésima alternativa de manejo no período k ($k=0, 1, 2, \dots, H-1$);

$Dmin_k$ e $Dmax_k$ = demanda mínima e máxima respectivamente, produzida no período k ($k=0, 1, 2, \dots, H-1$);

Alk = área do povoamento na idade l no período k ($k = H-1$); e

R = idade regulatória.

De acordo com o Modelo I da PL, a maximização do VPL global está sujeita a restrição de área (6), que garante que a soma das áreas destinadas a cada alternativa de manejo não exceda a área da unidade de manejo; restrição de demanda (7 e 8), que

estabelece níveis desejáveis de produção para cada período do horizonte de planejamento; e restrição de regulação (9), que garante o estabelecimento da regulação.

As alternativas de manejo incluíram corte seguido de reforma imediata, ou seja, apenas um regime de manejo (alto-fuste) foi avaliado. Utilizou-se como rotação regulatória a idade de 6 anos.

Foram formulados dois problemas de planejamento:

Problema 1

A formulação do modelo para simulação de cenários sem aplicação de desbaste (Modelo A) foi realizada no programa Regulação da Produção Florestal (RPF), versão 0.15, desenvolvido por Binoti et al (2011). Na regulação para fins de produção de madeira para celulose, o corte foi permitido entre 6 e 8 anos.

Problema 2

A estrutura matemática do problema 1 foi modificada para atender o objetivo de maximizar a produção de madeira serrada ao final do ciclo de corte, com garantia de regulação da produção de madeira para celulose (Modelo B). A formulação do modelo B para simulação de cenários com aplicação de desbaste foi realizada no *Microsoft Office Excel*. Não foi utilizado o programa RPF, pois não foi possível discriminar a produção de volume proveniente dos regimes de desbaste e o volume resultante da ação de corte raso. Para solucionar o problema de planejamento foi utilizado o solver Lingo.

Permitiu-se a realização de um desbaste seletivo, seguido de corte raso. Foram analisados quatro regimes de manejo, compreendendo três diferentes intensidades de desbaste em área basal, 25%, 35% e 50%. Sendo que, para a última intensidade possibilitou-se duas alternativas de corte raso.

Os cortes parciais foram realizados nas idades de máximo Incremento Médio Anual (IMA), resultando em realização de desbaste entre 4 e 8 anos, conforme as curvas de crescimento e produção referente a cada unidade de manejo. Para cada regime foi calculado a área basal e volume desbastados e remanescentes, a partir das equações do modelo de Clutter (1963). Os valores encontrados foram utilizados para projeção do volume até a idade de 14 anos. Novamente, determinou-se as idades de máximo IMA,

em que foi realizado o corte raso. Já para a intensidade de desbaste de 50% da área basal, foi analisado o corte raso na idade de máximo IMA e aos 14 anos.

4.5.Custos e receitas

Para realizar a análise econômica foi calculado o valor presente líquido (VPL), para cada cenário, conforme a equação:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (10)$$

em que:

C_j = custo do j -ésimo período por unidade de área;

R_j = receita do j -ésimo período por unidade de área;

i = taxa de desconto;

n = duração do projeto em anos; e

j = período em anos.

A taxa de descontos empregada foi de 8,75% a.a.. Os custos encontram-se na Tabela 1 e representam um resumo dos dados apresentados por Binoti (2010). O custo de colheita foi discriminado em custo de desbaste e corte raso, sendo R\$ 12,00/m³ e R\$ 10,00/m³ respectivamente.

Tabela 1: Custos empregados para avaliação econômica dos cenários, por regime de manejo

Alto-fuste			Talhadia		
Idade	Situação	Custo (R\$/ha)	Idade	Situação	Custo (R\$/ha)
1	CR	4059,05	1	CR	2029,52
2	2R	1627,81	2	2T	1627,81
3	3R	757,95	3	3T	757,95
4	4R	88,12	4	4T	88,12
5	5R	88,12	5	5T	88,12
6	6R	88,12	6	6T	88,12
7	7R	88,12	7	7T	88,12
8	8R	88,12	8	8T	88,12
9	9R	88,12	9	9T	88,12
10	10R	88,12	10	10T	88,12
11	11R	88,12	11	11T	88,12
12	12R	88,12	12	12T	88,12
13	13R	88,12	13	13T	88,12
14	14R	88,12	14	14T	88,12

CR = Corte raso, seguido de reforma imediata; R = primeira rotação, regime de alto-fuste; T = segunda rotação, regime de talhadia.

Adaptado de Binoti (2010).

O preço da madeira utilizado foi R\$ 50,00/m³ para madeira proveniente de desbaste, R\$ 80,00/m³ para madeira destinada a celulose e R\$ 120,00/m³ para madeira serrada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Modelo sem simulação de desbaste (Modelo A)

A simulação de cenários sem aplicação de desbaste resultou num modelo de regulação da produção denominado Modelo A.

As possibilidades que poderiam ocorrer na floresta foram definidas através da matriz de transição, com base nas idades em que foi permitido o corte raso, entre 6 e 8 anos, como apresentado na Tabela 2. Como o banco de dados contemplou idades de 2 a 13 anos, foi determinado que as unidades de manejo com idade superior a 8 anos seriam cortadas no primeiro ano do horizonte de planejamento.

Tabela 2: Matriz de transição para a regulação florestal sem aplicação de desbaste

Estado atual	Possibilidades futuras	Estado atual	Possibilidades futuras
1R	2R	8R	CR
2R	3R	9R	CR
3R	4R	10R	CR
4R	5R	11R	CR
5R	6R	12R	CR
6R	7R, CR	13R	CR
7R	8R, CR	CR	1R

As tabelas de Prescrição, Idade, Rotação, Volume, Custos, Receitas e Financeiro foram geradas após a modelagem e execução do gerador de prescrições. O modelo foi formulado considerando as restrições de demanda, mínima e máxima, igual a 150.000 m³ e 300.000 m³ respectivamente, por período do horizonte de planejamento. Inicialmente definiu-se a idade regulatória de 6 anos, porém foi permitida uma variação de 5%, sendo então utilizada 6,32 anos. Com base nessa idade, a restrição de regulação possibilitou área de corte anual maior que 855,83 ha.

O problema de planejamento, sem a inclusão de desbastes (Modelo A) apresentou solução ótima. Sendo que, apenas o primeiro ano do período de transição apresentou valor de VPL negativo, conforme Tabela 3. O VPL global foi igual a R\$ 6.061.016,57.

Tabela 3: Principais parâmetros do problema de planejamento sem simulação de desbaste (Modelo A)

ANO	Área de corte (ha)	Volume de corte (m ³)	Custo Total	Receita Total	VPL
0	772,47	300.000,00	1.680.581,24	873.924,80 -	806.656,44
1	926,62	300.000,00	325.091,24	897.648,00	572.556,76
2	942,40	300.000,00	326.408,48	837.270,40	510.861,92
3	862,73	300.000,00	353.131,07	974.640,80	621.509,73
4	844,22	300.000,00	327.366,87	881.679,20	554.312,33
5	852,02	300.000,00	359.611,42	1.019.351,20	659.739,78
6	599,46	200.506,35	269.986,79	643.410,40	373.423,61
7	963,50	290.296,16	316.580,96	819.506,40	502.925,44
8	855,83	236.098,98	275.910,62	625.876,80	349.966,18
9	855,83	263.318,81	329.443,89	852.089,60	522.645,71
10	855,83	275.303,20	327.519,08	846.155,20	518.636,12
11	855,83	279.632,63	338.450,44	888.963,20	550.512,76
12	921,13	300.000,00	374.432,92	1.016.385,60	641.952,68
13	1.038,60	300.000,00	348.478,81	837.108,80	488.629,99

O VPL negativo encontrado para o primeiro ano do período de transição pode ser explicado pela determinação do corte raso, seguido de reforma, para todas as unidades de manejo com idade superior a 8 anos. Essa ação resulta em elevado custo inicial relativo à colheita e à reforma, o que na prática, pode ocasionar uma distribuição

da sequência de corte dessas unidades de manejo ao longo do horizonte de planejamento.

Após a regulação ocorreu a formação de uma nova distribuição de classes de idade, necessária para fins de regulação (Figura 3). Observou-se que após a solução do modelo, o povoamento apresentou distribuição de áreas até 6 anos, conforme a idade regulatória.



Figura 3: Distribuição final de classes de idade das áreas do povoamento de clones de eucalipto, para o cenário sem desbaste (Modelo A).

A restrição de demanda foi plenamente atendida (Figura 4). A área de corte anual é apresentada na Figura 5.

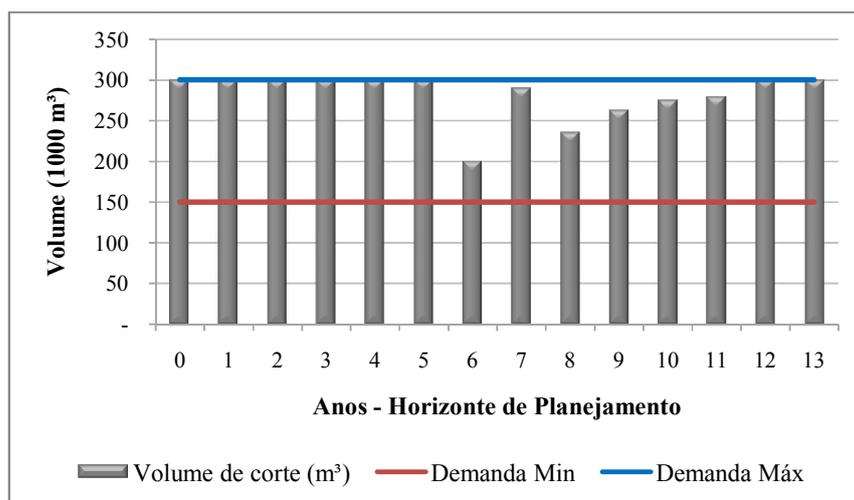


Figura 4: Volume de corte anual para o cenário sem desbaste (Modelo A).

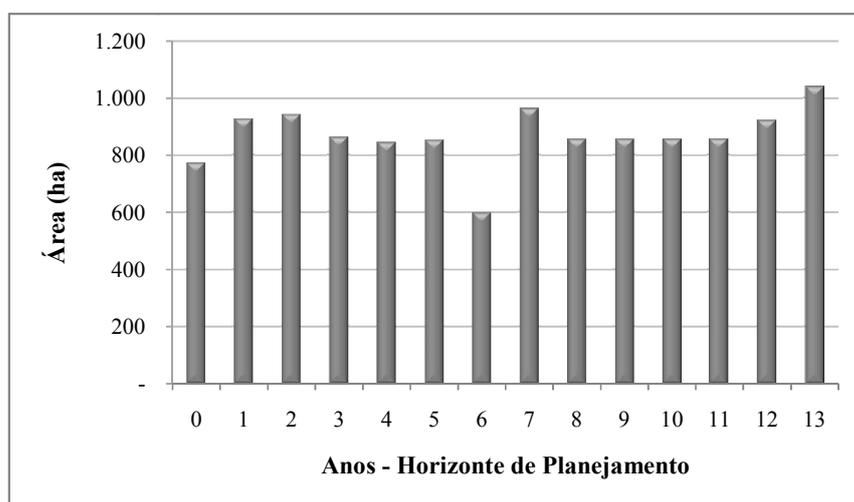


Figura 5: Área de corte anual para o cenário sem desbaste (Modelo A).

5.2. Modelo com simulação de desbaste (Modelo B)

A simulação de cenários com aplicação de desbaste resultou num modelo de regulação da produção denominado Modelo B.

Ao simular os regimes de desbaste para as idades em que o IMA foi máximo, possibilitou-se os cortes parciais entre 4 e 8 anos. Como as prescrições de desbaste permitiram remoção de 25%, 35% e 50% da área basal, cada intensidade exerceu

influência direta sobre o povoamento remanescente, fazendo com que a idade de máximo IMA e, conseqüente corte raso, apresentasse variação entre 6 e 14 anos. As possibilidades futuras estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de transição para a regulação florestal com aplicação de desbaste (Modelo B)

Estado atual	Possibilidades futuras	Estado atual	Possibilidades futuras
1R	2R	9R	10R, CR
2R	3R	10R	11R, CR
3R	4R	11R	12R, CR
4R	5R, D	12R	13R, CR
5R	6R, D	13R	14R, CR
6R	7R, D, CR	14R	CR
7R	8R, D, CR	CR	1R
8R	9R, D, CR		

O modelo foi formulado considerando as restrições de demanda mínima e máxima igual a 150.000 m³ e 300.000 m³ respectivamente, por período do horizonte de planejamento. A idade regulatória foi definida em 6 anos, portanto a restrição de regulação possibilitou área de corte anual maior que 900,87 ha.

O problema de planejamento apresentou solução ótima. Para todos os anos do período de transição os valores de VPL foram positivos, conforme Tabela 5. O VPL global foi igual a R\$ 6.398.748,10.

Tabela 5: Principais parâmetros do problema de planejamento com simulação de desbaste (Modelo B)

ANO	Área de corte (ha)	Volume de corte total (m ³)	Volume de corte serraria (m ³)	Volume de corte celulose (m ³)	Custo Total	Receita Total	VPL
0	1.144,77	250.666,87	188.950,86	61.716,01	195.208,87	1.001.141,45	805.932,58
1	1.543,33	300.000,03	199.896,53	100.103,49	205.948,12	887.837,43	681.889,31
2	1.492,91	245.541,71	138.315,03	107.226,68	178.846,14	700.742,79	521.896,65
3	1.809,22	299.999,96	221.300,92	78.699,04	178.728,99	830.967,60	652.238,61
4	1.269,32	270.738,26	214.334,38	56.403,88	196.372,82	849.791,01	653.418,19
5	1.181,41	299.999,13	277.566,73	22.432,40	196.537,00	836.055,02	639.518,02
6	865,85	187.459,98	154.038,85	33.421,13	176.861,38	467.347,42	290.486,04
7	982,88	183.642,38	138.515,27	45.127,11	137.733,86	427.325,14	289.591,28
8	869,61	150.000,23	110.964,76	39.035,46	109.307,86	324.083,71	214.775,85
9	1.738,49	285.529,76	207.971,59	77.558,16	104.699,87	452.016,53	347.316,66
10	1.610,68	299.999,36	255.144,77	44.854,59	109.263,86	497.831,88	388.568,02
11	1.490,06	300.000,93	238.770,19	61.230,74	117.091,33	455.737,42	338.646,09
12	1.365,99	300.000,63	264.106,30	35.894,32	117.369,32	502.561,85	385.192,53
13	1.126,23	244.417,32	168.870,11	75.547,21	109.411,84	298.690,11	189.278,27

O volume por sortimento apresentou distribuição média igual a 76,4% e 23,6% para serraria e celulose, respectivamente. A restrição de demanda foi plenamente atendida (Figura 6). A área de corte anual é apresentada na Figura 7.

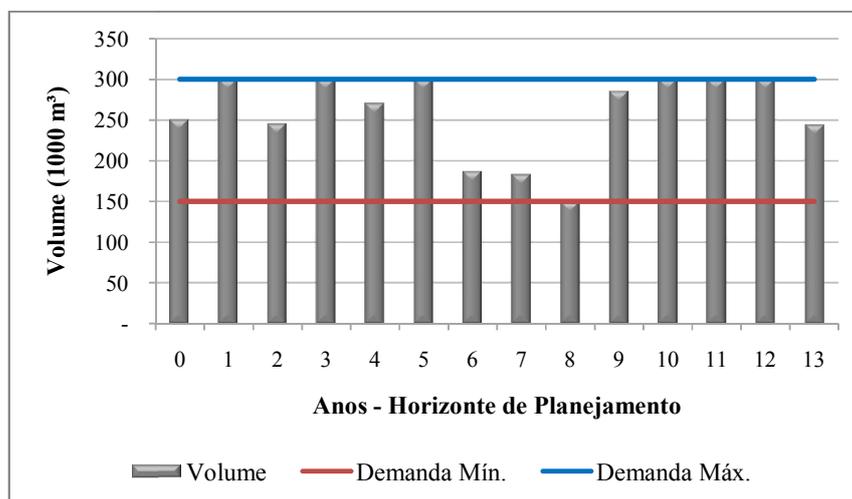


Figura 6: Volume de corte anual para o cenário com aplicação de desbaste (Modelo B).

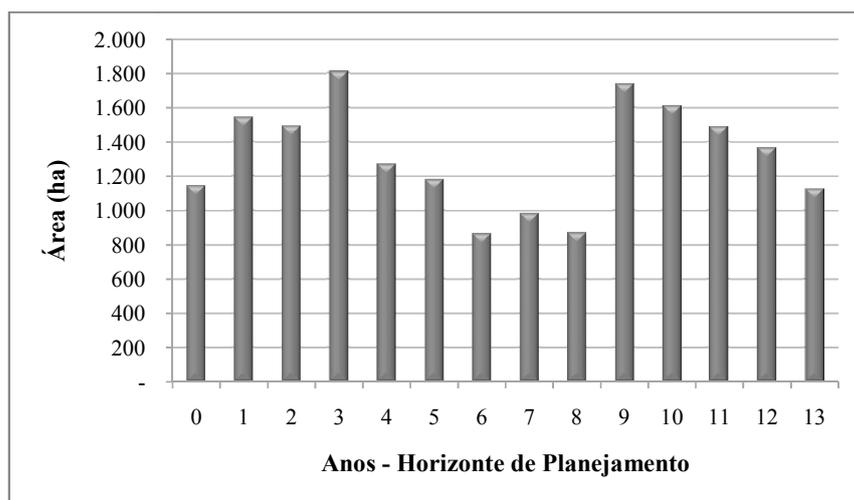


Figura 7: Área de corte anual para o cenário com aplicação de desbaste (Modelo B).

Após a regulação ocorreu a formação de uma nova distribuição de classes de idade, necessária para fins de regulação (Figura 8).

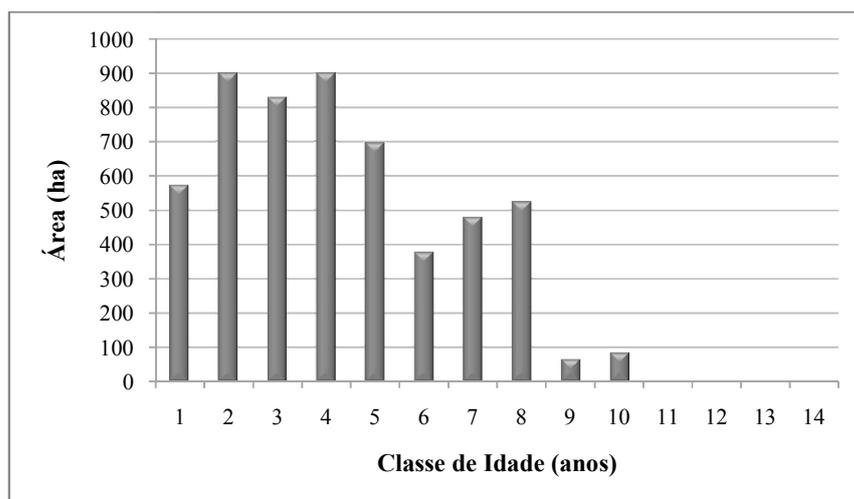


Figura 8: Distribuição final de classes de idade das áreas do povoamento de clones de eucalipto, para o cenário com aplicação desbaste (Modelo B).

Foi observado que a composição das classes de idade apresentou variação entre 1 e 10 anos, mesmo permitindo a ação de corte raso até 14 anos. Esse fato pode ser justificado pelo maior número de prescrições com remoção de 25% da área basal

apresentado pela solução, em função da relação inversa entre o VPL e a intensidade de desbaste (Figura 9).

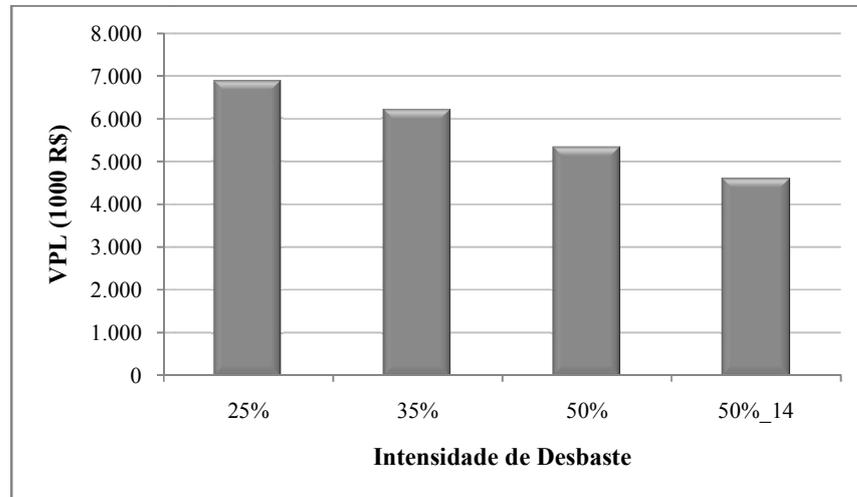


Figura 9: Valores de VPL por intensidade de desbaste.

5.3.Comparação dos modelos de planejamento

A formulação do modelo de planejamento simulando aplicações de desbastes (Modelo B) resultou em um modelo com maior VPL global (R\$ 6.398.748,10). Enquanto a solução para o problema de planejamento sem aplicações de desbaste (Modelo A) apresentou VPL global de R\$ 6.061.016,57, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Valor Presente Líquido (VPL) encontrado para os modelos sem e com simulação de desbaste

Modelo	Sem desbaste	Com desbaste
Custo Total	5.952.993,83	2.133.381,25
Receita Total	12.014.010,40	8.532.129,35
VPL Global	6.061.016,57	6.398.748,10

Em relação ao menor custo encontrado na solução do modelo com aplicação de desbaste (Modelo B), Clutter et al. (1983) afirmam que, apesar de não resultar em produção total maior do que em povoamentos não desbastados, o volume final produzido em um povoamento desbastado apresenta melhor preço de venda e menor

custo médio de colheita. Isto ocorre devido à manutenção do crescimento em diâmetro das árvores remanescentes, uma vez que os fatores de crescimento ficam disponibilizados para as mesmas, que terão maior valor individual ao final da rotação. Neste estudo, resultou em um acréscimo de cerca de 5,0% no VPL global.

A estrutura etária e o porte superior das árvores também são capazes de justificar o maior valor de VPL apresentado pela solução do problema de planejamento com aplicação de desbastes.

Santos (2008), estudando a regulação da produção de floresta de eucalipto submetida a desbaste e destinada a multiprodutos, obteve solução destinando aproximadamente 60% da madeira para o sortimento de energia. Entretanto, aproximadamente 63% da receita líquida eram em função do sortimento serraria. Assim, a regulação poderia ter como objetivo principal a maximização do uso da madeira para serraria com garantia de atendimento a demanda de madeira para energia.

Clutter et al. (1983) defendem que, mesmo não resultando em ganho significativo em crescimento e produção total, a aplicação do desbaste se justifica por reduzir a mortalidade natural e transformá-la em renda intermediária e aumentar a qualidade da madeira no corte final.

6. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento desse trabalho foi possível inferir as seguintes conclusões:

- O programa Regulação da Produção Florestal (RPF) é eficiente para a formulação e resolução de modelos de regulação florestal. Entretanto, ainda não é possível a simulação de desbastes;
- As soluções encontradas para os dois problemas de planejamento atenderam as restrições de área de corte e produção do volume anual para a maioria dos períodos de planejamento;
- Ambos os modelos desenvolvidos apresentaram solução viável. Sendo que a aplicação de desbastes apresentou maior valor de VPL.
- A inclusão de desbastes e venda de madeira para serraria resulta em retorno econômico significativo. Com base nos dados e resultados deste estudo esse ganho foi aproximadamente 20%.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico**: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 142p.

AHRENS, S. **A seleção simultânea do ótimo regime de desbaste e a idade de rotação para povoamentos de *Pinus taeda* L.** 1992. 189 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1992.

ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 435p.

ASSMANN, E. **Principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970. 506p

BARROS JUNIOR, A. A. de; ARROYO, J. E. C.; SANTOS, H. N. Grasp com *path relinking* para um problema de planejamento florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009, Porto Seguro, BA. **Anais...**, 2009. p.1953-1964.

BETTINGER, P.; BOSTON, K.; SIRY, J. P.; GREBNER, D. L. **Forest Management and Planning**. Elsevier. 2009, 331p.

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

BINOTI, D. H. B. **Sistemas computacionais aplicados ao Manejo Florestal**. 2012. 113f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. da S.; LEITE, H. G. **RPF (Regulação da Produção Florestal)**. Software, versão 0.15, Viçosa, MG, 2011.

BOUNGIORNO, J.; GUILLES, J. K. **Decision methods for forest resource management**. San Diego, CA: Academic Press. 2003. 439p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4rd ed. rev. e ampl.. Viçosa, MG. Ed. UFV. 2013. 605p.

CARNIERI, C. **Planejamento florestal otimizado via redes de manejo**. 1989. 144p, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1989.

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

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, Washington, 9(3), p.354-371. 1963.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber Management** – A Quantitative Approach. Wiley. 1983.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest managemet.** 3. ed. New York: MacGraw-Hill Book Company, 1987. 790 p.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. E. **Forest Management:** to Sustain Ecological, Economic, and Social Values. McGraw Hill Companies Inc, 2005. p. 804.

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes.** Viçosa, MG: UFV, 2000. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de florestas de eucalipto submetidas a desbaste.** 2005. 147p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.731-739, 2005.

GARCIA, S. L. R. **Ingresso percentual:** teoria e aplicações em ciência florestal. Viçosa, MG, 2000. 20p. (Não Publicado).

GOMPertz, B. On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Vol. 115. 1825, p. 513-583

HART, H. M. J. **Stem density and thinning:** a pilot experiment to determine the Best spacing and thinning method of teak. Proefsta. Boschwesen, Batavia, Meded 21. 1928.

HILLIER, F. S.; LIEBERMANN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8ª edição, McGraw-Hill, 2006. 828p.

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

LEITE, H. G. **Conversão de troncos em multiprodutos de Madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N. Desbastes e seus efeitos sobre a produção e a qualidade de povoamentos florestais. In: Seminário sobre Silvicultura em florestas plantadas, 1, 2004, Vitória, ES. **Anais...** Viçosa, MG: SIF: UFV, Departamento de Engenharia Florestal. 2004. p. 165-195.

LEUSCHNER, W. A. **Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 281p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. **Colheita Florestal**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p. 501.

MELLO, A. A.; CARNIERI, C.; SANQUETA, C. R.; WEBERS, K. S. Planejamento do suprimento de matéria-prima em uma indústria florestal utilizando programação em metas e considerando estoque de carbono. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 341-350, out./dez. 2008.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density-index for even aged forests. **J.Agr. Res.** n.46, v.7, p.627-638, 1933.

RIBEIRO, C. A. A. S. **Otimização Florestal**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Florestal, 2007, 93p. (Notas de aula).

RODRIGUES, F. L. **Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear**. 1997. 117p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

RODRIGUES, F. L. **Metaheurística e sistema de suporte à decisão no gerenciamento de recursos florestais**. 2001. 255p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

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.

SANTOS, F. L. **Regulação da produção de floresta de eucalipto submetida a desbaste e destinada a multiprodutos**. 2008. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

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

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. 1ª Ed. Editora UFV. Viçosa, MG. 2005. 178p.

TAHA, H. A. **Operations Research: An Introduction**. 8ª Ed. Pearson Prentice Hall. Fayetteville. 2007.

VALE, A. B.; OLIVEIRA, A. D.; FELFILI, J. M.; QUINTAES, P. C. G. Desbastes florestais. **Brasil Florestal**, Brasília, DF. v.13, n.59, p.45-57, 1984.