

GABRIEL DE MAGALHÃES MIRANDA

REGULAÇÃO DE FLORESTAS EQUIÂNEAS E IMPLANTAÇÃO E  
REGULAÇÃO DE POVOAMENTOS MISTOS

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  
2003

GABRIEL DE MAGALHÃES MIRANDA

REGULAÇÃO DE FLORESTAS EQUIÂNEAS E IMPLANTAÇÃO E  
REGULAÇÃO DE POVOAMENTOS MISTOS

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 EM: 28 de novembro de 2003.

---

Prof. Helio Garcia Leite  
(Conselheiro)

---

Prof. Heleno do Nascimento Santos  
(Conselheiro)

---

Prof. Laércio Antônio G. Jacovine

---

Prof. Flávio Lopes Rodrigues

---

Prof. Márcio Lopes da Silva  
(Orientador)

A Deus e Nossa Senhora, pela presença constante.

À memória de meus pais Vivaldino e Bernardina.

À minha esposa Cláudia.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos.

## **AGRADECIMENTO**

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade oferecida e pela acolhida durante a realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante parte do curso.

Ao Professor Márcio Lopes da Silva, pela orientação, dedicação e amizade.

Aos Professores Helio Garcia Leite, Heleno do Nascimento Santos, Flávio Lopes Rodrigues e Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pelas críticas e sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Professor Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro, pela importante contribuição no desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, pelo apoio.

À Ritinha, pelo apoio, pela amizade e pela inesgotável paciência.

À UNICENTRO, por intermédio do Departamento de Engenharia Florestal, por apoiar a continuidade deste trabalho.

Aos professores e funcionários do DEF/UNICENTRO, pela amizade e pelo apoio.

Aos meus familiares, pela confiança, pela dedicação e pelo incentivo.

À minha esposa Cláudia, pela paciência e pelo estímulo.

Aos meus companheiros Alexandre, Joze Mauro, Miguel e Alessandro, pela excelente convivência e amizade.

Aos meus amigos de pós-graduação do DEF, pela excelente convivência no decorrer do curso.

Ao meu amigo Marco Freitas Lopes, pelo incentivo certo na hora certa, o que contribuiu para a realização deste sonho.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

GABRIEL DE MAGALHÃES MIRANDA, filho de Vivaldino de Sales Miranda e Bernardina Justa de Magalhães, nasceu em Brás Pires, Estado de Minas Gerais, em 22 de abril de 1966.

Cursou o ensino básico na Escola Estadual São Luiz, em Brás Pires, MG, e o segundo grau na Escola Agrotécnica Federal de Barbacena Diaulas Abreu, em Barbacena, MG, concluído em novembro de 1987.

Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, em dezembro de 1997.

Em março de 1998, iniciou o Curso de Mestrado em Ciência Florestal na UFV, submetendo-se aos exames de defesa de tese, para obtenção do título de *Magister Scientiae*, em fevereiro de 2000.

Em março de 2000, ingressou no Curso de Doutorado em Ciência Florestal da UFV, submetendo-se à defesa de tese em novembro de 2003.

É Professor Assistente no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual de Centro-Oeste – UNICENTRO, em Irati, PR, desde agosto de 2002.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Regulação florestal .....	4
2.2. Rotação florestal .....	5
2.3. Sustentabilidade.....	5
2.4. Valor esperado do solo (VES).....	6
2.5. Potencialidades e implicações das técnicas de programação matemática na regulação florestal .....	7
CAPÍTULO 1 .....	10
REGULAÇÃO DE FLORESTAS HOMOGÊNEAS .....	10
1. INTRODUÇÃO .....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1. Controle por área .....	16
2.2. Controle por volume.....	18
2.3. Controle combinado por área e volume .....	19
2.4. Controle por área estratificada.....	20
2.5. Análise econômica .....	22

	Página
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
3.1. Controle por área .....	23
3.2. Controle por volume .....	28
3.3. Controle por área estratificada (modelo proposto).....	33
3.4. Análise econômica .....	39
3.5. Controle por área .....	39
3.6. Controle por volume .....	39
3.7. Controle por área estratificada .....	40
4. CONCLUSÕES .....	42
4.1. Controle por área .....	42
4.2. Controle por volume .....	43
4.3. Controle por área estratificada .....	43
CAPÍTULO 2 .....	44
IMPLANTAÇÃO E REGULAÇÃO DE POVOAMENTOS MISTOS.....	44
1. INTRODUÇÃO .....	44
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.1. Estratégia espacial e temporal de ocupação da terra .....	49
2.1.1. Modelo tradicional .....	49
2.1.2. Modelo alternativo .....	50
2.2. Análise do valor esperado do solo .....	52
2.2.1. Receita líquida periódica de um talhão .....	52
2.2.2. Valor presente das receitas líquidas de um talhão .....	55
2.3. Estabelecimento das condições de otimalidade .....	58
2.4. Análise marginal das condições de otimalidade .....	58
2.5. Simulação com valores numéricos.....	58
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
3.1. Regulação florestal .....	60
3.1.1. Modelo tradicional .....	60
3.1.2. Modelo alternativo .....	62
3.2. Valor esperado do solo .....	65
3.2.1. Modelo tradicional .....	65
3.2.2. Modelo alternativo .....	66

	Página
3.2.3. Receita líquida periódica de um reflorestamento misto regulado .....	71
3.3. Simulação com valores numéricos.....	75
4. CONCLUSÕES .....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

## RESUMO

MIRANDA, Gabriel de Magalhães, D. S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2003. **Regulação de florestas eqüiâneas e implantação e regulação de povoamentos mistos.** Orientador: Márcio Lopes da Silva. Conselheiros: Helio Garcia Leite e Heleno do Nascimento Santos.

Este trabalho teve como objetivo discutir alguns aspectos relativos aos modelos utilizados na regulação florestal, tanto de florestas eqüiâneas quanto de povoamentos mistos, bem como propor modelos alternativos para ambas as situações. Para tal, este trabalho foi realizado em dois capítulos, sendo o primeiro referente aos modelos de regulação de florestas eqüiâneas e o segundo, à regulação de povoamentos mistos. No primeiro capítulo foi feita uma análise dos métodos de controle por área e por volume e proposto um modelo de controle por área estratificada. No caso do controle por área, obteve-se rapidamente a regulação, porém com a flutuação da produção. No controle por volume, conseguiu-se uma produção constante, porém com a flutuação da área colhida em cada período. O modelo proposto de controle por área estratificada mostrou-se eficiente, pois foi possível estabilizar as variáveis área colhida e produção. No segundo capítulo, analisou-se o modelo proposto tradicional, apresentado por BRUM NETO (2001), de implantação e regulação de povoamentos mistos, bem como sugeriu-se um modelo alternativo de implantação das culturas, objetivando antecipar a ocupação da terra e a

regulação florestal. O método de estabelecimento desses povoamentos mistos tem como base a implantação de culturas em seqüência, o que configura uma rotação de culturas, de modo que, ao colher a última cultura da seqüência, implanta-se novamente a primeira, dando início a um novo ciclo. Esses povoamentos aproximam-se um pouco mais das características de uma floresta natural, sem perder características típicas de florestas homogêneas, como a possibilidade de aplicação de tratamentos culturais e a alta produtividade. A proposta apresentada neste trabalho de implantação simultânea de toda a seqüência de culturas em vários talhões mostrou-se eficiente, pois possibilitou a ocupação mais rápida da área e antecipou a regulação florestal dos povoamentos em questão. A análise econômica foi feita com base no Valor Esperado do Solo (VES) proporcionado por cada um dos modelos. Na situação hipotética aqui mostrada, de três culturas, com dois, três e cinco anos, respectivamente, o modelo alternativo apresentou a vantagem de ocupar a terra em um período de tempo mais curto e alcançar a regulação na metade do tempo gasto pelo modelo tradicional, além de vantagens em relação ao VES do modelo tradicional.

## ABSTRACT

MIRANDA, Gabriel de Magalhães, D. S., Universidade Federal de Viçosa, November, 2003. **Regulation of pure forests and implantation and regulation of mixed forests.** Advisor: Márcio Lopes da Silva. Committee Members: Helio Garcia Leite and Heleno do Nascimento Santos.

The objective of this work was to discuss some aspects relative to the models used in forest regulation, in both pure and mixed forests, as well as to propose alternative models for the two conditions. In order to do so, the work was carried out in two chapters, with the first concerning the pure forest regulation models and the second the mixed forest establishment regulation. In the first chapter, an analysis of control methods by area and volume was completed and a control model by stratified area was proposed. In the case of control by area, the regulation was quickly obtained, however, with production fluctuation. In the control by volume, a constant production was obtained, however, with fluctuation of the harvested area in each period. The control model by stratified area proposed was proved efficient, because it was possible to stabilize the variables harvested area and production. In the second chapter, the traditional proposed model, presented by BRUM NETO (2001), of implantation and regulation of mixed forests was analyzed, as well as it was suggested an alternative model of tree crop implantation aiming to advance land occupation and forest regulation. The method of establishing those mixed

forests is based on sequential crop implantation, which characterizes crop rotation, so that after the last crop of the sequence is harvested, the first is again implanted starting off a new cycle. Those communities come a little closer the characteristics of a natural forest without losing typical features of homogeneous forests, as the possibility of applying cultivation and high productivity techniques. The proposal presented in this work to implant simultaneously the whole sequence of crops in several stands was proved efficient because it made it possible a faster land occupation and advanced forest regulation of those communities. The economical analysis was carried out based on the Expected Soil Value (VES) given by each model. In the hypothetical situation presented here, three crops with two, three and five years old respectively, the alternative model had the advantage of occupying the land in less time and attaining the regulation in half of the time spent by the traditional model, in addition to the advantages compared to VES of the traditional model.

## 1. INTRODUÇÃO

A forma de utilização dos recursos naturais adotada pelo homem até algum tempo atrás era baseada quase que exclusivamente no extrativismo, situação essa constatada principalmente no que diz respeito aos recursos florestais. A análise dessa forma de utilização, com base nos princípios da economia, leva à conclusão de que isso se deu em virtude de duas características fundamentais, atribuídas a esses recursos. A primeira é a consideração da gratuidade, em que os recursos eram tidos como dotes da natureza e passíveis de uso sem nenhum custo e a segunda, a idéia de que as fontes desses recursos eram inesgotáveis. Tal concepção a respeito da não-exaustão da base de recursos naturais era fruto de duas situações: a dimensão gigantesca das reservas e a tímida intensidade de uso, decorrente da baixa demanda e da falta de tecnologia adequada para o aproveitamento desses recursos (BELLIA, 1996).

O aumento da população a taxas cada vez maiores ocorrido nas últimas décadas, elevando a demanda de produtos, juntamente com o desenvolvimento tecnológico, o que possibilitou o incremento da eficiência na exploração e beneficiamento dos recursos naturais, acelerou, de forma vertiginosa, a taxa de utilização desses recursos. Assim, caiu por terra, em poucos anos, a teoria da impossibilidade de exaustão da base de recursos da natureza.

No caso do setor florestal, o que se viu, e ainda se vê em muitas situações, é uma utilização desordenada dos recursos, principalmente no que diz respeito àqueles provenientes das florestas nativas, em que extensas áreas foram e são devastadas, cedendo lugar a culturas agrícolas ou pastagens. No passado, o uso de muitas dessas áreas foi feita sem nenhuma preocupação com a manutenção da floresta e a perpetuação dos benefícios por ela proporcionados. Porém, nas últimas décadas, a redução da base florestal e a ameaça de exaustão dessa importante fonte de recursos despertaram várias correntes favoráveis à adoção de novos modelos de utilização racional dos recursos naturais. Com isso, começaram a surgir propostas de técnicas de manejo de florestas que pudessem conciliar a utilização econômica com a conservação dos recursos.

Outro evento importante ocorrido no setor foi a percepção da incapacidade de suprimento de uma demanda cada vez maior, com produtos oriundos exclusivamente de florestas nativas. Tal constatação, associada à descoberta do potencial produtivo dos plantios florestais, principalmente de espécies exóticas, começou a escrever um novo capítulo da história do setor florestal. Essa nova linha de atuação, com base no plantio de maciços florestais, possibilitou a preservação de muitos dos remanescentes de matas nativas ainda existentes.

As grandes vantagens dos plantios florestais, em relação às reservas de florestas nativas, são a maior homogeneidade do produto, a rapidez de crescimento das espécies geralmente utilizadas, o estoque de conhecimento adquirido ao longo de décadas a respeito das várias espécies passíveis de uso e economicamente viáveis e a facilidade de condução desses plantios, que apresentam todas as características de uma monocultura e, por isso, podem ser tratados como tal. Um dos problemas levantados sobre os plantios florestais, principalmente quando estes vêm em substituição às florestas nativas, é a diminuição da diversidade biológica local.

Apesar de todas as vantagens dos plantios florestais e dos recursos investidos nessa atividade, estes investimentos não estão conseguindo acompanhar o crescimento da demanda, evidenciando-se um viés entre essas duas tendências. Essa incompatibilidade ocorrida entre o aumento da demanda por produtos florestais, principalmente madeira, e os investimentos para o

incremento da produção industrial coloca o setor florestal, perante a ameaça de escassez de produtos, dentro de um horizonte de tempo relativamente curto.

Diante dessa situação, nota-se uma preocupação dos técnicos do setor com a sustentabilidade do uso dos recursos florestais. Com isso, ao longo do tempo têm sido propostas técnicas com o objetivo principal de promover o uso racional e a perpetuação da base de recursos florestais existentes, para que as gerações futuras possam usufruir, com certa dose de segurança, dos seus benefícios. Um exemplo dessas técnicas são os métodos de regulação florestal.

Em face dessa nova realidade e diante do crescente apelo da sociedade e da pressão dos ambientalistas, o que tem sido notado é uma preocupação maior das empresas do setor com o aprimoramento do planejamento estratégico de suas atividades. Tudo isso com o intuito de alcançar a almejada garantia do suprimento de suas demandas, com a conservação dos recursos naturais.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi apresentar propostas de novos modelos para promover a regulação florestal, partindo tanto de povoamentos puros quanto de povoamentos mistos. No primeiro capítulo, o objetivo foi uma análise crítica de duas técnicas de regulação florestal conhecidas, a de controle por área e a de controle por volume. Além disso, foi proposto um modelo de controle por área estratificada, para tentar promover os controles por área e por volume, em um mesmo povoamento. No segundo capítulo, o objetivo foi apresentar uma proposta de implantação simultânea de uma seqüência de culturas, em talhões distintos, como uma estratégia de ocupação da terra para antecipar a regulação florestal, com a formação de povoamentos mistos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Regulação florestal**

A regulação da produção florestal é uma das atividades mais difíceis que o manejador florestal enfrenta no seu dia-a-dia, devido à sua enorme complexidade de execução e ao grande número de variáveis envolvidas no processo. A regulação de uma floresta consiste em converter uma estrutura de classes de idade existente de tal forma que, no final do período de transição, as classes de idades estejam em uma progressão aritmética, em que a razão é o intervalo entre colheitas, obtendo-se idades variando de um ano até a idade de rotação (RODRIGUES, 1997).

Uma floresta regulada é aquela em que o volume de produção, o tamanho da área colhida e a qualidade do produto são iguais em cada ano ou período (LEUSCHNER, 1984).

Um dos fatores mais importantes no processo de regulação florestal é a determinação da rotação ótima. A escolha da rotação é feita de acordo com os objetivos do manejador, sua situação financeira e as condições do mercado (RODRIGUES, 1997). Este mesmo autor afirmou que, para alcançar a regulação, o manejador deverá adotar fielmente a estrutura de corte estabelecida pela solução ótima. Considerando que há necessidade de um período de transição para alcançá-la, nesse tempo nenhuma mudança em qualquer variável do planejamento que afete a solução ótima poderá ser

considerada. Tal pressuposição apresenta o inconveniente de que, no processo de tomada de decisão, não estão envolvidas apenas variáveis de caráter técnico, mas também econômico, as quais sofrem constantes mudanças, o que provoca freqüentes mudanças de cenário ao longo do período de planejamento.

## **2.2. Rotação florestal**

Uma floresta produz madeira, bem como outros produtos, em diferentes quantidades ao longo de sua vida. Em se tratando de florestas, o período de produção é particularmente longo, e o tempo representa um fator desta (NAUTIYAL, 1988). Qualquer que seja o tempo de existência de um povoamento florestal, que se inicia no momento de seu estabelecimento e termina no final da colheita, é referido como rotação (CLUTTER et al., 1983). O termo rotação na área florestal serve para designar a idade na qual povoamentos de mesma idade são planejados para serem colhidos.

A rotação florestal mais comumente adotada é a de máxima produtividade, ou a rotação de máxima produção sustentável, as quais são obtidas quando o Incremento Médio Anual (IMA) é igual ao Incremento Corrente Anual (ICA). Essa rotação, que equivale ao máximo IMA, tem sido popularmente utilizada, devido à sua simplicidade de determinação e à aparentemente lógica afirmação do que resulta na produção de máximo volume médio por ano (NAUTIYAL, 1988). Uma empresa florestal pode empregar as melhores técnicas de manejo, como plantio adequado, a espécie e o espaçamento ideais, as técnicas de proteção, e mesmo assim não alcançar os resultados econômicos potenciais caso o corte final e, ou, intermediário não seja realizado no momento adequado (RODRIGUES, 1997).

## **2.3. Sustentabilidade**

A regulação florestal é uma das ferramentas que auxiliam a busca da sustentabilidade, pois tem como objetivo o uso de estratégias que visam à utilização otimizada dos recursos florestais, ou seja, retirar o máximo de

benefícios desses recursos, porém de maneira racional, a fim de obter um fluxo contínuo de produção sem comprometer o suprimento das futuras gerações.

Uma produção florestal sustentável pode ser definida como o suprimento regular e contínuo da demanda de bens e serviços, dentro da capacidade da floresta, sem comprometer a capacidade e aptidão da área (MATTHEWS, 1996).

Vários autores (ODUM, 1971; PEARCE, 1989; GOW, 1991) definiram sustentabilidade abordando diferentes fatores. Fazendo-se a junção destes, a sustentabilidade poderia ser definida, de maneira bastante objetiva, como sendo um modelo de desenvolvimento que contempla, de forma integrada, o crescimento econômico através da produção de bens e serviços, garantindo ao homem qualidade de vida e conservando a base de recursos ambientais para a utilização pelas gerações futuras.

Em sociedades industriais modernas, há uma idéia da necessidade de reconhecimento público de que florestas e árvores podem ser manejadas para produção sustentável, ou de que florestas são fontes de madeira, papel, produtos químicos e muitos outros usados na vida diária (MATTHEWS, 1996).

#### **2.4. Valor esperado do solo (VES)**

Em economia, preocupa-se com a alocação de recursos escassos entre atividades competitivas. Qualquer problema de alocação de recursos tem basicamente três características: um objetivo, uma quantidade limitada de recurso disponível e modos de uso competindo pelo recurso (NAUTIYAL, 1988).

Os empreendimentos florestais podem ser avaliados sob vários critérios de avaliação econômica. Nesse contexto, tem-se o Valor Esperado do Solo (VES), que não é um critério de avaliação econômica propriamente dito. O cálculo do VES parte do pressuposto de que o solo será usado perpetuamente para uma mesma finalidade. O modelo proposto por Faustmann considera a área total como um único talhão implantado de uma só vez, gerando receitas periódicas. Partindo do pressuposto da perpetuidade do uso do solo em uma mesma condição, tem-se uma Série Periódica Infinita, em que o valor das parcelas é representado pelas receitas líquidas da cultura em questão, por

exemplo o reflorestamento. O VES é um indicador e pode ser interpretado como sendo o preço máximo a ser pago pela terra nua para que o empreendimento seja viável (Gregory, 1972, citado por SMITH, 1989).

## **2.5. Potencialidades e implicações das técnicas de programação matemática na regulação florestal**

Os programas matemáticos freqüentemente, mas não sempre, alocam diferentes recursos para maximizar ou minimizar um objetivo. Este está, muitas vezes, sujeito a um conjunto de restrições. As técnicas específicas de programação matemática incluem: Programação Linear (PL), Programação Não-Linear (PNL), Programação Inteira (PI), Programação de Metas (PM), Programação Dinâmica (PD), Análise de Redes e Cadeia de Markov (LEUSCHNER, 1990).

É inegável a importância das técnicas de Pesquisa Operacional em processos de tomadas de decisões no setor florestal. Do conjunto de métodos de programação matemática, a PL e a PI têm sido utilizadas com maior freqüência em modelos de regulação florestal (SILVA, 2001). Algumas justificativas para o uso da PL no gerenciamento de recursos florestais, segundo RIBEIRO (1996), são: a) é uma das poucas técnicas que podem ser usadas para lidar com problemas de grande porte, como os encontrados no setor florestal; b) é uma técnica de otimização e pode ser empregada para satisfazer certas exigências legais; c) existe uma considerável experiência acumulada na modelagem dos recursos naturais em outros países; e d) existem “softwares” e interfaces específicas para determinadas classes de problemas.

A PL é uma poderosa ferramenta para resolver muitos problemas práticos de alocação de recursos na área florestal, em que o maior campo de aplicação é o manejo florestal (NAUTIYAL, 1988). A gama de problemas no setor florestal, nos quais a PL tem sido aplicada, é uma prova de versatilidade dessa ferramenta. Ela pode ser usada na alocação de toras para vários tipos de processamento em uma serraria, alocação de estradas, planejamento de uso de áreas etc.

Os modelos de programação matemática, mais especificamente os modelos de PL, são alimentados por uma série de dados, entre os quais podem ser destacados a importância do vetor de custos, o vetor dos requisitos e a matriz de coeficientes tecnológicos (SILVA, 2001).

Os modelos de PL na regulação florestal apresentam uma grande vantagem, uma vez que permitem a análise conjunta dos objetivos e restrições que caracterizam o empreendimento, ao contrário dos métodos clássicos de regulação, que não possibilitam tal análise (RODRIGUES, 1997). Porém, faz-se necessário chamar a atenção para algumas limitações dessas técnicas, principalmente da PL, como é o caso da integridade das respostas assumidas pelas variáveis de decisão, o que leva a subdivisões das unidades de manejo e, conseqüentemente, a uma série de problemas operacionais; a natureza estocástica de muitas variáveis do modelo de PL, o que incorre em maior risco na tomada de decisão; e o fato de o modelo de PL contemplar apenas uma função objetivo, quando, na maioria das vezes, a empresa tem objetivos múltiplos (SILVA, 2001).

O fato de os dados usados em modelos de PL serem quase sempre imprecisos, duvidosos ou simples estimativas faz com que estes estejam sujeitos a variações. O dinamismo e a incerteza das variáveis do planejamento afetam consideravelmente a credibilidade das soluções de problemas envolvendo a PL, considerando-se seu determinismo nas soluções de problemas. Por isso, as soluções encontradas nos problemas de PL devem ser criticadas, e esse estudo é denominado “estudo pós-otimização” (BREGALDA et al., 1988). Em se tratando de modelos de programação matemática aplicados ao planejamento florestal, as respostas encontradas devem ser criticadas, em razão das incertezas que cercam os dados que alimentam esses modelos. Entre esses dados, destacam-se, grandemente, os de volume, associados tanto ao vetor de custos quanto à matriz tecnológica (DYKSTRA, 1984; CLUTTER et al., 1983; DAVIS e JOHNSON, 1987).

Newman (1988), citado por RODRIGUES (1997), fez algumas ressalvas ao uso da PL no planejamento florestal: a) problemas reais geralmente não são bem definidos; b) às vezes, os dados são insuficientes; c) os problemas de planejamento florestal são, na sua maioria, estocásticos; d) as soluções da PL não são necessariamente inteiras, enquanto as situações em planejamento

florestal almejam soluções inteiras. A não-inteireza das soluções dos modelos de PL incorrem na impossibilidade de implementação dessas soluções sem modificações, uma vez que uma das pressuposições da PL é a divisibilidade, ou seja, a variável de decisão pode assumir qualquer valor real não negativo (inteiro ou fracionário) (DYKSTRA, 1984). Apesar de todos os problemas apresentados, a PL é uma das poucas ferramentas com potencial para dar suporte às soluções de problemas comumente encontrados no setor florestal (RODRIGUES, 1997).

Uma das formas de solucionar o problema relacionado com a necessidade de integridade das soluções é utilizar a Programação Inteira Mista, em que certas variáveis são restritas a assumir valores inteiros, podendo as demais assumir valores contínuos ou, então, a Programação Inteira com variáveis binárias 0-1, cujo domínio de algumas ou de todas as variáveis é restrito a valores inteiros. O assinalamento de uma variável é que fornece ao tomador de decisão a informação se determinada atividade será ou não realizada. A decisão indicada por essas soluções são do tipo “cortar ou não determinado talhão”.

Outro caminho que pode ser seguido é a utilização da programação multiobjetiva ou programação por metas. Essa ferramenta é uma variação da PL, na qual um conjunto de “restrições-metas” são adicionadas a um modelo de PL (LEUSCHNER, 1990). Ela estabelece múltiplas metas a serem alcançadas, e o objetivo é a minimização dos desvios dessas metas. Essa técnica é popularmente conhecida como técnica para solução de problemas multiobjetivos, ou problemas de planejamento de usos múltiplos, podendo refletir a importância relativa de cada objetivo. Entretanto, ela minimiza somente uma única função-objetivo.

## **CAPÍTULO 1**

### **REGULAÇÃO DE FLORESTAS HOMOGÊNEAS**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A sustentabilidade da produção sempre foi um desafio para o setor produtivo. Porém, um dos grandes problemas das indústrias de base florestal é a garantia de abastecimento de matéria-prima, pois, para que haja um fluxo constante de produto, antes de mais nada é necessário um fluxo constante da matéria-prima usada no processo produtivo. A garantia dessa regularidade do fluxo de matérias-primas e produtos é um dos principais elementos que dão suporte aos preceitos do desenvolvimento sustentável.

O Desenvolvimento Sustentável é definido com base no manejo e conservação da base de recursos naturais e na orientação das mudanças tecnológicas e institucionais, de modo que assegure o atendimento e satisfação continuada das necessidades humanas no presente e para as futuras gerações (FAO, 1994). Essa característica vai de encontro à preocupação dos ambientalistas e ao atual apelo da sociedade, em prol do uso racional e da não-exaustão da base de recursos florestais existentes. Por isso, nos últimos tempos, dentro do planejamento das empresas do setor, uma atividade que recebe grande atenção por parte dos tomadores de decisão é a regulação florestal. Dentro desse contexto, a regulação florestal aparece como um

processo que visa promover a transição de um sistema de produção florestal “desordenado”, que apresenta flutuações de um período para outro, tanto da área colhida quanto da quantidade produzida, para um sistema planejado, em que a obtenção dessa mesma matéria-prima ou produto pode ser conseguida de forma continuada e regular, sem comprometer a produção e sem ameaçar a base de recursos.

Na maioria das vezes, quem elabora o planejamento florestal está interessado numa produção sustentável, que atenda ao mercado, oscilando dentro de um limite determinado, que satisfaça a demanda que pode variar ao longo do tempo, atendendo às restrições de capital e operacionais, garantindo um emprego regular de mão-de-obra e apresentando um custo mínimo ou retorno máximo dentro do horizonte de planejamento (RODRIGUES, 1997).

Dentro de um conceito mais abrangente, DAVIS e JOHNSON (1987) definiram a regulação da produção florestal como a determinação de onde, quando, o quê, quanto e como colher o produto florestal, de acordo com os objetivos da organização.

Num conceito simplificado, regular uma floresta significa determinar estratégias ou ações para converter uma estrutura existente de classes de idades, tal que ao final de um período de transição se obtenha uma estrutura de idades em progressão aritmética, com as idades variando de um ano até a idade de rotação, cuja razão é o intervalo entre colheitas (RODRIGUES, 1997).

À primeira vista, o processo de regulação florestal parece simples, mas os profissionais que atuam nesta área sabem, por experiência própria, que esta é uma das atividades mais difíceis no manejo florestal que o gerente ou manejador florestal enfrenta no dia-a-dia, pois, além de demandar grande habilidade e experiência, é uma atividade extremamente complexa, devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo (RODRIGUES, 1997).

Na tentativa de alcançar a regulação, alguns modelos já foram apresentados, como é o caso daqueles propostos por DAVIS e JOHNSON (1967), que são o controle por área e o controle por volume. Esses modelos foram discutidos neste trabalho de forma a dar sustentação à proposta aqui apresentada.

Os métodos de controle por área e por volume para a regulação florestal são considerados aproximações clássicas, porque foram os primeiros

desenvolvidos e são simples de entender e implementar (LEUSCHNER, 1990). Porém, esses métodos convencionais de regulação, utilizados nas tomadas de decisões, principalmente no Brasil, certamente não constituem uma ferramenta muito precisa (RODRIGUES, 1997).

O controle por área apresenta a vantagem de possibilitar a regulação da floresta rapidamente, mas pode causar uma variação no fluxo anual de madeira, dependendo da existência de áreas de diferentes idades e qualidades de sítios. Considerando o mesmo índice de Sítio, cada classe de idade deve conter uma fração de área igual à razão entre a área total da floresta e o número total de classes de idades (RODRIGUES, 1997).

O controle por volume, no entanto, tem a vantagem de possibilitar um fluxo uniforme de madeira, mas não dá certeza da regulação, e há a possibilidade de variação na quantidade de área colhida anualmente (LEUSCHNER, 1990). Segundo esse mesmo autor, este tipo de controle determina o volume a ser cortado para conduzir uma floresta não-regulada à situação de floresta regulada, pela especificação do volume a ser cortado em cada ano ou período de tempo.

Com base no exposto, o objetivo principal deste trabalho foi analisar os métodos de regulação florestal, avaliando-se o comportamento das variáveis área colhida, produção e receita, obtidas pelos métodos de controle por área e controle por volume, bem como apresentar uma proposta de um modelo de controle por área estratificada, que possibilite os controles por área e por volume em uma mesma área.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar o comportamento das variáveis área colhida, produção e receita alcançadas nos métodos de controle por área e por volume.
- Analisar a regulação alcançada em cada um dos métodos, com base no tempo de estabilização das variáveis área colhida, produção e receita.
- Propor um modelo de controle por área estratificada e compará-lo com os anteriores.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O exemplo utilizado para ilustrar este trabalho teve como base um modelo de crescimento e produção (modelo de Clutter), ajustado para uma situação real por SOARES (1999), com o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, produzido a partir de estacas, considerando a idade-índice de 60 meses. Este modelo é apresentado no Quadro 1.

Para simplificar o exemplo, considerou-se uma área hipotética de florestas plantadas de 1.680 hectares, com cinco anos de idade, e apresentando três classes de capacidade produtiva, de acordo com aquelas observadas por SOARES (1999), ficando a classe I (índice de Sítio 26) com 380 ha, a classe II (índice de Sítio 20) com 740 ha e a classe III (índice de Sítio 14) com 560 ha. As áreas de cada uma das classes são mostradas no Quadro 2.

De acordo com o modelo de crescimento e produção ajustado por SOARES (1999) e as classes de capacidade produtiva identificadas pelo mesmo autor, chegou-se aos valores de área basal, volume e incremento médio para cada uma das referidas classes, nas idades de 42 até 156 meses. Com base nos valores de incremento periódico, foram identificadas as idades técnicas de corte para cada uma das áreas, sendo cinco anos para a classe I, seis anos para a classe II e sete anos para a classe III. Tais informações se encontram no Quadro 3.

Quadro 1 – Modelos de crescimento e produção (Modelo de Clutter) genérico e ajustado por SOARES (1999), para uma situação real

<b>Modelo Genérico</b>
$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 * (1/l_2) + \beta_2 * S + \beta_3 * \ln(B_2)$
$\ln B_2 = \ln B_1 * (l_1/l_2) + \alpha_0 * (1 - l_1/l_2) + \alpha_1 * (S) * (1 - l_1/l_2)$
<b>Modelo Ajustado</b>
$\ln V_2 = 1,81969 - 25,712511/l_2 + 0,02073 * S + 1,13070 * \ln B_2$
$\ln B_2 = \ln B_1 * (l_1/l_2) + 2,96228 * (1 - l_1/l_2) + 0,01533 * S * (1 - l_1/l_2)$

em que:

$\ln$  = logaritmo neperiano;

$S$  = índice de local, em m;

$B_1$  = área basal corrente, em m<sup>2</sup>/ha;

$V_2$  = volume futuro, em m<sup>3</sup>/ha;

$B_2$  = área basal futura, em m<sup>2</sup>/ha;

$l_1$  = idade atual, em meses;

$l_2$  = idade futura, em meses; e

$\beta_0$  a  $\beta_3$  ;  $\alpha_0$  e  $\alpha_1$  = parâmetros do modelo na forma estrutural.

Quadro 2 – Classes de local e índices de local com as respectivas áreas, de acordo com o modelo adaptado do trabalho de SOARES (1999)

<b>Classe de local</b>	<b>Índice de Sítio (m)</b>	<b>Área (ha)</b>
I	26	380
II	20	740
III	14	560
<b>Área total</b>		1.680

Quadro 3 – Classes de idades com os respectivos índices de locais, produção volumétrica, incremento médio, idades e identificação das idades técnicas de corte

Idade	Classes de produtividade								
	I (26)			II (20)			III (14)		
	B (m)*	V (m <sup>3</sup> )**	IM (m <sup>3</sup> )***	B (m)	V (m <sup>3</sup> )	IM (m <sup>3</sup> )	B (m)	V (m <sup>3</sup> )	IM (m <sup>3</sup> )
42	13,92	112,63	2,68	10,35	71,14	1,69	7,10	41,02	0,98
48	15,25	134,78	2,81	11,63	87,60	1,82	8,27	52,61	1,10
54	16,36	154,88	2,87	12,73	103,01	1,91	9,31	63,77	1,18
<b>60</b>	<b>17,32</b>	<b>173,25</b>	<b>2,89</b>	13,69	117,23	1,95	10,22	74,49	1,24
66	18,14	189,80	2,88	14,53	130,37	1,97	11,05	84,50	1,28
<b>72</b>	<b>18,85</b>	<b>204,77</b>	<b>2,84</b>	<b>15,26</b>	<b>142,35</b>	<b>1,98</b>	11,79	93,93	1,30
78	19,47	218,31	2,80	15,91	153,45	1,97	12,45	102,68	1,31
<b>84</b>	<b>20,03</b>	<b>230,80</b>	<b>2,75</b>	<b>16,49</b>	<b>163,58</b>	<b>1,95</b>	<b>13,05</b>	<b>110,87</b>	<b>1,32</b>
90	20,52	242,08	2,69	17,01	172,92	1,92	13,59	118,46	1,32
96	21,04	253,52	2,64	17,48	181,52	1,89	14,08	125,53	1,31
102	21,51	264,07	2,59	17,90	189,48	1,86	14,53	132,12	1,30
108	21,94	273,80	2,54	18,29	196,84	1,82	14,94	138,26	1,28
114	22,33	282,82	2,48	18,64	203,67	1,79	15,31	144,00	1,26
120	22,68	291,19	2,43	18,96	210,02	1,75	15,66	149,37	1,24
126	23,01	298,98	2,37	19,26	215,93	1,71	15,98	154,40	1,23
132	23,31	306,24	2,32	19,54	221,45	1,68	16,28	159,12	1,21
138	23,59	313,02	2,27	19,79	226,62	1,64	16,56	163,56	1,19
144	23,85	319,37	2,22	20,02	231,46	1,61	16,81	167,73	1,16
156	24,20	329,16	2,11	20,45	240,27	1,54	17,28	175,38	1,12

\* Área basal (B), \*\* Volume (V) e \*\*\* Incremento médio (IM).

Com o objetivo de mostrar o comportamento da área disponibilizada para colheita, da área colhida, da produção e da receita alcançada em cada período, foram utilizados os métodos de controle por área e controle por volume, bem como proposto o controle por área estratificada.

A receita foi calculada com base na produção volumétrica de cada período multiplicada pelo preço da madeira para celulose (R\$25,00/m<sup>3</sup>), tendo como referência o mês de agosto de 2003 e o câmbio em torno de US\$1.00 valendo R\$2,99 (GAZETA MERCANTIL, 2003).

## 2.1. Controle por área

O controle por área pressupõe a existência de áreas iguais em tamanho, com mesma produtividade e disponíveis para a colheita em cada período (LEUSCHNER, 1984). O princípio do controle por área é simples: colhe-se e regenera-se uma mesma quantidade de área em cada ano ou período que seria colhida em uma floresta totalmente regulada. O volume resultante da colheita é definido pela madeira obtida na área assinalada para o corte em cada ano ou período (DAVIS e JOHNSON, 1987). Esse tipo de controle inicia-se pela determinação da periodicidade de corte e da rotação ótima da espécie em questão. O número de classes de idades é obtido pela divisão da rotação ótima pelo intervalo de tempo entre duas colheitas. Assim, tem-se o seguinte:

$$NC = \frac{R}{IC} \quad [1]$$

em que:

NC = número de classes de idades da floresta regulada;

R = rotação ótima da espécie, em anos; e

IC = intervalo de tempo (em anos) entre colheitas sucessivas.

O resultado determinará o número de compartimentos que comporá a floresta a partir de então. Feito isso, após atingir a rotação de corte, passa-se a colher um compartimento em cada período. Dessa forma, ao final de um

intervalo de tempo equivalente ao comprimento de uma rotação da espécie, obtêm-se uma floresta regulada e uma estrutura com idades variando de 1 a r, em que r é igual ao número de períodos de uma rotação da espécie.

O passo seguinte é a determinação da área de cada compartimento a ser cortado em cada período, assumindo-se uma mesma capacidade produtiva para a área total da floresta. Assim, tem-se:

$$s = \frac{S}{NC} \quad [2]$$

em que:

s = área do compartimento colhido em cada intervalo de tempo; e

S = área total da floresta.

Esse é o caminho mais fácil para regular uma floresta não-manejada e garantir que a estrutura regulada seja alcançada no intervalo de tempo equivalente a uma rotação (DAVIS e JOHNSON, 1987).

Quando aplicado a uma floresta inicialmente irregular em estrutura de classes de idades ou de sites, o controle por área pode apresentar flutuação no volume de madeira colhida, enquanto a regulação é concluída (DAVIS e JOHNSON, 1987).

Após uma rotação completa, a floresta estará regulada, com um número de classes de idades variando de 1 a r anos imediatamente antes da colheita e de 0 a r -1 anos imediatamente após a colheita. Após a regulação, em cada período é cortado o compartimento que estiver na maior classe de idade (DAVIS e JOHNSON, 1987).

O controle por área tem como base a determinação de uma rotação ótima da espécie em questão para toda a área e a divisão da área total de plantio pelo número de períodos dessa rotação.

Por esse modelo, pelo fato de manter-se constante a área colhida em cada período e devido à provável variação da capacidade produtiva entre locais, se não houver um planejamento bem feito das áreas a serem assinaladas para o corte em cada período, é esperado que haja uma flutuação da produção. Apesar de esse modelo garantir a regularidade da área colhida

em cada período, essa flutuação apresenta-se como um inconveniente, pois, dependendo da demanda a ser suprida, podem ocorrer excedentes ou déficits de produto em determinados períodos, resultando em incertezas no planejamento produtivo da empresa, além da necessidade de se recorrer ao mercado para complementar a demanda ou disponibilizar o excedente da produção.

Em algumas situações, no controle por área usa-se o conceito de hectare proporcional (Hap).

Para exemplificar esse modelo e promover a sua regulação, definiu-se a idade ótima de corte como sete anos, que foi a idade técnica de corte verificada para a classe de menor capacidade produtiva, conforme pode ser observado no Quadro 3. A área de cada compartimento é obtida pela divisão da área total pelo comprimento de uma rotação, em número de períodos.

## **2.2. Controle por volume**

Neste modelo de regulação, o objetivo é obter um fluxo constante de produção, não havendo, porém, a preocupação com o tamanho da área a ser colhida em cada período. Se as áreas apresentarem idades diferentes, a seqüência de corte segue uma lógica, em que se cortam primeiro as áreas pertencentes à maior classe de idade. Seguindo essa lógica, se em determinado período a produção obtida nas áreas das classes de maior idade não for suficiente para suprir o volume demandado, complementa-se esse volume cortando uma área de tamanho suficiente para suprir esse déficit de produção, na classe de idade imediatamente inferior. Nesse caso, leva-se em consideração a diferença de volume por unidade de área, devido à diferença de idade.

Outro fator problemático é que, se ocorrer alguma falha na determinação da demanda a ser atendida pela área em questão, corre-se o risco de buscar uma produção superior à capacidade produtiva da área. Partindo-se do pressuposto de que, no longo prazo, uma área jamais produzirá mais do que a sua capacidade produtiva, com o tempo o processo poderá concorrer para a exaustão da base do recurso contemplado, o que não

corresponde aos preceitos da sustentabilidade, que é a maior justificativa da adoção de um processo de regulação da produção florestal.

Alguns métodos de controle por volume conhecidos são: fórmula de Von Mantel, fórmula de amortização de Meyer e fórmula austríaca, entre outros.

Para ilustrar esse modelo sem correr o risco de estipular uma meta de produção acima da capacidade da área em questão, optou-se por adotar como meta de produção periódica a média ponderada para a área total, tomando como base as produções por hectare de cada uma das classes de local, aos sete anos de idade e aplicando-as a uma área de tamanho equivalente a um dos compartimentos usados no controle por área. Assim, a meta periódica de produção pode ser definida pela seguinte equação:

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \times AC \quad [3]$$

em que:

$V_p$  = volume ponderado por ha;

$V_i$  = volume por ha da  $i$ -ésima classe de produtividade, aos sete anos de idade;

$A_i$  = área da  $i$ -ésima classe de produtividade, em ha; e

$AC$  = área, em ha, de um compartimento usada no controle por área.

### **2.3. Controle combinado por área e volume**

No controle combinado por área e por volume descrito por DAVIS e JOHNSON (1987), a demanda a ser suprida é o elemento norteador da decisão a ser tomada, pois é com base nessa demanda que se definem as áreas a serem colhidas, devendo estas, de acordo com a capacidade produtiva de cada local, apresentar tamanho suficiente para suprir o volume demandado. As áreas a serem colhidas são definidas de acordo com o tamanho e a produção de cada classe de idade, de modo que sejam suficientes para suprir o volume demandado.

## 2.4. Controle por área estratificada

A proposta deste modelo é simples e poderia ser considerada como uma derivação do controle por área, cuja idéia é a de que nos resultados se apresente como uma combinação dos controles por área e controle por volume. Ao invés de estabelecer como meta uma quantidade de área única a ser colhida, ou estabelecer uma cota única de produção a ser obtida em cada período sem se preocupar com a flutuação da variável não-contemplada, esta proposta tem como objetivo apresentar um modelo alternativo para solucionar esse problema e promover a estabilização de ambas as variáveis.

O primeiro passo para tal procedimento foi aproveitar a estratificação da área em classes de produtividade, conforme ilustrado anteriormente no Quadro 2.

O passo seguinte foi determinar a idade técnica de corte para cada uma das classes de produtividade, tarefa essa realizada com base nas informações contidas no Quadro 3. Em seguida, seguiu-se o mesmo caminho do controle por área, em cada uma das classes, como se a área de cada uma representasse um povoamento distinto. Dessa forma, áreas com capacidades produtivas distintas passaram a apresentar rotações ótimas distintas, observadas individualmente.

Outro paralelo que deve ser traçado é que, enquanto no controle por área o número de compartimentos da área total é igual ao comprimento da rotação única adotada, no controle por área estratificada essa característica é verificada em cada estrato, de acordo com a rotação ótima observada para a referida classe de local. Assim, o número de compartimentos (NC) total da floresta foi determinado pela seguinte equação:

$$NC = \sum_{i=1}^n r_i \quad [4]$$

em que:

$i = 1, 2, \dots, n$  classes de produtividade.

Em cada classe de produtividade, o número de compartimentos e o tamanho de cada compartimento obedecem ao mesmo critério do controle por área, da seguinte forma:

$$NC_i = \frac{R_i}{IC} \quad [5]$$

$$s_i = \frac{S_i}{NC_i} \quad [6]$$

em que:

$NC_i$  = número de classes de idades no i-ésimo estrato;

$R_i$  = rotação ótima do i-ésimo estrato;

$s_i$  = área de cada compartimento do i-ésimo estrato; e

$S_i$  = área total do i-ésimo estrato.

Seguindo a proposta do modelo, passa-se, então, a cortar um compartimento em cada classe de produtividade em cada período, obedecendo às respectivas idades técnicas de corte.

A área total colhida em cada período foi obtida pelo somatório das áreas dos compartimentos cortados em cada classe.

A cota de produção periódica, partindo do princípio proposto de não se cortar nada além da capacidade produtiva da área, foi determinada pela seguinte equação:

$$V_T = \sum_{i=1}^n V_i \times s_i \quad [7]$$

em que:

$V_T$  = volume total cortado em cada período ( $m^3$ );

$V_i$  = volume por ha do i-ésimo estrato na respectiva idade de corte ( $m^3$ ); e

$s_i$  = área de um compartimento do i-ésimo estrato (ha).

## 2.5. Análise econômica

O objetivo desta análise foi promover uma comparação entre os três métodos de controle, tendo como base um critério de avaliação econômica. Partindo do princípio de que a área em questão nos três casos é a mesma e que a variação existente de uma situação para outra é a variação ou não da produção entre períodos, considerou-se suficiente analisar o Benefício ou Custo Periódico Equivalente – B(C)PE obtido dentro do horizonte de planejamento contemplado em cada método.

O B(C)PE tem como base a transformação do valor presente das receitas em valores periódicos, com o uso das seguintes equações:

$$VPR = \sum_{j=0}^n R_j \times (1+i)^{-j} \quad (j = 0, 1, \dots, n \text{ períodos}) \quad [8]$$

$$VPR = B(C)PE \times \frac{[1-(1+i)^{-j}]}{i} \Rightarrow$$
$$B(C)PE = \frac{VPR \times i}{[1-(1+i)^{-j}]} \quad [9]$$

em que:

$VPR$  = valor presente das receitas (R\$);

$R_j$  = receita alcançada no  $j$ -ésimo período (R\$);

$B(C)PE$  = benefício ou custo periódico equivalente (R\$); e

$i$  = taxa de juros.

A taxa de juros considerada foi de 12% a.a.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Controle por área

A primeira etapa do controle por área é a determinação da idade técnica de corte comum em toda a área, que no exemplo aqui proposto se optou pela idade técnica de corte da classe III, de menor capacidade produtiva, pois, se fosse escolhida a idade técnica de outra classe, esta classe III, ao ser atingida a regulação, passaria a ser colhida com idade inferior àquela tecnicamente indicada. Tal prescrição estaria em desacordo com os preceitos do manejo florestal e da economia florestal, pois a colheita estaria ocorrendo na fase de crescimento, quando geralmente ocorre o pico de produção (máximo incremento marginal). Assim, considerando a rotação de sete anos ( $R = 7$ ) e colheitas anuais ( $IC = 1$ ) e aplicando a metodologia indicada, obteve-se o número de classes de idade da floresta regulada, da seguinte forma:

$$NC = \frac{R}{IC} \Rightarrow NC = \frac{7}{1} \Rightarrow NC = 7 \quad [10]$$

Esse valor indicou que a floresta a ser regulada passará, daí em diante, a ser composta por sete compartimentos de mesma área. Para determinar a área de cada compartimento, dividiu-se a área total pelo número de classes de idades.

$$s = \frac{S}{NC} \Rightarrow s = \frac{1680ha}{7} \Rightarrow s = 240ha \quad [11]$$

O valor encontrado no tamanho de cada um dos compartimentos indicou que, a partir de então, uma área de 240 ha deveria ser colhida em cada ano, independentemente do volume total produzido. A determinação da idade de corte aos sete anos tomou como base a idade normalmente adotada nas empresas como forma de não se correr o risco de assinalar para o corte áreas que ainda não alcançaram a idade indicada para tal e teve como objetivo principal determinar o número de compartimentos da floresta após o período de transição. Pelo fato de a floresta estar com cinco anos e a classe de maior capacidade produtiva apresentar idade técnica de corte nessa idade, definiu-se esta como a idade para início do processo de transição, entendendo-se que tal comportamento não afetaria a produção de nenhum dos períodos, isso porque as áreas em idade técnica de corte, tanto para o período 1 quanto para o período 2 (380 e 740 ha, respectivamente), eram superiores à área definida para cada compartimento. As áreas disponíveis para colheita e colhidas, a produção e a receita alcançada em cada período, pelo método do controle por área, podem ser observadas no Quadro 4.

A análise do Quadro 4 possibilita observar que, nesse método de controle por área, ao longo de todo o horizonte contemplado a área colhida manteve-se constante, enquanto a área disponível para colheita apresentou flutuações ao longo dos sete primeiros anos, estabilizando-se a partir daí. Esse comportamento era previsto, uma vez que, cortando-se sempre uma mesma fração da área, ao final do período de transição a quantidade de área disponibilizada para colheita se estabilizaria, uma vez que seriam disponibilizadas em cada período sempre as mesmas frações colhidas em seqüência, no início do processo.

O comportamento das áreas disponibilizadas para colheita e colhidas, da produção e da receita alcançada pelo método de controle por área, ao longo de um horizonte de 13 períodos, é ilustrado na Figura 1.

Quadro 4 – Área disponível para colheita, colhida e em estoque e produção por classe de produtividade em cada período do horizonte de planejamento, em um sistema de controle por área

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção total (m <sup>3</sup> )
		Classes de produtividade										
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 há			Sítio III (14) – 560 ha				
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque		
0	60	380	240	140	-	-	740	-	-	560	240	41.580
1	12	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
1	72	140	140	-	740	100	640	-	-	560	240	42.902
2	12	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
2	24	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
2	84	-	-	-	640	240	400	560	-	560	240	39.259
3	12	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
3	24	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
3	36	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
3	96	-	-	-	400	240	160	560	-	560	240	43.565
4	12	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
4	24	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
4	36	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
4	48	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
4	108	-	-	-	160	160	-	560	80	480	240	42.555
5	12	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
5	24	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
5	36	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
5	48	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
5	60	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
5	120	-	-	-	-	-	-	480	240	240	240	35.849
6	12	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
6	24	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
6	36	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
6	48	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
6	60	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
6	72	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
6	132	-	-	-	-	-	-	240	240	-	240	38.189
7	12	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
7	24	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
7	36	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
7	48	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
7	60	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
7	72	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
7	84	240	240	-	-	-	-	-	-	-	240	55.392

Continua...

Quadro 4 – Continuação

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção total (m <sup>3</sup> )
		Classes de produtividade										
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 há			Sítio III (14) – 560 ha				
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque		
8	12	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
8	24	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
8	36	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
8	48	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
8	60	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
8	72	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
8	84	140	140	-	100	100	-	-	-	-	240	48.670
9	12	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
9	24	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
9	36	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
9	48	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
9	60	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
9	72	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
9	84	-	-	-	240	240	-	-	-	-	240	39.259
10	12	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
10	24	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
10	36	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
10	48	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
10	60	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
10	72	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
10	84	-	-	-	240	240	-	-	-	-	240	39.259
11	12	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
11	24	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
11	36	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
11	48	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
11	60	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
11	72	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
11	84	-	-	-	160	160	-	80	80	-	240	35.042
12	12	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
12	24	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
12	36	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
12	48	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
12	60	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
12	72	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
12	84	-	-	-	-	-	-	240	240	-	240	26.609
13	12	-	-	-	-	-	-	-	-	240	-	-
13	24	-	-	-	-	-	160	-	-	80	-	-
13	36	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
13	48	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-
13	60	-	-	140	-	-	100	-	-	-	-	-
13	72	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-
13	84	-	-	-	-	-	-	240	240	-	240	26.609

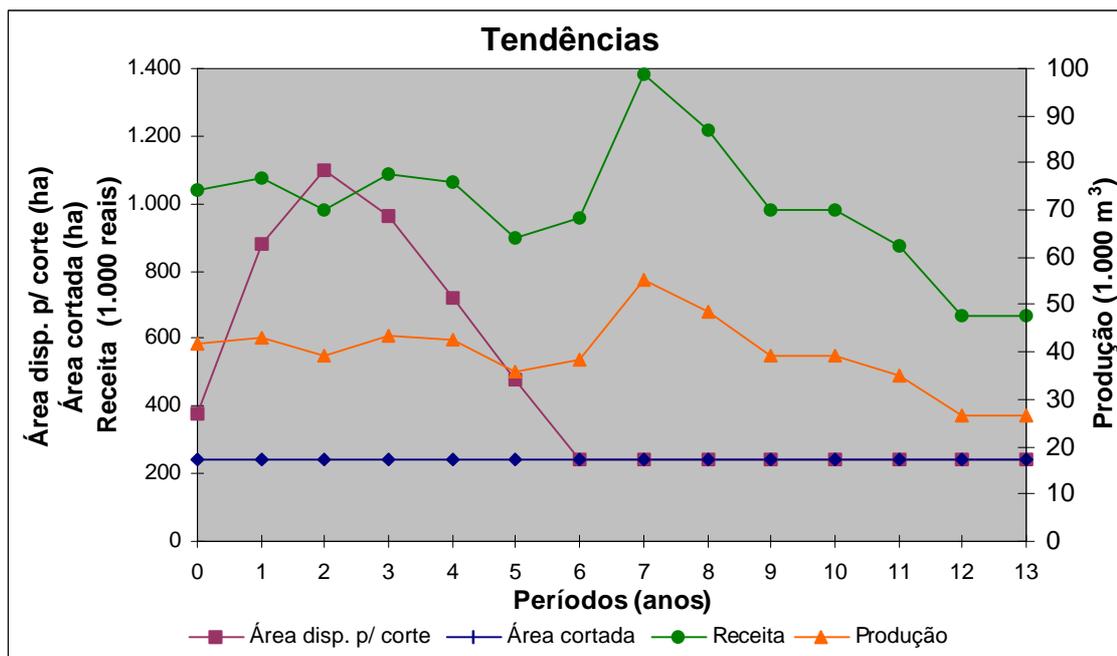


Figura 1 – Comportamento da área disponível para colheita, da área colhida, da produção e da receita, alcançadas pelo método de controle por área, em um intervalo de 13 períodos.

O modelo de controle por área apresenta algumas vantagens: uma é a garantia de uma floresta regulada em termos de área, em um período de transição relativamente curto, período esse definido pela própria rotação da espécie; outra é a segurança no planejamento das áreas a serem colhidas em cada período, pois a cada intervalo de tempo de uma rotação as operações de colheita voltam sempre à mesma área.

No Quadro 4 e na Figura 1, mostra-se que sete períodos após o início do processo (período 6, inclusive), que é exatamente o comprimento da rotação adotada para a área, a floresta passou a disponibilizar em cada período uma mesma quantidade de área para colheita, indicando que a partir de então, no que diz respeito à área, a floresta já se encontrava regulada. A partir desse ponto, observou-se a coincidência das curvas de área disponível para colheita e de área colhida. Um dos problemas desse modelo, que faz com que o mesmo seja alvo de críticas, é o fato de, em virtude da diferença de capacidade produtiva entre as áreas, não haver a regularidade da produção ao longo do tempo. Houve uma amplitude de variação da produção de 28.784 m<sup>3</sup>,

o que corresponde a uma variação de 52% em relação ao maior volume de produção em um período, ou 108,2% em relação ao menor, observados nos períodos 7 12, respectivamente. Esses períodos de alta e baixa no fluxo de produção causam incertezas nos profissionais responsáveis pelo planejamento produtivo da empresa, além de uma variação acentuada na receita anual.

A dificuldade de adoção desse método é a pressuposição de áreas eqüiproductivas de mesmo tamanho, o que só ocorreria em áreas enquadradas em uma mesma classe de local, fato esse de difícil ocorrência, se forem levadas em conta as dimensões dos plantios normalmente utilizados nas empresas florestais.

Em razão do fato de manter-se constante a área a ser colhida em cada período e da provável variação da capacidade produtiva entre locais, é esperado que haja essa flutuação da quantidade produzida, período a período, mesmo depois da obtenção da estrutura regulada. Se for considerado o retorno às mesmas áreas a cada rotação, é razoável afirmar que a flutuação da produção será cíclica, com a repetição ocorrendo sempre em intervalos de tempo de uma rotação.

### 3.2. Controle por volume

O princípio do controle por volume tem como base a determinação de uma cota periódica de produção a ser alcançada. De acordo com o proposto na metodologia, para a determinação dessa cota de produção a ser obtida periodicamente (VP) foi calculada a média ponderada da área, utilizando-se a expressão [3], resultando em:

$$V_p = \frac{(230,80 \times 380 + 163,58 \times 740 + 110,87 \times 560)}{1.680} \times 240 \Rightarrow V_p = 38.691 \text{ m}^3 \quad [12]$$

Determinada a cota de produção, passou-se a colher esse valor em cada período, independentemente da área necessária para tal, conforme mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Área disponível para colheita, colhida e em estoque e produção por classe de produtividade em cada período do horizonte de planejamento, em um sistema de controle por volume

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção Total (m <sup>3</sup> )
		Classes de produtividade										
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 ha			Sítio III (14) – 560 ha				
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque		
0	60		223,3	156,7	-	-	740	-	-	560	223,3	38.691
1	12	380	-	223,3	-	-	-	-	-	-	-	-
1	72	156,7	156,7	-	740	46,4	693,6	-	-	560	203,1	38.691
2	12			156,7			46,4					
2	24			223,3			-					
2	84	-	-	-	693,6	236,5	457,1	560	-	560	236,5	38.691
3	12						236,5					
3	24			156,7			46,4					
3	36			223,3			-					
3	96	-	-	-	457,1	213,1	244	560	-	560	213,1	38.691
4	12						213,1					
4	24						236,5					
4	36			156,7			46,4					
4	48			223,3			-					
4	108	-	-	-	244	196,5	47,5	560	-	560	196,5	38.691
5	12						196,5					
5	24						213,1					
5	36						236,5					
5	48			156,7			46,4					
5	60			223,3			-					
5	120	-	-	-	47,5	47,5	-	560	192,2	367,8	239,7	38.691
6	12						47,5			192,2		
6	24						196,5			-		
6	36						213,1			-		
6	48						236,5			-		
6	60			156,7			46,4			-		
6	72			223,3						-		
6	132							367,8	243,1	124,7	243,1	38.691
7	12									243,1		
7	24						47,5			192,2		
7	36						196,5			-		
7	48						213,1			-		
7	60						236,5			-		
7	72			156,7			46,4			-		
7	84	223,3	77	146,3	-	-	-	-	-	-	201,7	38.691
7	144				-	-	-	124,7	124,7	-		

Continua...

Quadro 5 – Continuação

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção Total (m <sup>3</sup> )
		Classes de produtividade										
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 ha			Sítio III (14) – 560 ha				
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque		
8	12	-	-	77,0	-	-	-	-	-	124,7		
8	24	-	-	-	-	-	-	-	-	243,1		
8	36	-	-	-	-	-	47,5	-	-	192,2		
8	48	-	-	-	-	-	196,5	-	-	-		
8	60	-	-	-	-	-	213,1	-	-	-		
8	72	-	-	-	-	-	236,5	-	-	-		
8	84	156,7	7,0	149,7	46,4	-	46,4	-	-	-	153,3	38.691
8	96	146,3	146,3	-	-	-	-	-	-	-		
9	12	-	-	153,3	-	-	-	-	-	-		
9	24	-	-	77,0	-	-	-	-	-	124,7		
9	36	-	-	-	-	-	-	-	-	243,1		
9	48	-	-	-	-	-	47,5	-	-	192,2		
9	60	-	-	-	-	-	196,5	-	-	-		
9	72	-	-	-	-	-	213,1	-	-	-		
9	84	-	-	-	236,5	-	236,5	-	-	-		
9	96	149,7	149,7	-	46,4	4,0	42,4	-	-	-	153,7	38.691
10	12			149,7			4,0					
10	24			153,3								
10	36			77,0						124,7		
10	48									243,1		
10	60						47,5			192,2		
10	72						196,5					
10	84						213,1					
10	96						236,5	167,2	69,3			
10	108						42,4	42,4	-			
11	12									209,6		
11	24			149,7						4,0		
11	36			153,3								
11	48			77,0							124,7	
11	60										243,1	
11	72						47,5			192,2		
11	84						196,5			196,5		
11	96						213,1	138,0	75,1			
11	108						69,3	69,3	-			
											207,3	38.691

Continua...

Quadro 5 – Continuação

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção Total (m <sup>3</sup> )	
		Classes de produtividade											
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 ha			Sítio III (14) – 560 ha					
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque			
12	12						207,3						
12	24						209,6						
12	36			149,7			4,0						
12	48			153,3									
12	60			77,0							124,7		
12	72										243,1		
12	84				47,5		47,5	192,2		192,2			
12	96				196,5	131,7	64,8						
12	108				75,1	75,1	-					206,8	38.691
13	12						206,8						
13	24						207,3						
13	36						209,6						
13	48			149,7			4,0						
13	60			153,3									
13	72			77,0							124,7		
13	84							243,1		243,1			
13	96				47,5	47,5	-	192,2	137,9	54,3		250,2	38691
13	108				64,8	64,8	-						
14	12						112,3				137,9		
14	24						206,8						
14	36						207,3						
14	48						209,6						
14	60			149,7			4,0						
14	72			153,3									
14	84	77,0	-	77,0				124,7	6,0	118,7			
14	96							243,1	243,1	-		303,4	38691
14	108							54,3	54,3	-			
15	12										303		
15	24						112,3						
15	36						206,8						
15	48						207,3						
15	60						209,6						
15	72			149,7			4,0						
15	84	153,3	18,5	134,8									
15	96	77,0	77,0	-				118,7	118,7	-		214,2	38.691

O comportamento das áreas disponibilizadas para colheita e colhidas, da produção e da receita alcançada, pelo método de controle por volume, ao longo de um horizonte de 15 períodos, é ilustrado na Figura 2.

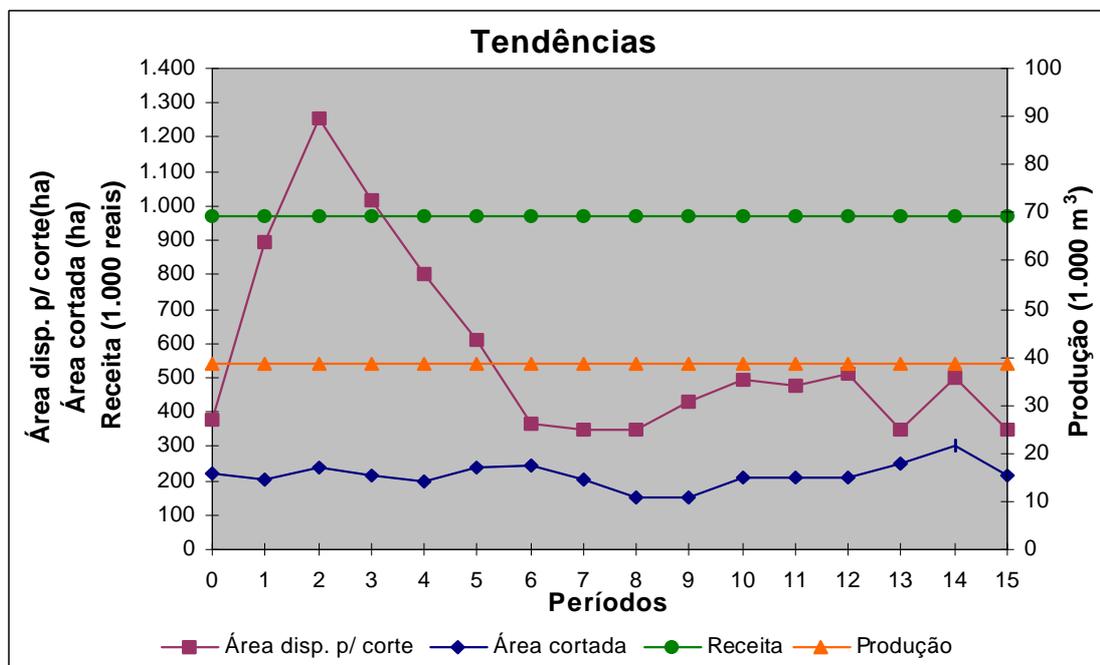


Figura 2 – Comportamento da área disponível para colheita, da área colhida, da quantidade produzida e da receita alcançada pelo método de controle por volume, em um intervalo de tempo de 15 períodos.

No Quadro 5 e na Figura 2, mostra-se que o controle por volume, apesar de proporcionar uma produção constante, que é a proposta do método, apresenta flutuações nas quantidades periódicas de área disponível para colheita e área colhida. Isso ocorre pelo fato de que dificilmente a colheita se repetirá integralmente na mesma área que foi colhida na rotação anterior, uma vez que, na maioria das vezes, é necessário colher áreas com idades diferentes para que se consiga cumprir a cota de produção. Houve uma amplitude de variação da área colhida de 150,1 hectares, o que corresponde a 49,5% em relação à maior área colhida em um período. Nesse modelo, a análise do comportamento dessas duas variáveis indicou que a tendência das flutuações é de se reduzirem com o passar do tempo, apesar de que, pela

forma como as áreas a serem colhidas em cada período são definidas, dificilmente essas flutuações desaparecerão. Tal característica, similarmente ao controle por área, apresenta a instabilidade do planejamento da empresa, pois, para que seja obtida uma cota fixa de produção, as áreas a serem colhidas têm que ser definidas periodicamente.

### 3.3. Controle por área estratificada (modelo proposto)

De acordo com o Quadro 3, as idades técnicas de corte, identificadas para cada uma das classes de produtividade, foram cinco anos para a classe I, seis anos para a classe II e sete anos para a classe III. Assim, pela metodologia proposta, os estratos que representam cada uma das classes foram divididos da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \text{Classe I} &\Rightarrow NC = \frac{R}{IC} \Rightarrow NC = \frac{5}{1} \Rightarrow NC = 5 \\
 \text{Classe II} &\Rightarrow NC = \frac{R}{IC} \Rightarrow NC = \frac{6}{1} \Rightarrow NC = 6 \\
 \text{Classe III} &\Rightarrow NC = \frac{R}{IC} \Rightarrow NC = \frac{7}{1} \Rightarrow NC = 7
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

O número total de compartimentos que comporá a floresta a partir de então é o somatório do número de compartimentos de cada uma das classes, ou seja, igual a 18.

O tamanho de cada compartimento ficou, dessa forma, dependente da área total e da rotação ótima da classe de local na qual está inserido. As áreas dos compartimentos ficaram assim definidas:

$$\begin{aligned}
 \text{Classe I} &\Rightarrow s = \frac{S}{NC} \Rightarrow s = \frac{380}{5} \Rightarrow s = 76 \text{ ha} \\
 \text{Classe II} &\Rightarrow s = \frac{S}{NC} \Rightarrow s = \frac{740}{6} \Rightarrow s = 123,3 \text{ ha} \\
 \text{Classe III} &\Rightarrow s = \frac{S}{NC} \Rightarrow s = \frac{560}{7} \Rightarrow s = 80 \text{ ha}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

A área total disponibilizada para colheita em cada período, após a obtenção da regulação, foi definida pelo somatório das áreas dos compartimentos disponibilizados para a colheita em cada classe. Portanto, em cada período a floresta passou a disponibilizar 279,3 hectares para o corte, uma área 16,37% superior àquela disponibilizada no controle por área. Essa maior disponibilização de área em cada período ocorreu em razão de as áreas que entraram em idade de corte aos cinco e seis anos apresentarem rotatividade mais rápida. Dessa forma, utilizam-se a terra e os demais recursos de modo mais eficiente, dos pontos de vista técnico e econômico.

Com essa subdivisão e seguindo a proposta de considerar cada classe de produtividade como um povoamento distinto, passou-se a seguir os passos seguintes de acordo com a metodologia do controle por área, cortando-se um compartimento em cada classe em cada período, obedecendo-se às respectivas idades de corte.

De acordo com a metodologia proposta e observando as produtividades de cada classe na respectiva idade técnica de corte, a produção alcançada em cada período foi definida pelas próprias áreas colhidas, sendo a cota de produção definida da seguinte forma:

$$V_T = \sum_{i=1}^n V_i \times s_i \Rightarrow V_T = 173,25 \times 76 + 142,35 \times 123,3 + 110,87 \times 80 \Rightarrow [15]$$

$$V_T = 39.588 \text{ m}^3$$

Com base na idade técnica de corte de cada classe, na cota de produção periódica e na quantidade de área a ser colhida em cada classe, obteve-se o plano de corte, conforme mostrado no Quadro 6.

Os comportamentos do tamanho da área, da quantidade produzida e da receita alcançada pelo método do controle por área estratificada, ao longo de um horizonte de 15 períodos, são ilustrados na Figura 3.

O Quadro 6 e a Figura 3 possibilitam observar vários pontos importantes: devido ao fato de toda a área apresentar-se inicialmente com cinco anos, percebe-se apenas o estrato referente à classe I de produtividade, disponível para colheita no período zero. A disponibilidade de áreas para colheita aumenta-se nos períodos 1 e 2, em virtude da entrada em idade de corte, das classes II e III, respectivamente.

Quadro 6 – Área disponível para colheita, colhida e em estoque e produção por classe de produtividade, em cada período do horizonte de planejamento, em um sistema de controle por área estratificada

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção Total (m <sup>3</sup> )
		Classes de produtividade										
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 ha			Sítio III (14) – 560 ha				
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque		
0	60	380	76	304	-	-	740	-	-	560	76,0	13.167
1	12	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-
1	72	304	76	228	740	123,3	616,7	-	-	560	199,3	33.114
2	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	-	-	-
2	24	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-
2	84	228	76	152	616,7	123,3	493,4	560	80	480	279,3	46.580
3	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
3	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	-	-	-
3	36	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-
3	96	152	76	76	493,4	123,3	370,1	480	80	400	279,3	51.691
4	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
4	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
4	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	-	-	-
4	48	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-
4	108	76	76	-	370,1	123,3	246,8	400	80	320	279,3	56.140
5	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
5	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
5	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
5	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	-	-	-
5	60	76	76	-	-	-	-	-	-	-	279,3	51.010
5	120	-	-	-	246,8	123,4	123,4	320	80	240	-	-
6	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
6	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
6	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
6	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
6	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	-	279,3	53.223
6	132	-	-	-	123,4	123,4	-	240	80	160	-	-

Continua...

Quadro 6 – Continuação

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção Total (m <sup>3</sup> )
		Classes de produtividade										
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 ha			Sítio III (14) – 560 ha				
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque		
7	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
7	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
7	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
7	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
7	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	279,3	44.137
7	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	-	-	-
7	144	-	-	-	-	-	-	160	80	80	-	-
8	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
8	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
8	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
8	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
8	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	279,3	44.749
8	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	80	-	-
8	156	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-
9	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
9	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
9	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
9	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
9	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	279,3	39.588
9	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	80	-	-
9	84	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-
10	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
10	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
10	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
10	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
10	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	279,3	39.588
10	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	80	-	-
10	84	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-
11	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
11	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
11	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
11	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
11	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	279,3	39.588
11	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	80	-	-
11	84	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-

Continua...

Quadro 6 – Continuação

Período	Idade (meses)	Área (ha)									Área colhida total (ha)	Produção Total (m <sup>3</sup> )
		Classes de produtividade										
		Sítio I (26) – 380 ha			Sítio II (20) – 740 ha			Sítio III (14) – 560 ha				
		Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque	Disp. p/ colheita	Colhida	Estoque		
12	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
12	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
12	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
12	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
12	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	-	-
12	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	-	279,3	39.588
12	84	-	-	-	-	-	-	80	80	80	-	-
13	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
13	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
13	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
13	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
13	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	-	-
13	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	80	279,3	39.588
13	84	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-
14	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
14	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
14	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
14	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
14	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	-	-
14	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	80	279,3	39.588
14	84	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-
15	12	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
15	24	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
15	36	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
15	48	-	-	76	-	-	123,3	-	-	80	-	-
15	60	76	76	-	-	-	123,3	-	-	80	-	-
15	72	-	-	-	123,3	123,3	-	-	-	80	279,3	39.588
15	84	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-

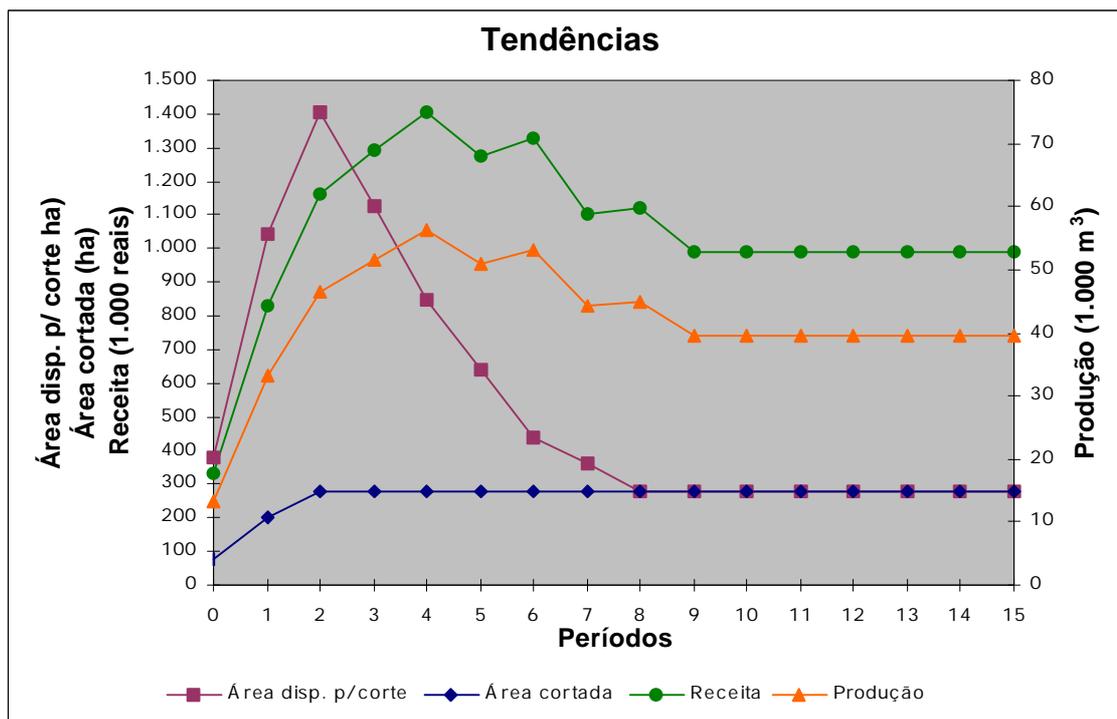


Figura 3 – Comportamento da área disponível para colheita, da área colhida, da produção e da receita alcançada pelo método de controle por área estratificada, em um intervalo de tempo de 15 períodos.

A flutuação da produção, observada até o período 9, ocorreu em função da proposta de se colher uma fração fixa de cada estrato em cada período. Isso fez com que as áreas disponibilizadas para colheita nos períodos iniciais do processo e que não foram colhidas integralmente fossem colhidas em idades e, conseqüentemente, volumes maiores, à medida que o processo de regulação avançava.

A variação da área colhida nos períodos iniciais ocorreu em função da opção de cortar, em cada período, as frações predefinidas na metodologia apenas nos estratos que já haviam alcançado a idade técnica de corte.

A variação da receita observada em todos os métodos apresentados segue a mesma tendência da curva de produção, em virtude do preço fixo da madeira e da linearidade existente entre as duas variáveis.

A estabilização ocorreu em nove períodos, que é exatamente o tempo entre o início do processo e o final da rotação mais longa, observada na classe III.

O modelo de controle por área estratificada apresenta a vantagem de proporcionar, naturalmente, o corte em forma de mosaico, minimizando o impacto visual negativo, característico de extensas áreas de corte raso. Esse formato de mosaico representa um benefício para a fauna, em virtude de uma maior facilidade de interligação dos talhões remanescentes.

### 3.4. Análise econômica

Com base nas receitas obtidas em cada um dos métodos de controle, observou-se, em termos de Valor Presente das Receitas – VPR e Benefício ou Custo Periódico Equivalente – B(C)PE, o que se segue nos tópicos subseqüentes.

### 3.5. Controle por área

$$VPR = \sum_{j=0}^n R_j \times (1+i)^{-j} \Rightarrow VPR = 1.039.500,00 + 1.072.550,00 \times (1+i)^{-1} + 981.475,00 \times (1+i)^{-2} + \dots + 665.200,00 \times (1+i)^{-13} \Rightarrow \quad [16]$$

$$VPR = R\$7.180.957,57$$

$$B(C)PE = \frac{VPR \times i}{[1 - (1+i)^{-j}]} \Rightarrow B(C)PE = \frac{7.585.938,10 \times 0,12}{[1 - (1,12)^{-13}]} \Rightarrow \quad [17]$$

$$B(C)PE = R\$1.180.957,57$$

### 3.6. Controle por volume

$$VPR = \sum_{j=0}^n R_j \times (1+i)^{-j} \Rightarrow VPR = 967.275 + 967.275 \times (1+i)^{-1} + 967.275 \times (1+i)^{-2} + \dots + 967.275 \times (1+i)^{-15} \Rightarrow \quad [18]$$

$$VPR = R\$7.555.253,95$$

$$B(C)PE = \frac{VPR \times i}{[1 - (1+i)^{-j}]} \Rightarrow B(C)PE = \frac{7.555.253,95 \times 0,12}{[1 - (1,12)^{-15}]} \Rightarrow$$

[19]

$$(C)PE = R\$1.109.294,42$$

### 3.7. Controle por área estratificada

$$VPR = \sum_{j=0}^n R_j \times (1+i)^{-j} \Rightarrow VPR = 329.175 + 827.850 \times (1+i)^{-1} +$$

$$1.164.500 \times (1+i)^{-2} + \dots + 989.700 \times (1+i)^{-15} \Rightarrow$$

[20]

$$VPR = R\$7.981.353,51$$

$$B(C)PE = \frac{VPR \times i}{[1 - (1+i)^{-j}]} \Rightarrow B(C)PE = \frac{7.981.353,51 \times 0,12}{[1 - (1,12)^{-15}]} \Rightarrow$$

[21]

$$B(C)PE = R\$1.171.856,16$$

O B(C)PE foi o critério escolhido para a avaliação econômica dos métodos de controle adotados neste estudo, uma vez que foram usados horizontes de planejamento de tamanhos diferentes. Por esse critério, observou-se que as alternativas de controle por área, controle por volume e controle por área estratificada propiciaram rendimentos totais anuais de R\$1.180.957,57, R\$1.109.294,42 e R\$1.171.856,16, respectivamente.

O controle por volume, apesar de apresentar regularidade da produção, propiciou um rendimento médio anual 6,0% menor que o controle por área e 5,3% menor que o controle por área estratificada. Isso faz com que as alternativas mais atrativas sejam o controle por área e o controle por área estratificada. Quando comparadas essas duas alternativas, observou-se que o controle por área estratificada apresentou um rendimento médio anual 0,77% inferior ao controle por área. Uma possível explicação para esse menor valor verificado no controle por área estratificada pode ser o fato de que, por esse método, a receita foi menor nos períodos 0 e 1, em virtude de as áreas apenas das classes I e II terem sido disponibilizadas para colheita. Essa diferença do

B(C)PE entre os controles por área e por área estratificada poderia ser considerada como o custo de se usar esse método de controle. Assim, pelos critérios adotados neste estudo, em termos de rendimento, esses dois métodos poderiam ser considerados equivalentes. Porém, há de se considerar a questão anteriormente mencionada a respeito da desvantagem do controle por área de não garantir a regularidade da produção. Dessa forma, levando em conta a regularidade das variáveis contempladas no planejamento operacional e a avaliação econômica, observou-se que o método proposto de controle por área estratificada apresenta vantagem quando comparado com os outros dois que foram objeto deste estudo.

O método de controle por área estratificada tem a vantagem de colher um compartimento de cada estrato, em cada período. Isso evita o corte raso de grandes áreas contínuas, possibilitando a formação de um mosaico de vegetação, o que é desejável dos pontos de vista ambiental e estético.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados possibilitaram chegar às seguintes conclusões:

### 4.1. Controle por área

- O controle por área é eficiente no processo de regulação, uma vez que possibilita prever com antecedência quando a estrutura regulada será alcançada.
- No que diz respeito à produção, apresenta problemas, pois há variações na quantidade produzida, em virtude das diferenças de capacidade produtiva entre locais.
- A irregularidade do fluxo de produto pode ser um problema no que diz respeito ao suprimento da empresa.
- É razoável afirmar que, em razão das diferenças de produtividade dos povoamentos, a variação da produção obedecerá a uma flutuação cíclica, que se repetirá em intervalo de tempo igual ao comprimento da rotação.
- Apesar da flutuação da produção, o método de controle por área apresenta a vantagem de repetir as variações de forma cíclica, o que possibilita a adequação do planejamento.

## **4.2. Controle por volume**

- Neste tipo de controle, a garantia de regularidade da produção só pode ser considerada no curto prazo, devido ao risco de se estabelecer uma cota de produção maior que a capacidade produtiva da área, o que, no longo prazo, poderá concorrer para a exaustão da base de recursos.
- Para este tipo de controle, o modelo não se mostrou eficiente no que diz respeito ao tempo de obtenção da floresta regulada, uma vez que apresenta reduções lentas da flutuação das áreas disponibilizadas para colheita e colhidas em cada período.
- No que diz respeito ao planejamento da empresa, o modelo garante, num primeiro momento, o suprimento da demanda estipulada, com o problema de se ter que assinalar, periodicamente, as áreas a serem colhidas.
- O controle por volume apresenta problemas no planejamento das áreas a serem colhidas em cada período e no estabelecimento da cota de produção periódica, pois há o risco de se estabelecerem cotas que superestimem ou subestimem a capacidade produtiva das áreas.

## **4.3. Controle por área estratificada**

- No controle por área estratificada, apesar da flutuação apresentada nos períodos iniciais, o modelo mostrou-se eficiente, uma vez que apresenta a estabilização de todas as variáveis contempladas no processo de regulação.
- Neste modelo há uma flutuação inicial da produção, ocorrida em função da premissa estabelecida de se colher uma área fixa em cada período e de colher áreas com idades superiores às de corte.
- O modelo mostrou-se eficiente dentro da sua proposta, uma vez que apresentou regularidade da área colhida e produção, a partir dos períodos 2 e 9, respectivamente.
- Na situação abordada, o intervalo de nove períodos pode ser considerado como o período de transição.

## **CAPÍTULO 2**

### **IMPLANTAÇÃO E REGULAÇÃO DE POVOAMENTOS MISTOS**

#### **1. INTRODUÇÃO**

O setor florestal brasileiro vem se consolidando como um forte elemento de sustentação da economia do Brasil, e a importância ambiental, social e econômica do setor é de dimensão global, pois, além de o país ser um dos maiores detentores de florestas tropicais naturais, possui uma considerável área de florestas plantadas que visa suprir a demanda de produtos florestais de sua indústria.

A história da utilização dos recursos florestais no Brasil confunde-se com a própria história do país, onde, após o descobrimento, iniciou-se a extração do pau-brasil. Desde aquela época até os dias atuais, essa extração é feita quase que exclusivamente de forma extrativista, sem um planejamento adequado que contemple a sustentabilidade. Atualmente, grande parte da madeira produzida no país ainda provém dessa fonte de recursos.

O manejo de florestas nativas enfrenta ainda uma série de problemas técnicos, econômicos e ambientais decorrentes, principalmente, do baixo volume de madeira por unidade de área, dos elevados custos de colheita e dos graves impactos ambientais, oriundos, sobretudo, da falta de um planejamento adequado da atividade.

Da forma como a madeira das florestas foi e continua sendo obtida, muitas vezes predatória, o corte é geralmente seletivo, priorizando as espécies de maior valor comercial e as áreas que apresentam menor custo de colheita. A colheita de florestas, em que o corte é feito dessa forma e apenas as espécies de maior valor comercial e de menor custo de colheita são removidas, geralmente leva a uma rápida diminuição da sua biodiversidade (BRUM NETO, 2001). Essa forma de utilização resulta no risco de exaustão dos recursos em um horizonte bastante curto. No entanto, o plantio de maciços florestais eqüiâneos, apesar de contribuir significativamente para essa redução da diversidade biológica, apresenta uma grande contribuição para a conservação e, ou, preservação dos remanescentes de florestas nativas, pois, ao disponibilizar madeira em quantidade e qualidade e em espaços de tempo significativamente mais curtos, acabam reduzindo a pressão exploratória sobre esses restantes de florestas. Mesmo com esse feito ambiental, os plantios eqüiâneos são freqüentemente criticados pelos ambientalistas por dois motivos principais: um é o fato de, na maioria das vezes, serem cultivados com espécies exóticas, sobretudo dos gêneros *Pinus* e *Eucaliptus*, e o outro, pelo sistema de monocultura, que acaba contribuindo para a diminuição da diversidade biológica local.

A perda da biodiversidade causada pelos desmatamentos e pela implantação de povoamentos homogêneos, associada à necessidade de manutenção dessa biodiversidade e ao suprimento de forma sustentável da demanda crescente por vários produtos florestais, vem norteando vários estudos, cujo principal objetivo é encontrar o equilíbrio entre o uso e a conservação dos recursos florestais, criando, assim, um novo debate dentro do manejo florestal. Com base nessa linha de pensamento, o que já vem sendo proposto por alguns autores é o aumento da biodiversidade, associada ao uso múltiplo das florestas, por meio da estruturação de povoamentos mistos. Estes têm como base a implantação de talhões homogêneos, mas distintos entre si, ou seja, dentro de um talhão é implantada uma única espécie. A variação em termos de espécies e idades ocorre entre talhões (BRUM NETO, 2001). Dessa forma, tem-se uma maior variedade de espécies na área total, embora cada talhão se apresente como um povoamento homogêneo.

Apesar das críticas recebidas, os plantios homogêneos com espécies de rápido crescimento têm se firmado como um dos principais alicerces de sustentação da economia do setor florestal, uma vez que, nos últimos anos, duas forças antagônicas atuam fortemente no setor, que são o aumento cada vez mais acentuado da demanda por produtos florestais e a presença cada vez mais restritiva da legislação florestal, principalmente no que diz respeito à utilização de produtos provenientes de florestas nativas.

A estruturação de povoamentos mistos, com base em talhões homogêneos, pode apresentar vantagens técnicas e econômicas, sociais e ambientais devido à facilidade de implementação das técnicas de manejo a elas prescritas; às melhores condições de mecanização, resultando em menor custo de colheita; à melhor padronização do produto final, o que acaba propiciando maior retorno financeiro por unidade de área; à maior diversidade de espécies no local, o que pode otimizar a utilização do solo e propiciar o uso múltiplo dos recursos; e ao fato de usar espécies com rotações diferentes e promover um fluxo regular de produção e utilização constante de mão-de-obra.

A obtenção da sustentabilidade da produção está intimamente relacionada com a imposição de uma estrutura regulada para a floresta, pois essa estrutura é a garantia de que a produção periódica será mantida perpetuamente, sem haver a exaustão dessa fonte de recursos (BRUM NETO, 2001). Segundo esse mesmo autor, a possibilidade do uso múltiplo das florestas e a necessidade de manutenção e promoção da biodiversidade, associadas ao fato de grande parte da madeira serrada produzida no país ser proveniente de matas nativas, tornam viáveis a possibilidade de estruturação de reflorestamentos mistos.

Independentemente da forma de organização dos reflorestamentos, é necessário determinar em que idade uma árvore (ou conjunto de árvores) deve ser colhida, e essa determinação da idade ótima de corte, seja para um ciclo, seja para uma estrutura regulada, pode ser estabelecida com o auxílio da análise marginal. A idade ideal de corte para um talhão equiânneo é aquela em que o lucro auferido pela postergação da colheita se equipara aos custos incorridos na sua manutenção durante o mesmo período (DAVIS e JONHSON, 1987; CLUTTER et al., 1992).

Um dos caminhos para o aumento da diversidade biológica, quando se trabalha com plantios homogêneos, é tentar criar uma paisagem diversificada a partir de povoamentos estruturados com talhões homogêneos, distintos entre si, formando-se mosaicos de vegetação e empregando técnicas silviculturais semelhantes àquelas aplicadas aos povoamentos puros.

Dentro dessa concepção, os povoamentos mistos implantados com blocos ou talhões homogêneos buscam a conciliação entre uma condição mais próxima da complexidade da floresta natural, em termos de diversidade, e a alta capacidade produtiva dos plantios homogêneos. Assim, tem-se uma floresta com maior diversidade de espécies, mas de alta produtividade e manejada a um menor custo, como acontece na floresta equiânua.

RIBEIRO et al. (1996) e RIBEIRO e COUTO (1997) desenvolveram metodologias que se alinham com essa corrente para nortear a revegetação de áreas degradadas com florestas de produção, estruturalmente complexas, onde o processo de reocupação do solo se dá de forma gradual, sob a forma de talhões. O resultado desse sistema é uma estrutura diversa e complexa, tanto em termos de espécies quanto de idades dos talhões. Dentre as principais características dessa proposta, citam-se a sustentabilidade de uma produção diversificada e a rotação espacial das espécies e de uso do solo. Em uma floresta regulada, com base em povoamentos mistos, o rodízio espacial e temporal das culturas, ocorrido a cada colheita, favorece a ciclagem de nutrientes, ao explorar diferentes perfis do solo, minimizando, assim, a exaustão associada às práticas de monocultivo.

A definição do VES para reflorestamentos mistos de produção sustentável aqui proposta tem como ponto de partida a formulação original de Faustmann, em que a diferença fundamental entre as duas propostas está na forma de ocupação da terra. Na proposta de Faustmann, a área é implantada de uma só vez, como se a floresta se constituísse de um único talhão, ao passo que na proposta de um reflorestamento misto regulado a implantação é feita gradativamente. Usando-se uma mesma rotação para as duas situações, é fácil visualizar que, na idade de corte, a proposta de Faustmann proporcionará uma produção total, proveniente de toda a área, enquanto o reflorestamento misto terá apenas a produção do talhão que está na idade de corte. A grande diferença dos dois sistemas é que, no período seguinte, a

floresta regulada proporcionará nova receita proveniente do talhão que estará atingindo a idade de corte, já a floresta de um único talhão precisará esperar uma rotação inteira para proporcionar nova receita (BRUM NETO, 2001).

Dentro deste contexto e seguindo essa tendência, o objetivo deste trabalho foi propor uma adaptação da metodologia de estruturação de povoamentos mistos com vistas a alcançar a regulação da produção, em um período de tempo mais curto do que aquele conseguido pela metodologia proposta por BRUM NETO (2001).

Os objetivos específicos foram:

- Propor uma metodologia de estruturação de povoamentos mistos para reduzir o tempo de ocupação da terra e o período de regulação da produção.
- Confrontar essa metodologia com o modelo tradicional proposto por BRUM NETO (2001) e com o de Faustmann.
- Avaliar os possíveis ganhos em questão do tempo de regulação e do tempo de ociosidade da terra.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia aqui proposta é uma adaptação do modelo tradicional como uma alternativa para o processo de regulação florestal de povoamentos mistos, com o uso de uma estratégia de cunho temporal e espacial, adotada na implantação das culturas, e uma análise econômica dessa estratégia, por meio do cálculo e interpretação do Valor Esperado do Solo (VES), que pode indicar a rotação ótima de cada uma das culturas, com o intuito de otimizar o processo de regulação.

### **2.1. Estratégia espacial e temporal de ocupação da terra**

#### **2.1.1. Modelo tradicional**

O que se chamou aqui de modelo tradicional é o modelo de regulação da produção, em que a ocupação da terra é feita de forma gradual, seguindo-se os preceitos do controle por área, sendo a área total dividida em um número de compartimentos igual ao da rotação da espécie utilizada, e a cada ano é implantado um novo talhão.

A proposta do modelo tradicional é uma estratégia de regulação da produção florestal de povoamentos mistos, pela qual a ocupação da terra é feita de forma gradual, realizando-se a implantação de uma seqüência de culturas distintas e obedecendo a uma mesma ordem em todos os talhões, ou

seja, no primeiro período é implantada no primeiro talhão uma cultura “a” qualquer, que será substituída por uma cultura “b”, e assim por diante até completar a seqüência. A cada novo período, um novo talhão é implantado com a cultura inicial “a” até que toda a área seja ocupada. Nesse modelo, conforme proposto no trabalho de BRUM NETO (2001), a seqüência de culturas foi constituída pelas espécies a, b e c, com rotações de um, dois e quatro anos, respectivamente. A forma de como se dá a ocupação da terra nesse modelo é mostrada na Figura 1.

Esse modelo parte do pressuposto da terra nua e do uso de três culturas (a, b e c), podendo estas ser de uma mesma espécie florestal manejada para diferentes usos, com rotações distintas, ou espécies florestais distintas, ou, ainda, espécies florestais alternadas com culturas agrícolas. É considerado um ciclo completo o tempo total necessário para se ter em um talhão uma rotação de cada uma das culturas da seqüência, que nesse caso são 10 anos.

A seqüência de culturas é seguida sem alteração da ordem de implantação, e em cada período um novo talhão ocioso é implantado com a cultura inicial da seqüência, seguindo-se esse procedimento até que toda a área seja ocupada.

### **2.1.2. Modelo alternativo**

O modelo alternativo de ocupação da terra, proposto neste trabalho, segue a linha proposta pelo modelo tradicional, com a diferença de que, em vez de fazer a implantação de um único talhão em cada período, sempre iniciando com a primeira cultura da seqüência, faz-se a implantação simultânea de todas as culturas da seqüência, em tantos talhões distintos quanto forem as culturas a serem implantadas.

Para exemplificar a forma de como ocorre a ocupação da terra e de como se dá a regulação, consideraram-se as mesmas culturas usadas no modelo tradicional mostrado anteriormente, com as três culturas a, b e c, porém com rotações de dois, três e cinco anos, respectivamente. Com isso, obteve-se um ciclo de 10 anos, que é o somatório das rotações das três culturas.

		TALHÕES									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
PERÍODOS	0	a									
	1		a								
	2	b		a							
	3		b		a						
	4			b		a					
	5	c			b		a				
	6		c			b		a			
	7			c			b		a		
	8				c			b		a	
	9					c			b		a
	10	a					c			b	
	11		a					c			b
	12	b		a					c		
	13		b		a					c	
	14			b		a					c

a Cultura "a" (dois anos)      b Cultura "b" (três anos)  
c Cultura "c" (cinco anos)       Terra ociosa

Figura 1 – Modelo tradicional de ocupação da terra pela seqüência de culturas, proposto na metodologia de BRUM NETO (2001).

Por essa nova proposta, na implantação feita no momento zero do horizonte de planejamento se utilizaram as culturas “a” no talhão I, “b” no talhão II e “c” no talhão III. Nos períodos seguintes, o processo foi repetido em outros blocos de talhões ociosos. A forma como ocorreu a ocupação da terra pode ser mais bem visualizada na Figura 2.

## **2.2. Análise do valor esperado do solo**

De posse da informação sobre a forma de ocupação da terra, na segunda fase do estudo foi feita uma análise econômica do processo, por meio da análise marginal da equação do Valor Esperado do Solo, visando obter informações do comportamento do referido VES ao antecipar ou postergar, por um período, a colheita de uma cultura “i” qualquer da seqüência.

Para se chegar ao VES total da floresta, calcularam-se a receita líquida periódica e o valor presente. A partir daí, foram realizadas uma simulação e a análise marginal.

### **2.2.1. Receita líquida periódica de um talhão**

De acordo com a metodologia proposta por BRUM NETO (2001) e tomando como pressuposto que um talhão cortado é imediatamente restabelecido com a cultura seguinte da seqüência de culturas, o fluxo de caixa deve considerar os seguintes itens:

- Custos de implantação das culturas, capitalizados para o momento da colheita.
- Custos de manutenção das culturas, incorridos ao final de cada período e capitalizados para o momento da colheita.
- Custos da colheita, considerados no momento de sua realização.
- Receitas provenientes da produção de cada espécie, considerada no momento da colheita.

Assim, para o modelo tradicional, o fluxo de caixa de um ciclo completo de culturas pode ser representado conforme mostrado na Figura 3.

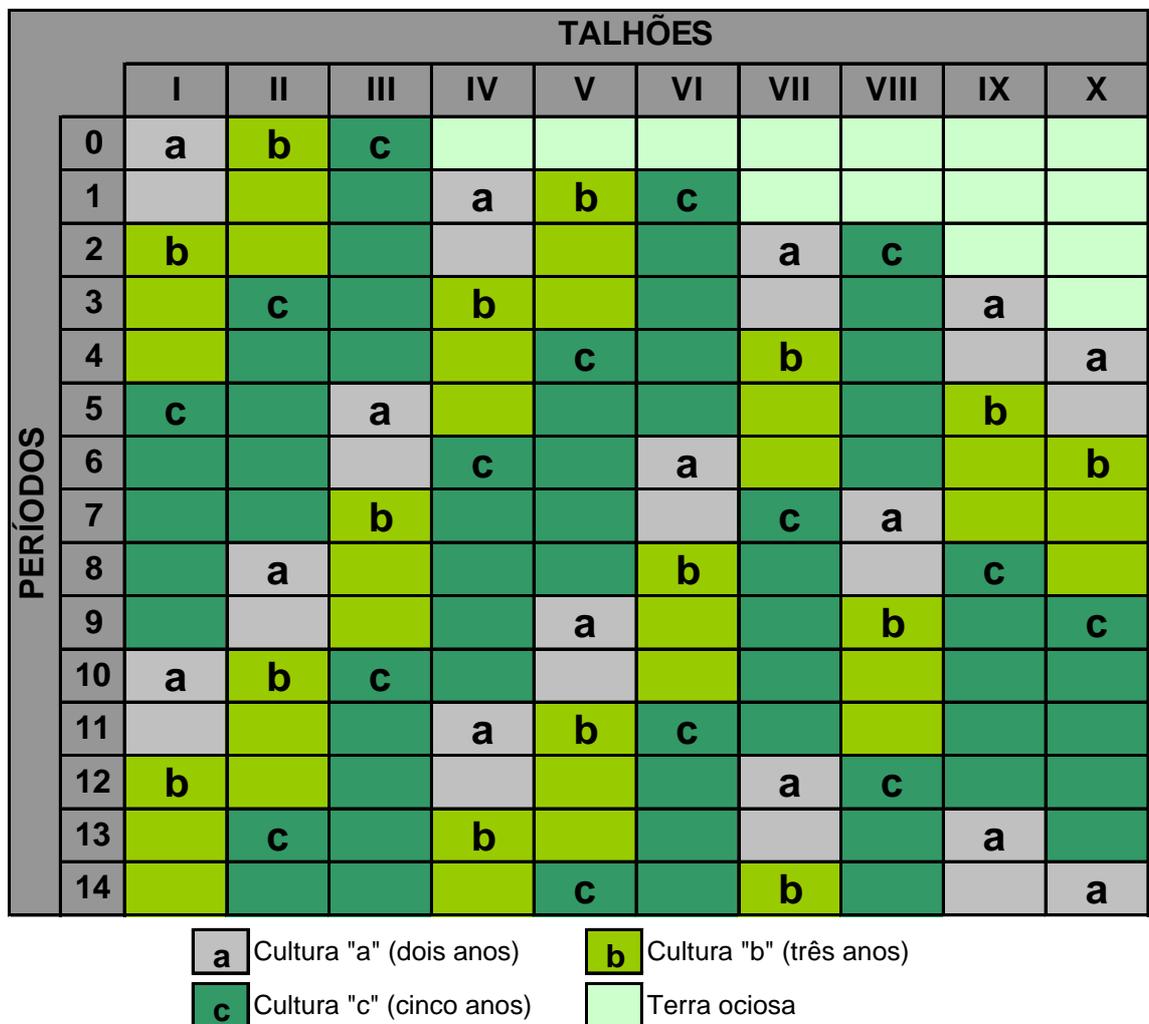


Figura 2 – Modelo alternativo de ocupação da terra prevendo a implantação simultânea de todas a culturas da seqüência.

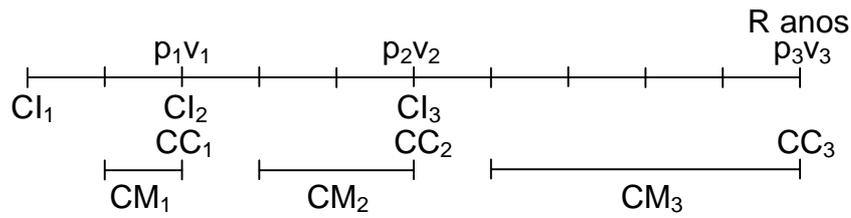


Figura 3 – Fluxo de caixa de um ciclo de culturas conforme usado no modelo tradicional de regulação.

Com base no fluxo de caixa, o valor da receita líquida de um ciclo de culturas foi calculado para o momento da colheita, pela seguinte equação:

$$a_I^R = s \times \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n (p_i \times V_i - CC_i \times V_i) \times (1+t)^{\sum_{j=i+1}^n r_j} \right] - \left[ \sum_{i=1}^n CE_i \times (1+t)^{\sum_{j=i}^n r_j} \right] - \left[ CM_i \times \frac{[(1+t)^{r_i} - 1]}{t} \right]^{\sum_{j=i+1}^n r_j} \right\} \quad [1]$$

em que:

$a_I^R$  = receita líquida total de um talhão com povoamento misto, corrigida para o momento da colheita da última espécie da seqüência;

$R$  = período de tempo que compreende o somatório das rotações de todas as culturas da seqüência;

$i$  =  $i$ -ésima cultura do ciclo;

$s$  = área de cada talhão;

$n$  = número de espécies da seqüência;

$p_i$  = preço por unidade produzida da  $i$ -ésima espécie, na idade de corte;

$V_i$  = produção por unidade de área da  $i$ -ésima espécie;

$CC_i$  = custo de colheita por unidade produzida da  $i$ -ésima espécie;

$t$  = taxa anual de juros;

$r$  = rotação econômica da  $i$ -ésima espécie;

$CE_i$  = custo de estabelecimento por unidade de área da  $i$ -ésima espécie; e

$CM_i$  = custo de manutenção por unidade de área da  $i$ -ésima espécie.

## 2.2.2. Valor presente das receitas líquidas de um talhão

O valor presente para um ciclo da seqüência de culturas é definido pela seguinte equação:

$$a_1^0 = \frac{a_1^R}{(1+t)^k - 1} \quad [2]$$

em que:

$a_1^0$  = valor presente da série de parcelas;

$a_1^R$  = valor da receita líquida periódica de um talhão no final de um ciclo;

$t$  = taxa de juros;

$n$  = número de períodos da série; e

$k$  = número de capitalizações ocorridas entre duas parcelas.

Nesse caso, para o talhão I, por exemplo, " $a_1^0$ " representa o valor presente de um ciclo de culturas, descapitalizadas para o período zero, em que cada parcela " $a_1^R$ " representa as receitas líquidas de um ciclo completo de culturas.

O VES parte do pressuposto de que a terra será utilizada perpetuamente numa mesma atividade e, ou, formação. Dessa forma, o VES de um talhão referente às receitas provenientes de uma cultura qualquer, repetida infinitamente, pode ser obtido pela seguinte equação:

$$VES = \frac{a_1^R}{(1+t)^k - 1} \quad [3]$$

O VES representa o valor presente de uma série de pagamentos infinita que tem como parcela "a" as receitas líquidas da atividade exercida perpetuamente na referida área, no caso o talhão I. Reflete a capacidade de geração de renda da área em questão e pode ser interpretado como o valor

máximo que poderia ser pago pela terra para ser usada na atividade que está sendo avaliada, pois é o máximo de renda que ela consegue produzir.

Para o caso de um ciclo de culturas, como proposto no modelo, o VES de um talhão pode ser representado pela mesma equação, porém com o valor da parcela “a” representando não apenas a receita líquida de uma única cultura, mas sim a receita líquida de um ciclo completo. Assim, o VES para essa nova situação pode ser representado da seguinte forma:

$$VES_1 = \frac{a_1^R}{(1+t)^k - 1} \quad [4]$$

em que:

$VES_1$  = valor esperado do solo para o talhão I; e

$a_1^R$  = receita líquida total de um talhão com povoamento misto, corrigida para o momento da colheita da última espécie da seqüência.

Após o desenvolvimento da equação, tem-se a seguinte definição:

$$VES_1 = \frac{a_1^0 \times (1+t)^k}{(1+t)^k - 1} \quad [5]$$

em que:

$a_1^0$  = valor presente da receita líquida total de um talhão com povoamento misto.

$$a_1^0 = a_1^R \times (1+t)^{-R} = S \times \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n (p_i \times V_i - CQ_i \times V_i) \times (1+t)^{\sum_{j=i+1}^n r_j} \right] - \left[ \sum_{i=1}^n CE_i \times (1+t)^{\sum_{j=i}^n r_j} \right] - \left[ CM_i \times \frac{[(1+t)^r - 1]}{t} \right]_{j=i+1}^{\sum_{j=i+1}^n r_j} \right\} \times (1+t)^{-R} \quad [6]$$

Seguindo o pressuposto da não-alteração da seqüência de implantação das culturas, conforme visto na Figura 1, o fluxo de caixa de todos os talhões é

idêntico. Isso faz com os VES de todos os talhões sejam também idênticos, porém ocorrendo em uma seqüência temporal lógica e sempre defasados em relação ao VES do talhão I, em tantos quantos forem os períodos que os separam. Assim, em relação ao talhão I, o VES do talhão II é defasado em um período e o VES do talhão III, defasado em dois períodos, e assim sucessivamente até chegar ao VES do talhão X, defasado em nove períodos. Dessa forma, pelo fato de o VES de cada talhão ser idêntico ao VES do talhão estabelecido no período anterior, defasado em um período, pode-se afirmar o que se segue:

$$VES_i = VES_{1,x}(1+t)^{-(i-1)} \quad [7]$$

Isso significa que o VES total ou VTES da floresta pode ser representado pela seguinte expressão:

$$VTES_{FLORESTA} = \sum_{i=1}^n VES_i = \sum_{i=1}^n VES_{1,x}(1+t)^{-(i-1)} \quad [8]$$

Se o VES de todos os talhões são idênticos, pode-se dizer que o VTES de uma floresta pode ser representado pelo valor presente de uma série periódica finita, com o número de parcelas sendo igual ao número de talhões da floresta (para o modelo, n=10) e o valor das parcelas representado pelo VES de um único talhão. Assim, o VES total da floresta pode ser representado pela seguinte equação:

$$VTES_{FLORESTA} = \frac{VES_{TALHÃO} [1 - (1+t)^{-n}]}{t} \quad [9]$$

em que:

n = número de talhões da floresta.

### 2.3. Estabelecimento das condições de otimalidade

Uma vez obtida a equação do VES para a floresta, o passo seguinte foi estabelecer as condições de otimalidade, em que o objetivo era a determinação da idade ideal de corte de cada uma das espécies que compõem a seqüência de culturas.

Partindo da derivada da equação do VES, em relação à variável “r”, que representa o comprimento das rotações das culturas, após a manipulação algébrica, inclusive com a transformação da capitalização periódica em capitalização contínua, BRUM NETO (2001) chegou à seguinte expressão:

$$P_i \frac{\partial V_i}{\partial r_i} = a_u^0 \left( \frac{N_i}{Z} + \frac{t_x e^{-t_x R}}{1 - e^{-t_x R}} - \frac{N_i t_x e^{-t_x Z}}{1 - e^{-t_x Z}} \right) e^{t_x \sum_{j=1}^i r_j} + \left\{ \sum_{j=1}^n \left[ t_x (p_j V_j - CC_j) e^{-t_x \sum_{k=j+1}^i r_k} \right] - \sum_{j=i+1}^n \left( t_x CE_j e^{-t_x \sum_{k=1}^{j-1} r_k} \right) \right\} + CM e^{-t_x \sum_{j=i+1}^n r_j} \quad [10]$$

### 2.4. Análise marginal das condições de otimalidade

A análise marginal, no contexto aqui abordado, leva à interpretação das respostas observadas no VES, em virtude da variação unitária do tempo, no comprimento das rotações de cada uma das culturas que compõem a seqüência de plantio.

### 2.5. Simulação com valores numéricos

Para que pudesse ser verificada a diferença entre os VESs dos dois modelos, optou-se por fazer uma simulação, e para isso foram atribuídos valores de custos e receitas para as três culturas da seqüência proposta. Os valores atribuídos são mostrados no Quadro 1.

Após a atribuição de valores, foi calculado o VES para um único talhão e em seguida para a floresta regulada, considerando-se os 10 talhões pelo intervalo de tempo mínimo exigido para que a floresta atingisse a regulação por ambos os modelos. Nesses cálculos foi considerada a taxa de juros de 12% ao ano.

Quadro 1 – Variáveis do modelo e valores atribuídos de custos e receitas

Variáveis do modelo	Unidade	Culturas		
		a	b	c
Preço (P)	US\$/m <sup>3</sup>	10	15	20
Produção (Q)	Qtde/ha	50	80	200
Custo de Colheita (CC)	US\$/ha	40	50	150
Custo de Implantação (CI)	US\$/ha	60	80	100
Custo de Manutenção (CM)	US\$/ha·ano	20	25	40
Rotação	anos	2	3	5

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Regulação florestal**

Em uma situação mais comumente utilizada, em que esteja sendo usada uma única espécie, a regulação florestal é considerada como atingida quando já esteja sendo cortado e renovado um compartimento de mesma área, em cada período. Pela proposta de povoamentos mistos, pelo fato de serem usadas espécies distintas, implantadas em seqüência, a regulação é considerada como atingida no período em que esses povoamentos já estejam sendo colhidos e esteja implantado um talhão de cada cultura.

##### **3.1.1. Modelo tradicional**

Na simulação proposta no modelo tradicional, pelo fato de ser prescrita a implantação de um único talhão em cada período, a regulação foi atingida 10 períodos após o início do processo, o que coincidiu exatamente com o número de talhões do projeto e com o tempo necessário para a ocorrência de um ciclo completo das culturas. Essa situação é representada na Figura 4.

A igualdade do número de talhões com o número de períodos do ciclo de culturas, neste modelo, é necessária para garantir tanto a regulação da área quanto a regularidade do fluxo de produção.

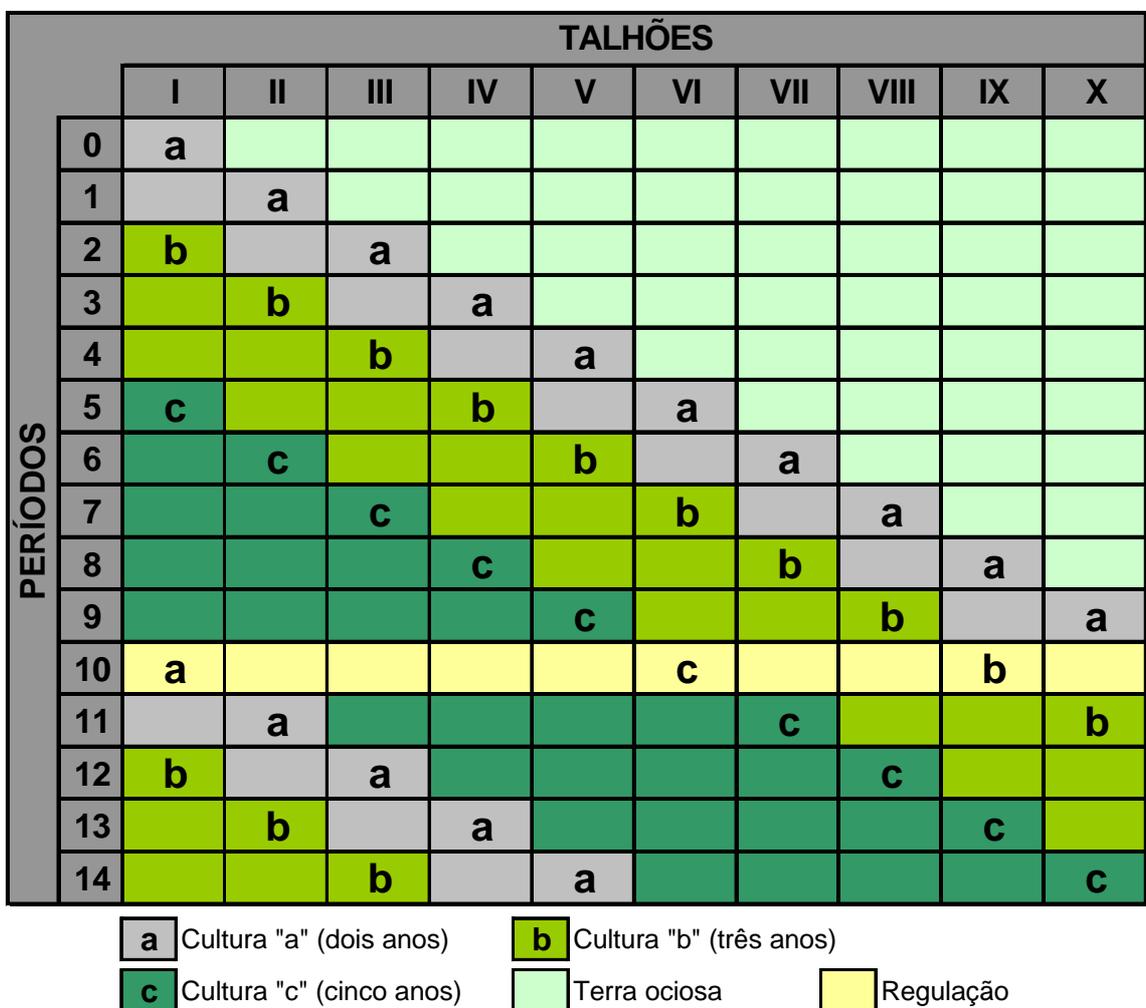


Figura 4 – Modelo de ocupação da terra pela seqüência de culturas, proposto no modelo tradicional, assinalando os talhões ociosos e a ocorrência da regulação da produção.

Pelo modelo tradicional, além da demora para se conseguir a regulação da produção, observou-se que parte da área disponível para as culturas permaneceu ociosa por longos períodos de tempo, o que acaba onerando a produção devido ao custo de oportunidade da terra, referente a essas áreas que não foram utilizadas nos primeiros períodos. Pôde-se observar que os últimos talhões implantados, a exemplo do talhão X, ficaram nove anos ociosos, ou seja, nessa forma de ocupação da terra levou-se muito tempo para ocupar a área com uma cultura da seqüência regulatória. Isso faz com que o referido modelo seja alvo de muitas críticas.

Para se ter uma idéia da dimensão da redução do custo da terra, referente aos talhões ociosos, pode-se fazer uma comparação entre os dois modelos e, para isso, convencionar como a unidade a ser comparada um talhão ocioso por uma unidade de tempo. Partindo-se desse raciocínio e observando as Figuras 1 e 2, é possível identificar, no modelo tradicional (Figura 1), 45 unidades ociosas, enquanto no novo modelo proposto, apenas 14 unidades (Figura 2). Essas duas situações evidenciam que, pelo modelo tradicional, até que ocorra a ocupação total da área tem-se aproximadamente três vezes o custo da terra com talhões ociosos, em comparação com o custo observado no novo modelo.

### **3.1.2. Modelo alternativo**

A proposta apresentada neste trabalho adotou uma forma diferente de ocupação da terra, prevendo a implantação simultânea de uma seqüência completa de culturas em talhões distintos, conforme descrito anteriormente na metodologia. Por este modelo, a ocupação da área ocorreu de forma mais rápida. Tal ocupação mais acelerada e de forma planejada promoveu a regulação da produção em um período de tempo bastante inferior àquele observado no modelo tradicional.

No novo modelo, em consonância com o verificado no modelo tradicional, para que haja um fluxo regular da produção é necessário que o número de talhões seja igual ao número de períodos de um ciclo completo das culturas.

No que diz respeito à regulação da produção, em consequência da forma de ocupação da área, ela ocorreu mais cedo, mas mesmo assim após a ocupação de todos os talhões. Uma das vantagens deste modelo é que, enquanto no modelo tradicional foi preciso um número de períodos igual ao comprimento de um ciclo completo das culturas para que ocorresse a regulação, aqui ela ocorreu em um número de períodos igual à rotação mais longa do que aquelas observadas entre as culturas da seqüência. Tais constatações são verificadas na Figura 5.

A lógica da antecipação da regulação está na implantação simultânea das culturas, e a comprovação disso pode ser feita comparando-se as Figuras 4 e 5. Analisando a Figura 4, referente ao modelo tradicional, a partir do período 5, que é o primeiro período em que ocorre a implantação simultânea das três culturas, verifica-se que, após cinco anos, acontece a regulação exata e igualmente ao novo modelo proposto.

Pelo modelo tradicional, conforme mencionado anteriormente, para que a regulação ocorra completamente é necessário que o número de talhões seja igual ao número de períodos necessários para a ocorrência de um ciclo completo de culturas. Com um número de talhões inferior a esse, a ocupação da área se dá antes da ocorrência do ciclo, não dando condições de haver a regulação. Em outra situação, se for maior, haverá a repetição de culturas em um mesmo talhão antes de ocorrer a ocupação total da área, promovendo-se, assim, um desbalanceamento entre o número de talhões estabelecidos com cada uma das culturas. Em ambas as situações, a floresta não poderia ser considerada como regulada.

Este novo modelo de ocupação da terra, apesar de prescrever a implantação simultânea de todas as culturas da seqüência em tantos talhões distintos quantas forem as culturas utilizadas, prevê a manutenção da seqüência “a → b → c” das culturas prescritas no modelo tradicional, apresentando, logicamente, uma variação na ordem inicial de implantação das culturas em alguns talhões. Por isso, na fase inicial do projeto são observados talhões que, pelo modelo tradicional, ficariam ociosos, sendo implantados com a cultura “a”, outros com a “b” ou, ainda, com a “c”. Assim, é possível identificar blocos de talhões iniciados com as culturas em ordens diferentes. Analisando a Figura 5, pode-se verificar que os talhões I, IV, VII, IX e X são implantados na

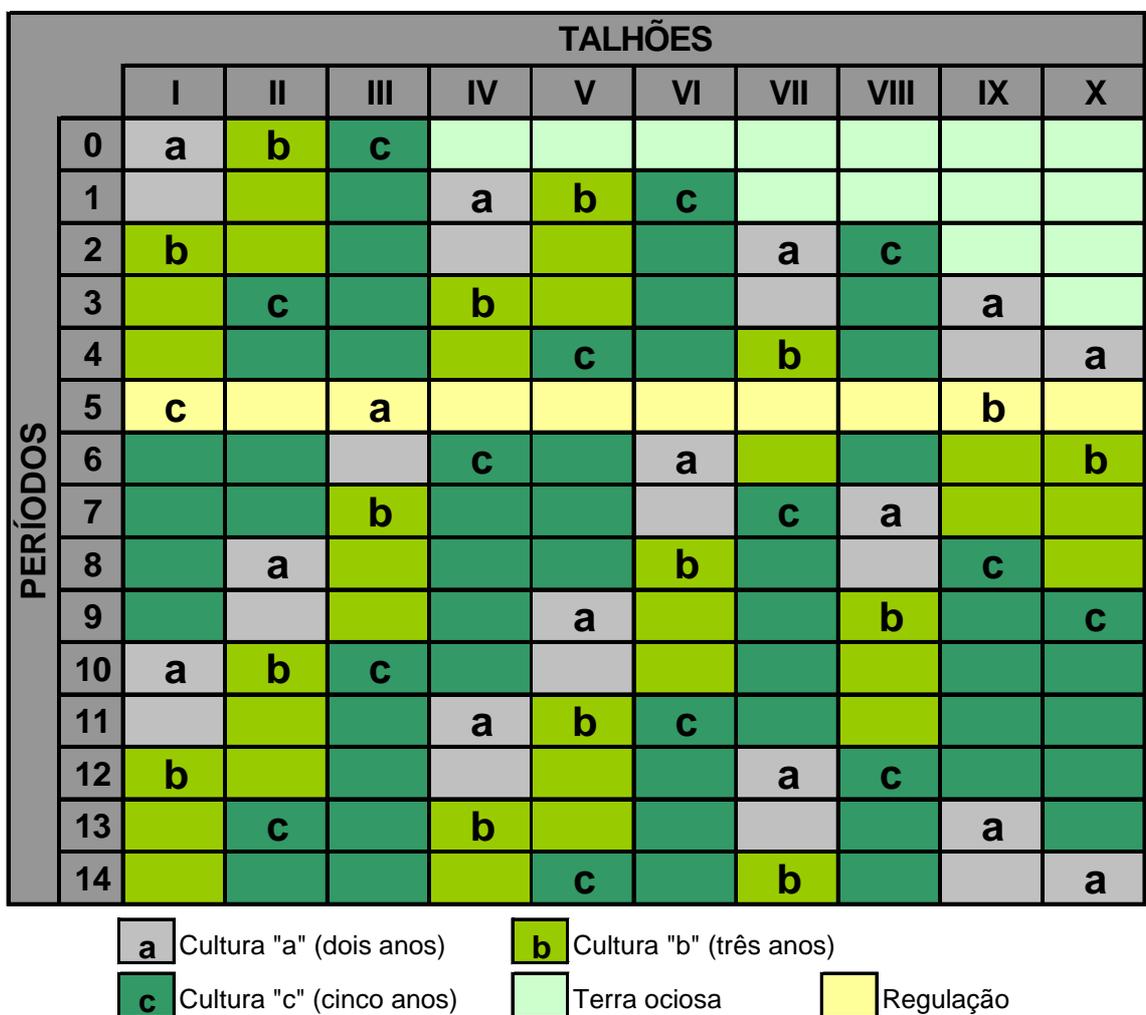


Figura 5 – Modelo alternativo de ocupação da terra prevendo a implantação simultânea de todas as culturas da seqüência e assinalando os talhões ociosos e a ocorrência da regulação da produção.

ordem “a → b → c”, proposta no modelo tradicional. Nos talhões II e V, a ordem de implantação é “b → c → a” e nos talhões III, VI e VIII, “c → a → b”. Com base na Figura 5 e no exemplo utilizado, pode-se afirmar que o número de talhões implantados em determinada ordem é exatamente igual ao de rotação da última espécie dessa mesma ordem. Essas ordens de implantação são variações da ordem original “a → b → c”, em que existiu apenas uma permuta das culturas, sem que houvesse alteração da seqüência.

Um ponto que deve ser ressaltado neste modelo é que, se forem usadas culturas com rotações menores que o prazo necessário para ocupar toda a área, como é o caso aqui exemplificado, antes que ocorra a ocupação de toda a área deverá ser dada continuação à seqüência de culturas nos primeiros talhões implantados. Isso faz com que após alguns períodos apenas algumas culturas da seqüência sejam implantadas em talhões ainda ociosos. No presente modelo de três culturas, em que a cultura inicial “a” tem rotação de dois anos, tal fato é observado a partir do período 2, quando o talhão I já estará recebendo a cultura “b” (segunda da seqüência) e apenas as culturas “a” e “c” estarão sendo implantadas nos talhões VII e VIII, ainda ociosos.

## **3.2. Valor esperado do solo**

A pressuposição do modelo de Faustmann, de implantação de toda a área de uma única vez, traz o problema de toda a área alcançar a idade de corte simultaneamente, além de as receitas serem repetidas em intervalos de tempo iguais ao comprimento da rotação da espécie implantada. Isso faz com que o proprietário receba toda a receita de uma única vez e passe longos períodos de tempo sem nenhuma. Nesse contexto, a proposta de implantação de povoamentos mistos, com a ocupação gradativa da terra, apresenta duas vantagens principais, que são a diluição dos custos de implantação e a distribuição das receitas ao longo de todo o horizonte de planejamento, proporcionando, com isso, maior homogeneidade na produção.

### **3.2.1. Modelo tradicional**

O processo de cálculo do VES para o modelo tradicional já foi descrito em detalhes na metodologia. Por isso, cabe aqui apenas lembrar que, pelo

fato de esse modelo trabalhar com uma mesma ordem de implantação das culturas, os VESs de todos os talhões são idênticos, porém sempre defasados em um período em relação ao talhão implantado no período anterior. Isso faz com que o VES total da floresta possa ser representado pelo valor presente de um série finita de pagamentos com “n” igual ao número de talhões da floresta e pelo valor de cada parcela representado pelo VES de um talhão, conforme a seguinte equação:

$$VES_{FLORESTA} = \frac{VES_{TALHÃO} [1 - (1 + t)^{-n}]}{t} \quad [11]$$

### 3.2.2. Modelo alternativo

No modelo alternativo, a situação é um pouco mais complexa, pois, devido à forma de ocupação da área, com a alteração da ordem de implantação das culturas e o plantio simultâneo de todas as culturas em talhões distintos, aqueles talhões implantados com a mesma ordem de culturas puderam ser agrupados em blocos, conforme apresentado no Quadro 2.

Com esse agrupamento, ao invés de se ter a totalidade dos talhões apresentando o mesmo VES, têm-se blocos de talhões, com o mesmo VES. No exemplo proposto neste trabalho, conforme descrito na metodologia, devido à implantação das três culturas em ordens diferentes, formaram-se três blocos distintos, em que os talhões de cada bloco apresentavam, analogamente ao modelo tradicional, o mesmo VES, porém defasado em um período em relação ao talhão implantado na mesma ordem, no período anterior. Assim, o VES de um único bloco de talhões, implantados em uma mesma ordem, pode ser calculado da seguinte forma:

$$VES_{BLOCO} = \frac{VES_{TALHÃO\ DO\ BLOCO} \times [1 - (1 + t)^{-n}] \times (1 + t)}{t} \quad [12]$$

em que:

n = número de talhões do bloco.

Quadro 2 – Estrutura de um povoamento misto apresentando os talhões agrupados conforme a ordem de implantação das culturas e formando conjuntos de talhões com VES idênticos e defasados em um período em relação ao implantado no período anterior

Ordens	Blocos de talhões	
a → b → c	VES I = valor esperado do solo do talhão I	1
	VES IV = VES I (1+ t) <sup>-1</sup>	
	VES VII = VES I (1+ t) <sup>-2</sup>	
	VES IX = VES I (1+ t) <sup>-3</sup>	
	VES X = VES I (1+ t) <sup>-4</sup>	
b → c → a	VES II = valor esperado do solo do talhão II	2
	VES V = VES II (1+ t) <sup>-1</sup>	
c → a → b	VES III = valor esperado do solo do talhão III	3
	VES VI = VES III (1+ t) <sup>-1</sup>	
	VES VIII = VES III (1+ t) <sup>-2</sup>	

Se cada bloco de talhões apresenta VES distinto, o VES total da floresta pode ser obtido pelo somatório dos VES de todos os blocos, definido pela seguinte equação:

$$VTES_{FLORESTA} = \sum_{i=1}^n VES_i \quad [13]$$

sendo i = 1, ..., n blocos.

Mesmo com a estruturação inicial diferente nos blocos de talhões, analisando a Figura 5 observa-se que, mesmo nos talhões onde a ordem inicial de implantação foi alterada, com o decorrer de alguns períodos, a partir do momento em que era implantada a cultura “a” em um talhão qualquer, o mesmo estaria seguindo exatamente a ordem “a → b → c”, idêntico aos talhões que iniciaram o processo já nessa ordem. Isso vale para todos os talhões que iniciaram a seqüência de culturas em ordens diferentes da ordem “a → b → c”.

Assim, desconsiderando as primeiras rotações das culturas “b” e “c”, naqueles talhões onde estas foram implantadas antes da cultura “a”, ou seja, nos talhões onde a ordem original “a → b → c” foi alterada, pode-se verificar que, a partir do período em que ocorre a regulação, a variação na ordem de implantação não é mais verificada em nenhum dos talhões, pois, se a seqüência das culturas não foi alterada, por uma questão de lógica, depois de determinado tempo, todos os talhões estarão seguindo a ordem “a → b → c”, conforme o modelo tradicional.

Promovendo-se a junção das duas estratégias de ocupação da terra, é possível visualizar o ganho do novo modelo, com a ocupação de áreas ociosas no modelo tradicional, pela implantação das culturas “b” e “c” fora da ordem original, conforme mostrado na Figura 6.

Um detalhe que pode ser questionado é se o valor das receitas provenientes das rotações ocorridas antes da obtenção da regulação não influencia os resultados. O fato é que, se o trabalho foi feito com base no VES, na teoria do mesmo existe a pressuposição de que a terra será usada perpetuamente para o fim proposto. Isso faz com que o número de repetições dos ciclos de culturas e, conseqüentemente, o horizonte de planejamento tendam para o infinito. Essa pressuposição leva a que o valor de uma ou duas rotações se torne pouco representativo, em relação ao valor presente de um número infinito de rotações ocorridas em determinado talhão. Há de se levar em conta também que a desconsideração dessas rotações iniciais serve apenas como um artifício para que o modelo aqui proposto possa ser analisado de forma similar ao modelo tradicional e, com isso, possa ser seguido o mesmo caminho percorrido por BRUM NETO (2001), no que diz respeito ao desenvolvimento e interpretação das condições de otimalidade da equação do VES.

A visualização dessas áreas foi facilitada, tirando-se os talhões da ordem numérica normal e colocando-os de forma que essas áreas ficassem graficamente agrupadas.

Para essa manipulação das áreas, usou-se a matriz do modelo tradicional, porém alterando-se a ordem dos talhões. Essa adaptação indica como as culturas do novo modelo, implantadas em ordens diferentes da tradicional, ocupam parte das áreas que ficaram ociosas, no modelo tradicional. Tais considerações podem ser visualizadas na Figura 7.

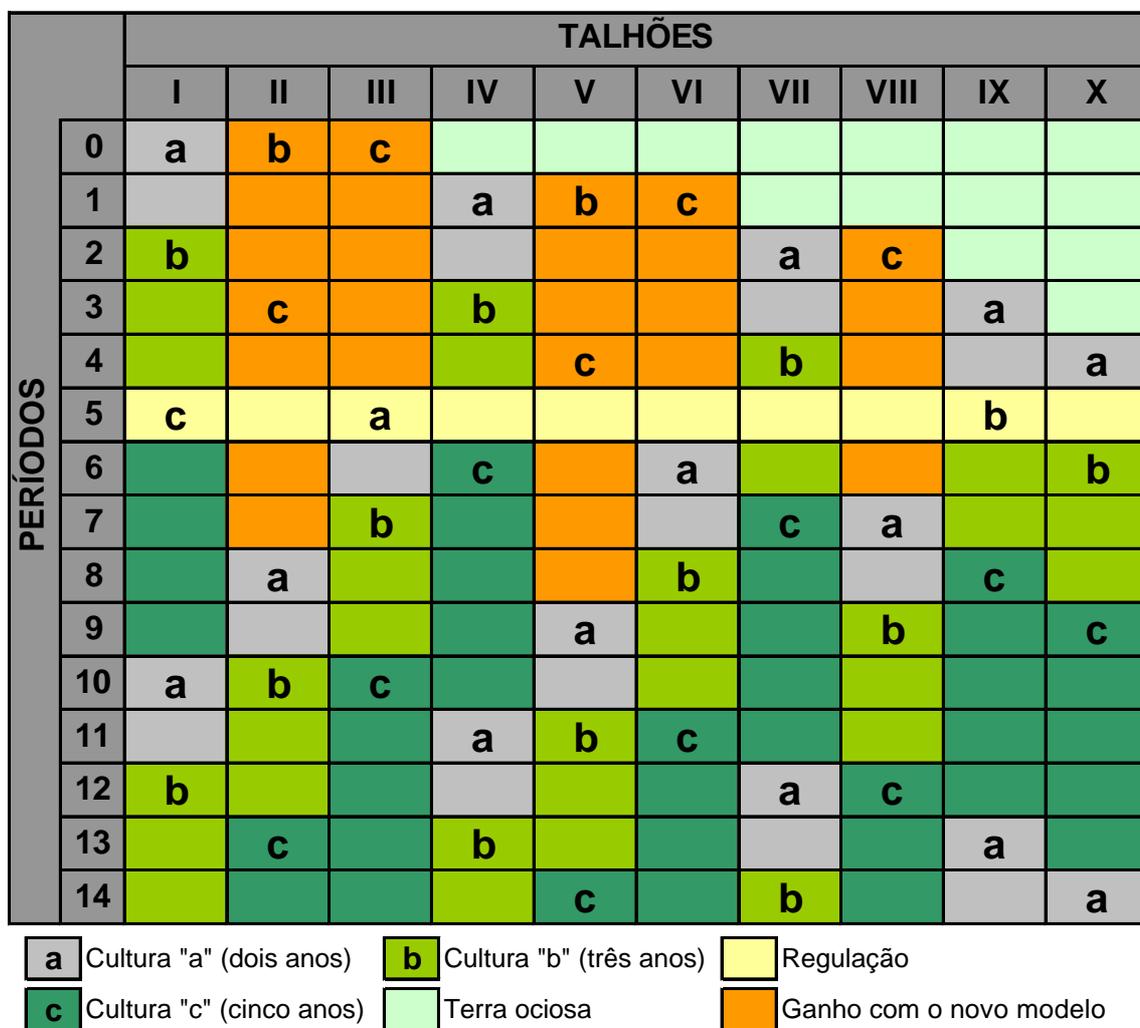


Figura 6 – Áreas ocupadas pelas culturas "b" e "c" e ganho com as culturas implantadas fora da ordem original.

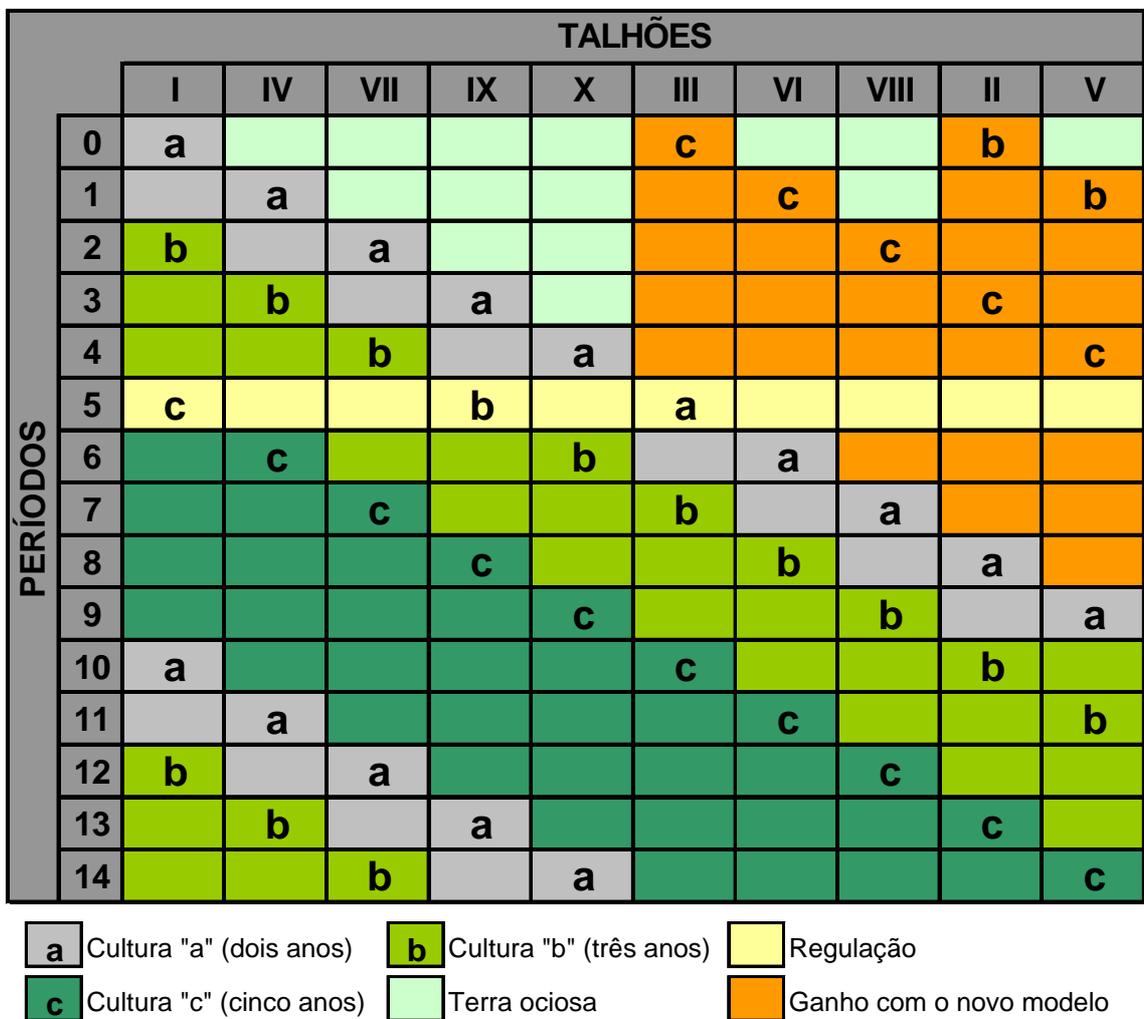


Figura 7 – Estrutura de um povoamento misto destacando o ganho pela adoção do modelo alternativo de implantação das culturas.

A constatação feita no processo de estruturação do povoamento misto por este novo modelo de que, no decorrer de alguns períodos, o mesmo passa a se comportar de forma similar ao modelo tradicional possibilita o uso da metodologia proposta por BRUM NETO (2001), para a derivação e interpretação das condições de otimalidade de implantação de um povoamento misto pelo modelo tradicional.

### 3.2.3. Receita líquida periódica de um reflorestamento misto regulado

- O modelo proposto de povoamento misto apresenta a pressuposição de que, após a colheita de uma cultura, a cultura seguinte da seqüência é implantada de imediato.

Com base nessas pressuposições, os fluxos de caixas das três ordens de plantio das culturas apresentadas no modelo alternativo de regulação foram definidos, como mostrado na Figura 8.

Com base nos respectivos fluxos de caixa, o VES de um talhão implantado com uma das três ordens da seqüência foi obtido pelas seguintes equações:

- **Valor presente do fluxo de caixa da seqüência “a®b®c”**

$$a_{a \rightarrow b \rightarrow c}^R_{TALHÃO} = [(p_1 V_1 - CC_1)(1+t)^{R-r_1} + (p_2 V_2 - CC_2)(1+t)^{R-r_1-r_2} + (p_3 V_3 - CC_3)] -$$

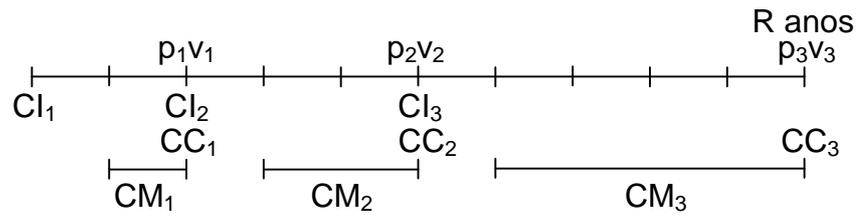
$$CE_1(1+t)^R - CE_2(1+t)^{R-r_1} - CE_3(1+t)^{R-r_1-r_2} - \quad [14]$$

$$CM_1 \frac{[(1+t)^{r_1} - 1]}{t} (1+t)^{R-r_1} - CM_2 \frac{[(1+t)^{r_2} - 1]}{t} (1+t)^{R-r_1-r_2} - CM_3 \frac{[(1+t)^{r_3} - 1]}{t}$$

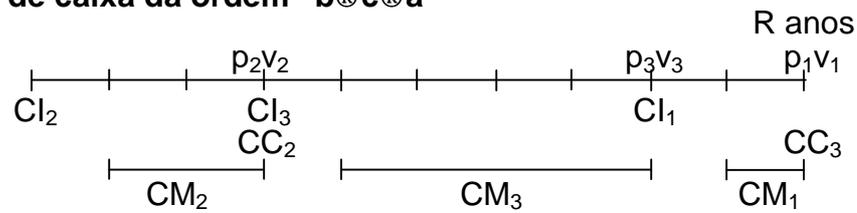
O VES de um talhão implantado com a ordem “a→b→c” pode, então, ser definido pela seguinte equação:

$$VES_{a \rightarrow b \rightarrow c}^{TALHÃO} = \frac{a_{a \rightarrow b \rightarrow c}^R_{TALHÃO}}{(1+t)^k - 1} \quad [15]$$

**- Fluxo de caixa da ordem “a®b®c”**



**- Fluxo de caixa da ordem “b®c®a”**



**- Fluxo de caixa da ordem “c®a®b”**

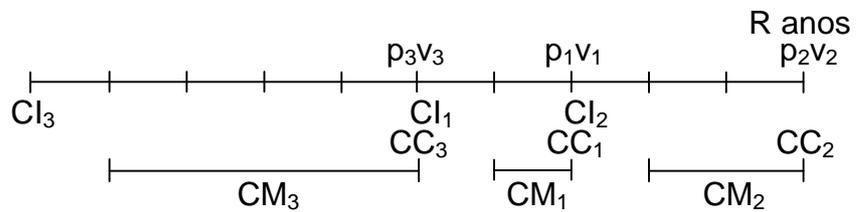


Figura 8 – Fluxos de caixa das seqüências “a→b→c”, “b→c→a” e “c→a→b” de cultura propostas para a formação de um povoamento misto.

Com isso, o VES do bloco de talhões implantados com a ordem de culturas “a→b→c” pode ser definido pela seguinte equação:

$$VES_{BLOCO\ 1}^{a \rightarrow b \rightarrow c} = \frac{VES_{TALHÃO}^{a \rightarrow b \rightarrow c} \left[ 1 - (1+t)^{-nk} \right] (1+t)}{t} \quad [16]$$

- **Valor presente do fluxo de caixa da seqüência “b@c@a”**

$$a_1^R \underset{b \rightarrow c \rightarrow a}{TALHÃO} = [(p_2V_2 - CC_2)(1+t)^{R-r_2} + (p_3V_3 - CC_3)(1+t)^{R-r_2-r_3} + (p_1V_1 - CC_1)] -$$

$$CE_2(1+t)^R - CE_3(1+t)^{R-r_2} - CE_1(1+t)^{R-r_2-r_3} -$$

$$CM_2 \frac{[(1+t)^{r_2} - 1]}{t} (1+t)^{R-r_2} - CM_3 \frac{[(1+t)^{r_3} - 1]}{t} (1+t)^{R-r_2-r_3} - CM_1 \frac{[(1+t)^{r_1} - 1]}{t}$$
[17]

O VES de um talhão implantado com a ordem “b→c→a” pode, então, ser definido pela seguinte equação:

$$VES_{\underset{b \rightarrow c \rightarrow a}{TALHÃO}} = \frac{a_1^R \underset{b \rightarrow c \rightarrow a}{TALHÃO}}{(1+t)^k - 1}$$
[18]

Com isso, o VES do bloco de talhões implantados com a ordem de culturas “b→c→a” pode ser definido pela seguinte equação:

$$VES_{\underset{b \rightarrow c \rightarrow a}{BLOCO 2}} = \frac{VES_{\underset{b \rightarrow c \rightarrow a}{TALHÃO}} \times [1 - (1+t)^{-nk}] \times (1+t)^k}{t}$$
[19]

- **Valor presente do fluxo de caixa da seqüência “c@a@b”**

$$a_1^R \underset{c \rightarrow a \rightarrow b}{TALHÃO} = [(p_3V_3 - CC_3)(1+t)^{R-r_3} + (p_1V_1 - CC_1)(1+t)^{R-r_3-r_1} + (p_2V_2 - CC_2)] -$$

$$CE_3(1+t)^R - CE_1(1+t)^{R-r_3} - CE_2(1+t)^{R-r_3-r_1} -$$

$$CM_3 \frac{[(1+t)^{r_3} - 1]}{t} (1+t)^{R-r_3} - CM_1 \frac{[(1+t)^{r_1} - 1]}{t} (1+t)^{R-r_3-r_1} - CM_2 \frac{[(1+t)^{r_2} - 1]}{t}$$
[20]

O VES de um talhão implantado com a ordem “c→a→b” pode, então, ser definido pela seguinte equação:

$$VES_{TALHÃO_{c \rightarrow a \rightarrow b}} = \frac{a_1^R}{(1+t)^k - 1} \quad [21]$$

Com isso, o VES do bloco de talhões implantados com a ordem de culturas “c→a→b” pode ser definido pela seguinte equação:

$$VES_{BLOCO\ 3_{c \rightarrow a \rightarrow b}} = \frac{VES_{TALHÃO_{c \rightarrow a \rightarrow b}} \times [1 - (1+t)^{-nk}] \times (1+t)^k}{t} \quad [22]$$

em que:

$a_1^R$  = valor futuro das receitas líquidas de um talhão implantado com a respectiva ordem de culturas, capitalizadas para o final do ciclo; e  
 VES = valor esperado do solo de um talhão implantado com a respectiva ordem de culturas.

Dentro dessa concepção, o VES total da floresta composta de povoamentos mistos pode ser representado pelo somatório dos VES dos três blocos de talhões, implantados com as três ordens de culturas e definidos pela seguinte equação:

$$VTES_{FLORESTA} = \sum_{i=1}^n VES_i \Rightarrow$$

$$VTES_{FLORESTA} = \frac{VES_{BLOCO\ 1_{a \rightarrow b \rightarrow c}} \times [1 - (1+t)^{-nk}] \times (1+t)^k}{(1+t)^k - 1} +$$

$$\frac{VES_{BLOCO\ 2_{b \rightarrow c \rightarrow a}} \times [1 - (1+t)^{-nk}] \times (1+t)^k}{(1+t)^k - 1} + \frac{VES_{BLOCO\ 3_{c \rightarrow a \rightarrow b}} \times [1 - (1+t)^{-nk}] \times (1+t)^k}{(1+t)^k - 1} \Rightarrow$$

$$VES / ha_{FLORESTA\ REGULADA} = \frac{VTES}{n^o\ de\ talhões}$$

sendo n = número de talhões do bloco.

Pela constatação de que, alguns períodos após a implantação da cultura “a”, todos os talhões passam a obedecer à seqüência “a→b→c”, é possível afirmar que o VES total da floresta para o modelo alternativo pode ser obtido da mesma forma que o VES do modelo tradicional, o que possibilita o uso da mesma equação.

Assim, considerando-se que, nessas condições, os dois processos apresentam o mesmo comportamento, o VES para o modelo alternativo pode ser obtido pelo fluxo de caixa da seqüência “a→b→c” do modelo tradicional, mostrado anteriormente.

### 3.3. Simulação com valores numéricos

De acordo com os valores de custos e receitas, propostos para cada uma das culturas, montou-se o fluxo de caixa do projeto, conforme ilustrado na Figura 9.

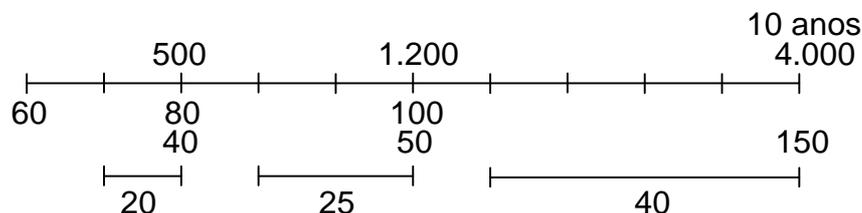


Figura 9 – Fluxo de caixa das três culturas da seqüência, seguindo-se o modelo tradicional.

Os valores de custos e receitas, corrigidos no momento da colheita de cada cultura, bem como os valores líquidos de cada cultura, corrigidos no momento da colheita da última cultura do ciclo, foram obtidos da seguinte forma:

**- Modelo tradicional**

$$\begin{aligned}
 V_{n-a} &= 460 - 60 x (1,12)^2 - 20 x \frac{[(1,12)^2 - 1]}{0,12} \Rightarrow V_{n-a} = US\$342,34 / ha \\
 V_{n-b} &= 1150 - 80 x (1,12)^3 - 25 x \frac{[(1,12)^3 - 1]}{0,12} \Rightarrow V_{n-b} = US\$953,24 / ha \\
 V_{n-c} &= 3850 - 100 x (1,12)^5 - 40 x \frac{[(1,12)^5 - 1]}{0,12} \Rightarrow V_{n-c} = US\$3.419,65 / ha \\
 a_{a \rightarrow b \rightarrow c}^R &= 342,34 x (1,12)^8 + 953,24 x (1,12)^5 + 3.419,65 \Rightarrow a_{a \rightarrow b \rightarrow c}^R = US\$4.715,23 / ha
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

em que:

$V_n$  = valores corrigidos no momento da colheita de cada uma das culturas; e

$a_{a \rightarrow b \rightarrow c}^R$  = valor final das receitas líquidas da seqüência “a → b → c” de culturas.

Com base no valor final encontrado no ciclo completo de culturas, chegou-se ao VES de um talhão:

$$\begin{aligned}
 VES_{TALHÃO} &= \frac{a_{a \rightarrow b \rightarrow c}^R}{(1+t)^k - 1} \Rightarrow VES_{TALHÃO} = \frac{4.715,23}{(1,12)^{10} - 1} \Rightarrow \\
 & \\
 VES_{TALHÃO} &= US\$2.239,11 / ha
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

A interpretação que pode ser dada a esse resultado é que um talhão implantado obedecendo ao modelo tradicional proporciona um rendimento líquido de US\$2.239,11/ha.

Com isso, o VES total da floresta foi calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 VTES_{FLORESTA} &= \frac{VES_{TALHÃO} [1 - (1+t)^{-n}]}{t} \Rightarrow \\
 & \\
 VTES_{FLORESTA} &= \frac{2.239,11 x [1 - (1,12)^{-10}]}{0,12} \Rightarrow VTES_{FLORESTA} = US\$12.651,47
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

Uma ressalva que deve ser colocada a respeito desse valor de US\$12.651,47 é que o mesmo representa o VES total da floresta, considerando-se o VES por hectare de cada talhão. Portanto, para se chegar ao VES por hectare da floresta, esse valor foi dividido pelo número de talhões desta.

$$VES / ha = \frac{VTES_{FLORESTA}}{n^{\circ} \text{ talhões}} \Rightarrow VES / ha = \frac{US\$12.651,47}{10} = US\$1.265,15 \quad [27]$$

A diferença entre o VES de cada talhão, observado anteriormente, e este calculado pela divisão do VES total da floresta é que, no primeiro caso, o VES de cada talhão ocorria em um ponto diferente no tempo. Ao fazer as correções desses valores pela taxa de juros, a tendência era mesmo de que houvesse redução dos mesmos. Essa redução de valores decorrente da demora na ocupação dos talhões pode ser considerada um custo pela adoção de modelos de ocupação gradativa da terra.

#### **- Modelo alternativo**

O cálculo do VES pelo modelo alternativo é relativamente simples. Observando a Figura 6, pode-se constatar que a estrutura deste modelo é semelhante à do tradicional, apresentando, como variação, apenas as rotações das culturas “b” e “c”, que foram implantadas antes da cultura “a”, em alguns talhões. Assim, o VES total da floresta implantada pelo modelo alternativo é o mesmo da floresta implantada pelo modelo tradicional, acrescido do valor presente das rotações das culturas “b” e “c”, que foram estabelecidas fora da ordem original. O valor presente dessas rotações representa o ganho pela opção de adotar o novo modelo. Desse modo, o valor presente das referidas rotações foi calculado da seguinte maneira:

$$V_{n-b} = 1150 - 80 \times (1,12)^3 - 25 \times \frac{[(1,12)^3 - 1]}{0,12} \Rightarrow V_{n-b} = US\$953,24 / ha \Rightarrow$$

$$V_{0-b} = \frac{953,24}{(1,12)^3} \Rightarrow V_{0-b} = US\$678,50$$

[28]

$$V_{n-c} = 3850 - 100 \times (1,12)^5 - 40 \times \frac{[(1,12)^5 - 1]}{0,12} \Rightarrow V_{n-c} = US\$3.419,65 / ha$$

$$V_{0-c} = \frac{3.419,65}{(1,12)^5} \Rightarrow V_{0-c} = US\$1.940,40$$

em que:

$V_n$  = valores corrigidos no momento de colheita da cultura em um talhão; e

$V_0$  = valores corrigidos no momento de implantação da cultura em um talhão.

Analisando ainda a Figura 7, observa-se que as culturas “b” e “c” são implantadas fora da ordem original, em dois e cinco talhões, respectivamente. Com isso, o valor presente total dessas culturas implantadas nesses blocos de talhões foi calculado com base em duas séries de pagamentos temporárias antecipadas, de três e cinco parcelas, em que os valores das parcelas foram representados pelos valores presentes das respectivas culturas em um único talhão do bloco. Os cálculos foram feitos da seguinte forma:

$$VP_{BLOCO\ b} = \frac{V_{0-b} \times [1 - (1+t)^{-n}] \times (1+t)}{t} \Rightarrow VP_{BLOCO\ b} = \frac{678,50 \times [1 - (1,12)^{-2}] \times (1,12)}{0,12} \Rightarrow$$

$$VP_{BLOCO\ b} = US\$1.284,30$$

[29]

$$VP_{BLOCO\ c} = \frac{V_{0-c} \times [1 - (1+t)^{-n}] \times (1+t)}{t} \Rightarrow VP_{BLOCO\ c} = \frac{1.940,40 \times [1 - (1,12)^{-5}] \times (1,12)}{0,12} \Rightarrow$$

$$VP_{BLOCO\ c} = US\$7834,07$$

O ganho proveniente da adoção do modelo alternativo é representado pelo valor presente total das duas culturas nesses blocos de talhões e foi obtido pela soma dos valores presentes individuais de cada bloco, resultando, com isso, em um valor de US\$9.118,37. Cabe ressaltar que esse valor pode ser incorporado ao VES, uma vez que já foi corrigido considerando o período zero do horizonte de planejamento.

A diferença entre os valores obtidos nos dois modelos deve ser concebida como receita adicional ou custo adicional pela adoção de um ou outro modelo. Assim, o VES total da floresta regulada pelo modelo alternativo ficou da seguinte forma:

$$VTES_{FLORESTA} = VTES_{\substack{MODELO \\ TRADICIONAL}} + GANHO_{\substack{MODELO \\ ALTERNATIVO}} \Rightarrow$$

$$VTES_{FLORESTA} = 12.651,47 + 9.118,37$$

[30]

$$VES / ha_{\substack{MODELO \\ ALTERNATIVO}} = \frac{VTES_{FLORESTA}}{n^{\circ} \text{ talhões}} \Rightarrow$$

$$VES / ha = \frac{US\$21.769,84}{10} = US\$2.176,98$$

Um resumo comparativo dos três modelos avaliados neste estudo é mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Resumo dos valores de VES dos modelos avaliados

	<b>Modelo</b>	<b>Fórmula (n°)</b>	<b>Tipo de floresta</b>	<b>VES (US\$/ha)</b>	<b>Regulação</b>
1	Faustmann	3	Homogênea	2.239,11	Não tem
2	Brum Neto	11	Mista	1265,15	10 anos
3	Alternativo	23	Mista	2176,98	5 anos

## 4. CONCLUSÕES

A análise feita durante a realização deste trabalho possibilitou as seguintes conclusões:

- A forma de ocupação da terra aqui proposta mostrou-se eficiente, no que diz respeito ao tempo necessário para sua ocupação, pois gastou a metade daquele gasto despendido pelo modelo tradicional.
- O modelo proposto mostrou-se eficiente também no que diz respeito ao processo de regulação, pois esta ocorreu na metade do tempo previsto pelo modelo tradicional.
- A desvantagem que o modelo alternativo apresenta em relação ao tradicional é o fato de prever a implantação de todas as culturas em um mesmo período, o que incorre em um custo inicial mais elevado.
- O modelo alternativo mostrou-se vantajoso em relação ao modelo de Faustmann, pelo fato de os custos de implantação ao longo de um período maior de tempo serem menores.
- O que foi chamado aqui de ociosidade refere-se à ausência de uma cultura no processo de regulação. Nada impede que nesse espaço de tempo o proprietário utilize essas áreas em outras atividades.
- Deve ser ressaltado que deixar a terra ociosa não é uma das alternativas nem a única.
- O VES mostrou-se eficiente na determinação do comprimento ótimo da rotação de cada cultura, pois, independentemente da produção alcançada,

ele indica o comprimento de rotação que maximiza o retorno do investimento em um povoamento misto regulado.

Após a realização deste trabalho, foi possível estabelecer algumas regras básicas para o processo de regulação e povoamentos mistos:

**Regra 1** - Enquanto no modelo tradicional foi preciso um número de períodos igual ao número de talhões e do ciclo de culturas para alcançar a regulação, no modelo alternativo a regulação ocorre em um número de períodos igual à duração da rotação mais longa das culturas utilizadas.

**Regra 2** - Pelo modelo alternativo, o número de talhões implantados em determinada ordem de culturas é exatamente igual à duração da rotação da última espécie da referida ordem.

**Regra 3** - Se forem usadas culturas com rotações menores que o tempo necessário para a ocupação da área, deverá ser dada continuação à seqüência de culturas nos primeiros talhões implantados. Essa necessidade faz com que, depois de alguns períodos, apenas certas culturas da seqüência sejam implantadas em talhões ociosos.

**Regra 4** - Haverá tantos blocos de talhões com ordens distintas de culturas quantas forem as culturas utilizadas.

**Regra 5** - Se não for alterada a seqüência original “a→b→c”, a lógica indica que, mesmo naqueles talhões onde foi mudada a ordem de implantação das culturas, após a implantação da cultura “a” eles estarão seguindo essa ordem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLIA, V. **Introdução à economia do meio ambiente**. Brasília: IBAMA, 1996. 262 p.

BREGALDA, P. F.; OLIVEIRA, A. A. F.; BORNSTEIN, C. T. **Introdução à Programação Linear**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1988. 329 p.

BRUM NETO, M. S. **Análise econômica do manejo sustentável de reflorestamentos mistos**. Viçosa, MG: UFV, DGU, 2001. 30 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CLUTTER, J. L.; FORSTON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. Flórida: Krieger Publishing Company, 1983. 333 p.

DAVIS, L. S.; JONHSON, K. N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p.

DYKSTRA, D. P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984. 318 p.

FAO. **Readings in sustainable forest management**. Roma: FAO, 1994. 280 p.

GAZETA MERCANTIL. **Indicadores**. São Paulo, out. 2003. Disponível em: <[www.gazeta.com.br/pt/?dt\\_edicao=20030812](http://www.gazeta.com.br/pt/?dt_edicao=20030812)>. Acesso em: 12 ago. 2003.

GOW, D. D. **Aspectos sociales de la ordenación forestal para el desarrollo sostenible**, Unasyuva, v. 169, n. 43, p. 41-45, 1991.

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

LEUSCHNER, W. A. **Introduction to forest resource management**. New York: John Willey & Sons, 1984. 298 p.

MATTHEWS, J. C. **Silvicultural systems**. New York: Oxford University Press, 1996. 284 p.

NAUTIYAL, J. C. **Forest economics: principles and applications**. Toronto: Canadian Scholars' Press Inc., 1988. 581 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 434 p.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economicsde natural resouces and the enviromental**. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1989. 574 p.

RIBEIRO, C. A. A. S. **Pesquisa operacional aplicada ao manejo florestal**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1986. 107 p. (notas de aulas).

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; BRITES, R. S. Designing regulated mixed spices reforestation projects. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TROPICAL FORESTRY IN THE 21<sup>ST</sup> CENTURY, Bio-Refor, 1996. **Proceedings...** Bangkok, Tailândia: [s. n.], 1996. p. 99-102.

RIBEIRO, C.A.A.S.; COUTO, L. Rebuilding degraded ecosystems: a sustainable community forestry approach. In: ATHENS INTERNATIONAL CONFERENCE – URBAN, REGIONAL, ENVIRONMENTAL PLANNING AND INFORMATICS TO PLANNING IN NA ERA OF TRANSITION, 1997, Atenas. **Proceedings...** Atenas: [s. n.], 1997. p. 676-681.

RODRIGUES, F. L. **Regulação de florestas eqüiâneas utilizando programação linear**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1997. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, G. F. **Problemas no uso de programação matemática e simulação em regulação florestal**. Viçosa, MG: UFV, DGU, 2001. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SMITH, E. B. S. **Determinação da rotação econômica para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) destinados à produção de carvão vegetal**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1989. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOARES, C. P. B. **Um modelo para o gerenciamento da produção de madeira em plantios comerciais de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. 71 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.