

THELMA SHIRLEN SOARES

**OTIMIZAÇÃO DO USO DA MADEIRA EM POVOAMENTOS DE
EUCALIPTO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

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

T

S676o
2002

Soares, Thelma Shirlen, 1977-
Otimização do uso da madeira em povoamentos de
eucalipto / Thelma Shirlen Soares. – Viçosa : UFV,
2002.
49p. : il.

Orientador: Antônio Bartolomeu do Vale
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Viçosa

1. Madeira de eucalipto - Produtos - Otimização. 2.
Madeira de eucalipto - Produtos - Aspectos econômi-
cos. 3. Pesquisa operacional - Programação dinâmica.
4. Exploração florestal - Tamanho ótimo de toras. 5.
Planejamento florestal. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

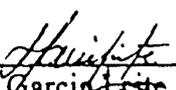
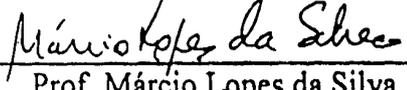
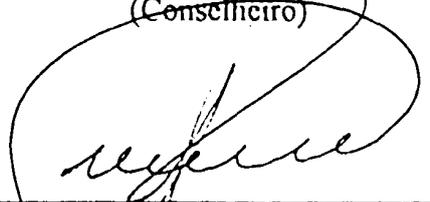
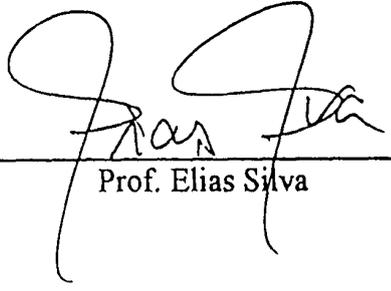
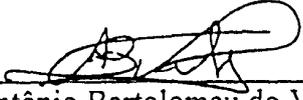
CDO adapt. CDD 634.98

THELMA SHIRLEN SOARES

**OTIMIZAÇÃO DO USO DA MADEIRA EM POVOAMENTOS DE
EUCALIPTO**

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

APROVADA: 28 de fevereiro de 2002.

 _____ Prof. Helio Garcia Leite (Conselheiro)	 _____ Prof. Márcio Lopes da Silva
 _____ Pesquisador Luciano José Minetti	 _____ Prof. Elias Silva
 _____ Prof. Antônio Bartolomeu do Vale (Orientador)	

Aos meus pais Ademir e Miriam
e aos meus irmãos Júnio e Fabrício,
pelo apoio e confiança.

OFEREÇO

Ao meu namorado José Hortêncio
pelo amor, carinho e compreensão.

DEDICO

*“Não são os desafios que determinam quem somos,
mas a maneira com que respondemos a esses desafios.
Enquanto acreditamos no nosso sonho, nada será por acaso”.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir vencer mais uma etapa.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.

Ao professor Antonio Bartolomeu do Vale, pela orientação e amizade.

Ao professor Helio Garcia Leite, pela co-orientação e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Carlos Cardoso Machado, Elias Silva, Luciano José Minetti e Márcio Lopes da Silva, pelas sugestões apresentadas.

À empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), pela disponibilização dos dados.

Aos colegas do curso de pós-graduação, em especial à Elisabeth Oliveira, Ewertton Torres, Fernando Mello, Glauco Silveira, Karina Pulrolnik, Márcia Codevilla, Márcio Romarco, Patrícia de Souza, Rosa Maria e Sônia Nóbrega, pela agradável convivência e amizade.

Ao meu namorado José Hortêncio, pelo incentivo constante e apoio durante os momentos mais difíceis.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma participaram desta etapa da minha vida.

Muito Obrigada!

ÍNDICE

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Multiprodutos da madeira	5
2.2 Programação dinâmica	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Área de estudo	12
3.2 Fonte de dados	13
3.3 Distribuição diamétrica do povoamento	13
3.4 Modelos hipsométrico, volumétrico e de taper	14
3.5 Alternativas de conversão da madeira e comércio de multiprodutos	18
3.6 Método de otimização	20
3.7 Avaliação econômica	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Análise da distribuição diamétrica	28
4.2 Ajuste dos modelos	29
4.2.1 Equação hipsométrica	29
4.2.2 Equação de volume	30
4.2.3 Equação de taper	31
4.2.4 Validação das equações ajustadas	32

4.3	Otimização da produção	33
4.3.1	Conversão em toras para celulose	33
4.3.2	Conversão em toras para energia	33
4.3.3	Conversão em toras para serraria	34
4.3.4	Conversação em toras para multiprodutos	34
4.4	Avaliação econômica	36
4.5	Estudo de caso	38
5.	CONCLUSÕES	40
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
	ANEXOS	45

RESUMO

SOARES, Thelma Shirlen, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2002. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto.** Orientador: Antônio Bartolomeu do Vale. Conselheiros: Helio Garcia Leite e Carlos Cardoso Machado.

O objetivo principal deste estudo foi a otimização da colheita de toras visando a conversão das mesmas em multiprodutos. Para isso, utilizou-se dados provenientes de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, pertencentes à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), localizados no município de Sabinópolis, Estado de Minas Gerais. Na primeira etapa deste estudo, utilizou-se informações obtidas do Inventário Florestal Contínuo da empresa para determinação da distribuição diamétrica e ajuste de modelos para estimar o estoque de colheita do povoamento (modelos hipsométrico, volumétrico e de taper). Numa segunda etapa, foi utilizado um modelo matemático de programação dinâmica, através de um algoritmo desenvolvido especificamente para este estudo, para a conversão das toras em multiprodutos. Para a realização da conversão otimizada, utilizaram-se informações a respeito das alternativas de comercialização da madeira produzida nos povoamentos e das características dos produtos (comprimento e diâmetros mínimo e máximo das

toras). Foram consideradas três alternativas de uso para as toras: madeira para celulose, energia e serraria, com diferentes dimensões quanto aos diâmetros mínimo e máximo e ao comprimento das toras. O problema inicial foi estabelecer para cada alternativa de uso a combinação otimizada que proporcionasse maior rendimento. Os resultados da otimização demonstraram que os comprimentos de 1,1; 2,0 e 2,2 m (toras para energia, serraria e celulose, respectivamente) proporcionaram maior rendimento volumétrico. Após selecionar o comprimento ótimo da tora para cada alternativa de uso, considerou-se a combinação desses comprimentos a fim de verificar a viabilidade da destinação dos povoamentos para multiprodutos. Tendo em vista verificar se as otimizações realizadas representaram as opções mais lucrativas para o povoamento em estudo, realizou-se uma análise econômica da produção, através do método do Valor Presente Líquido (VPL), para verificar se o uso da madeira para multiprodutos é mais lucrativo que a destinação da madeira para um só uso (celulose ou energia ou serraria). Os valores obtidos indicaram que a colheita florestal visando o uso múltiplo é mais rentável que o uso único. Assim, os multiprodutos demonstraram ser a melhor alternativa de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais.

ABSTRACT

SOARES, Thelma Shirlen, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2002. **Optimization of timber use in eucalypt stand.** Adviser: Antônio Bartolomeu do Vale. Committee members: Helio Garcia Leite and Carlos Cardoso Machado.

The optimization of the logs harvest, seeking their conversion into multiproducts, was established as main objective. This study was developed with data from the *Eucalyptus grandis* stand of the Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA) enterprise's, in Sabinópolis, Minas Gerais State. In this study's first stage, information from the enterprise's Continuous Forest Inventory was used to determine the diametric distribution and to adjust the models for the stand's log deck estimation (hypsometric, volumetric and taper models). A dynamic programming mathematical model, through an algorithm specifically developed for study, for the conversion of the logs in multiproducts, was used in a second stage. To realize the optimized conversion, information regarding the commercialization alternatives of the timber produced in the stands and the products' characteristics (length and maximum and minimum diameter of the logs was used). Three alternatives for the utilization of the logs were considered: timber for cellulose, energy and

sawing, with different minimum and maximum diameter and length dimensions of the logs. The initial problem was to establish, for each utilization alternative, the optimized combination that would promote the greatest income. The optimization results demonstrate that the 1,1; 2,0 and 2,2 m lengths (energy, sawing and cellulose destined logs, respectively) resulted in larger volumetric yield. After selecting the optimum length for each utilization alternative, the combination of these lengths was considered to verify the viability of the stands' destination to multiproducts. To verify if the realized optimizations represented the profitable options for the stand in question, an economic analysis of the production was realized, focusing multiproducts versus the utilization for only one use (cellulose or energy or sawing), through the Net Present Value method. The obtained result indicates that the harvest for multiproducts is profitable in relation to the only one use. Thus, the multiproducts demonstrated to be the best remuneration alternative for the product from the forest stands.

1. INTRODUÇÃO

As florestas plantadas no Brasil ocupam uma área de 4,8 milhões de hectares, dos quais, aproximadamente, 3 milhões plantados com o gênero eucalipto (SBS, 2001), sendo estes, em quase sua totalidade, ligados a empreendimentos verticalizados, não apresentando ainda um uso que proporcione uma agregação mais rentável, com exceção das empresas do setor de celulose.

O uso atual de madeira reflorestada do gênero *Eucalyptus* tem recebido especial atenção tanto por parte de pesquisadores como por parte do setor madeireiro em função do seu grande potencial de disponibilidade em curto espaço de tempo e da ampla possibilidade de uso da madeira.

A madeira proveniente dos empreendimentos florestais era, até alguns anos, exclusivamente voltada para a produção de matéria-prima para celulose, carvão vegetal, moirões e postes. Porém, com o crescente desenvolvimento e o aumento da demanda de mercado por produtos madeiráveis, as empresas do setor florestal estão buscando ampliar as possibilidades de utilização da madeira e diversificar a sua produção.

O setor florestal é responsável por 4,5% do PIB nacional e assegura 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos, resultando o sustento de 10 milhões de brasileiros e desempenhando importante papel no contexto geral

da economia brasileira (Prado et al., 1997; citados por OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2000). Porém, o longo prazo dos projetos florestais torna-os mais arriscados que outros de menor duração. No entanto, a grande diversidade de uso da madeira tem contribuído para sanar este problema e ainda expandir este setor. Além disso, as múltiplas funções das florestas têm contribuído para tornar este setor cada vez mais estratégico.

A tendência atual é que parte dessas plantações seja utilizada segundo o conceito de florestas de multiprodutos, onde de um mesmo fuste de uma árvore consegue-se extrair madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose, e, ainda, o aproveitamento dos resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros produtos.

Nesse contexto, uma das principais funções do manejador é desenvolver técnicas que visem identificar as oportunidades e os valores dos diferentes produtos que os povoamentos florestais podem oferecer. Entretanto, na prática, tem-se observado, principalmente, nas empresas florestais de pequeno e médio porte, que o planejamento tem sido baseado, na maioria das vezes, na experiência do tomador de decisão (SILVA et al., 2000). Ao tomador de decisão interessa determinar a seqüência de ações que, de alguma forma, otimize uma função de retornos econômicos.

O planejamento do uso dos recursos florestais deve satisfazer restrições biológica, legais, sociais e de mercado sendo um problema do âmbito administrativo de tomada de decisão. Este objetivo é resultado de decisões subordinadas às tendências humanas, influenciadas em diferentes graus pelo sentimento de obrigação ética, considerações políticas, oportunidades de mercado, dentre outros vários fatores (ARCE, 1999).

Assim, na tentativa de organizar o processo de tomada de decisão, com vistas à maximização do retorno financeiro, vários esforços têm sido feitos, utilizando técnicas de pesquisa operacional como programação linear, programação não-linear, programação dinâmica, programação por metas, simulação e redes PERT-CPM. Mais especificamente, SILVA et al. (2000) relatam que no planejamento florestal, as técnicas de programação linear,

programação dinâmica e simulação têm sido empregadas com maior frequência.

Deste modo, tendo em vista as inúmeras vantagens advindas da conversão de árvores em multiprodutos, muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de estabelecer o melhor aproveitamento na conversão de troncos. Em países de clima temperado, a pesquisa operacional é comumente utilizada no planejamento da produção de povoamentos florestais. Contudo, nas florestas tropicais brasileiras, sejam elas nativas ou plantadas, estudos utilizando métodos de pesquisa operacional, principalmente como a programação dinâmica, ainda são incipientes, com um número ainda reduzido de experiências.

Com relação à utilização da técnica de programação dinâmica, pode-se citar, dentre outros, os trabalhos realizados por: AHRENS (1992) que estudou, simultaneamente, rotação e desbastes ótimos; LEITE et al. (1995 a) que desenvolveram um modelo de conversão de toras em multiprodutos; LIMA et al. (1997) que desenvolveram um modelo de suporte à decisão sobre o comércio e uso dos multiprodutos da madeira; FILGUEIRAS (1997) que trabalhou num modelo de substituição de equipamentos; ARCE (1999) que empregou ferramentas matemáticas da programação dinâmica na otimização do transporte de multiprodutos florestais e CHICHORRO (2000) que utilizou um modelo de programação dinâmica e cadeia de Markov, para executar uma análise econômica dos multiprodutos madeireiros de uma floresta natural. Entretanto, no tocante à utilização da programação dinâmica na definição do tamanho ideal de toras a serem colhidas em povoamentos florestais não se tem conhecimento, até o momento, de literaturas brasileiras a respeito.

Diante do exposto, considerando a necessidade de maior eficiência na utilização dos recursos florestais, realizou-se o presente estudo cuja abordagem está centrada no estudo da otimização da colheita de toras, visando a conversão das mesmas em multiprodutos, em povoamentos de eucalipto.

Para atender ao objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um sistema de otimização, com base num algoritmo de programação dinâmica, para conversão de troncos em multiprodutos;
- Definir o tamanho ótimo de toras para a colheita das árvores, com base no retorno econômico, considerando-se os usos ao qual as mesmas serão destinadas;
- Verificar se há a otimização do tronco das árvores com a conversão em multiprodutos;
- Comparar a conversão em multiprodutos com a conversão em um único uso;
- Fornecer subsídios às técnicas gerenciais de planejamento florestal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Multiprodutos da madeira

De acordo com CARVALHO (2000), a idéia dos multiprodutos da madeira de reflorestamento corresponde à atuação em conjunto de diversas áreas da tecnologia da madeira, interligadas por meio da matéria-prima, ou seja, a partir de uma mesma fonte de material, vários tipos de materiais são produzidos, otimizando os ganhos finais com a sua colocação estratégica no mercado.

É importante diferenciar os termos multiprodutos e uso múltiplo da floresta. Os multiprodutos referem-se a multiplicidade de produtos obtidos a partir dos povoamentos florestais, tendo a madeira como principal fonte de matéria-prima. CARVALHO (2000) comenta que os multiprodutos da madeira possuem enfoque tecnológico, de processamento da matéria-prima madeira por indústrias de diferentes segmentos, que otimizam a utilização do material produzido no campo. Já o uso múltiplo refere-se, do ponto de vista técnico e científico, à integração deliberada de áreas mais adequadas e seus usos apropriados. Neste sentido, o termo uso múltiplo de povoamentos florestais vem sendo utilizado para inúmeras situações em que uma área com

cobertura florestal, implantada ou não, independente das espécies presentes, apresenta mais de uma atividade fim (TESCH, 1998).

As constantes e rápidas transformações ambientais, tecnológicas, sociais, econômicas, políticas e institucionais em curso nos âmbitos internacional e nacional, exigem que os sistemas público e privado busquem, cada vez mais uma maior sintonia com os rumos da sociedade, antecipando os novos desafios ao seu desenvolvimento (ASSIS, 2000).

Atualmente observa-se o surgimento, o desenvolvimento e o crescimento dos mercados globalizados. Verifica-se, mundialmente, o acirramento da concorrência. Isto faz com que as empresas adotem uma nova mentalidade, que lhes propiciem condições de crescimento. A busca pela formação de vantagens competitivas é um dos meios para garantir sua sobrevivência a longo prazo.

No mercado competitivo, a demanda e a oferta do produto definem o uso a ser dado a determinada tora e a qual, ou quais produtos ela deve ser convertida. Os multiprodutos advindos da conversão da madeira podem ser madeira serrada, laminados, dormentes, postes, moirões, estacas, aglomerados, celulose, carvão, lenha, dentre outros. Essa multiplicidade de produtos permite à empresa florestal uma maior flexibilidade quanto à comercialização de produtos que têm diferentes valores de mercado, apresentando, também, variações em relação à demanda, ao longo dos anos. Assim, em caso de oscilações bruscas no mercado de celulose, as outras opções de uso da madeira poderão garantir a rentabilidade momentânea da atividade florestal (LEITE, 1994; LIMA, 1996; ASSIS, 2000).

Neste contexto, pode-se perceber uma tendência entre as empresas florestais brasileiras de se estruturarem operacionalmente e administrativamente dentro de metodologia gerencial mais moderna adotando novas tecnologias que permitam seu desenvolvimento e retornos financeiros melhorados.

A busca por técnicas capazes de permitir a obtenção de vários produtos da madeira, em quantidade e principalmente qualidade adequadas, se

apresenta hoje como um imperativo para o desenvolvimento do setor florestal brasileiro.

Diante da pressão exercida sobre as florestas nativas, as florestas plantadas tornam-se importantes fontes alternativas de multiprodutos da madeira, especialmente as de eucaliptos. Na atualidade, a busca do uso múltiplo das florestas e de melhor remuneração para a madeira tem incentivado o estabelecimento de estratégias por parte das empresas para a oferta de madeira serrada dessa espécie. As empresas, além de concentrar esforços e tecnologias para produção de florestas energéticas de eucalipto, nos últimos anos têm direcionado suas atividades também para diversificar produção e produtos, a fim de diluir os riscos e a vulnerabilidade de um único segmento de negócio.

A principal vantagem advinda da adoção da diversificação do uso da madeira por determinada empresa é a diminuição do impacto em sua receita causado por oscilações do mercado que possam afetar o preço de seu produto principal (LIMA, 1996).

A implantação da política de multiprodutos proporciona equilíbrio ao fluxo de caixa. Entretanto a execução de tal política exige conhecimento das equações matemáticas necessárias para a quantificação dos multiprodutos e planejamento a longo prazo.

Pesquisas sobre o manejo de florestas de eucalipto, destinadas a multiprodutos, têm sido implementadas, contudo, resultados consistentes somente estarão disponíveis daqui a alguns anos.

LUZ et al. (1993) observam que o uso da madeira de eucalipto para produtos diversificados vem apresentando um aumento crescente em importância devido ao escasseamento e encarecimento das madeiras nativas para uso em serraria e ao aumento da disponibilidade de madeira de melhor qualidade.

PONCE (1995), estudando o uso da madeira de eucalipto para diferentes fins, cita que, para certos usos, tais como madeira para construção, embalagens e paletes, as florestas atuais, em princípio, podem ser usadas

desde que fatores econômicos tais como localização, produtividade, demanda e outros, sejam favoráveis.

Atualmente, a busca do uso múltiplo das florestas de eucalipto e da melhor remuneração para a madeira, tem incentivado o aprimoramento de técnicas de produção de madeira serrada. Segundo COSTA (1996), as razões pelas quais o eucalipto apresenta-se como uma espécie para multiprodutos são: idade de corte reduzida, custo competitivo da madeira, segurança de abastecimento com matéria-prima homogênea e alta produtividade das florestas.

Não obstante, é necessário destacar que as florestas apresentam outros valores, tão importantes como os sócio-econômicos, como os ambientais, que são difíceis de serem mensurados e contabilizados (VALVERDE, 2000). Esses valores referem-se às funções de melhoria da qualidade do ar, minimização do efeito estufa, controle do efeito erosivo dos ventos, regularização dos mananciais hídricos, redução da pressão sobre a vegetação nativa, utilização para fins recreacionistas, alternativa de energia renovável, etc.

Estas várias funções demonstram a importância dos povoamentos florestais e frisam a necessidade da conscientização do potencial florestal do Brasil como solução para sanar grande parte dos problemas sócio-econômicos além de ser uma maneira do país se inserir definitivamente no mercado mundial de produtos florestais.

2.2. Programação dinâmica

A pesquisa operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de outras áreas científicas para concepção, planejamento ou operação de sistemas para atingir seu objetivo. Através de desenvolvimentos de base quantitativa, visa também introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem

descuidar, no entanto, dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas (SOBRAPO, 2001).

A pesquisa operacional engloba técnicas que visam encontrar a solução ótima de problemas, desde os mais simples aos mais complexos, com o objetivo de auxiliar o planejador na tomada de decisões. A aplicação dessas técnicas permite melhorar os processos de utilização de quaisquer recursos e otimizar sistemas em funcionamento nas empresas ou otimizar um objetivo (HILLIER e LIEBERMAN, 1995).

A finalidade principal da pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas envolvendo o controle de sistemas organizados de forma a fornecer soluções, visando melhorar os processos de utilização de quaisquer recursos e a otimização de sistemas em funcionamento nas empresas (Costa, 1993; citado por CENTRAL DE ESTUDOS EM PESQUISA OPERACIONAL, 2001).

A possibilidade de representação e solução de problemas florestais complexos com recurso das técnicas de pesquisa operacional e o crescente desenvolvimento do setor computacional configuram um quadro determinante para a análise de decisões em recursos florestais (FALCÃO e BORGES, 1999). Nas últimas décadas, o setor florestal tem buscado formas de melhorar o aproveitamento de uso da madeira, em razão da necessidade cada vez maior, da estabilidade da produção. Nesse sentido, o interesse em modelos de programação matemática tem crescido de forma significativa, especialmente no manejo florestal e na indústria madeireira de transformação.

No setor florestal, os métodos de pesquisa operacional mais empregados são: programação linear, programação não-linear, programação dinâmica e programação por metas, formando a programação matemática, e, ainda, simulação e redes de operação PERT-CPM (LEITE, 1994).

O mesmo autor comenta que, embora muitos técnicos e pesquisadores florestais dominem as técnicas de inventário e de modelagem do crescimento e da produção, o mesmo não ocorre com as técnicas de pesquisa operacional. Entretanto, nos últimos anos, o interesse por modelos de programação

matemática tem aumentado significativamente, em razão da necessidade cada vez maior de utilizar os recursos de forma otimizada.

Dentre os diversos métodos de pesquisa operacional, a programação dinâmica (PD) é útil em um número substancial de aplicações no setor florestal. Trata-se de uma técnica de pesquisa operacional para a otimização de funções lineares ou não lineares que se baseia na decomposição do problema original em subproblemas ou estágios, podendo ser utilizada para resolver problemas que envolvem uma seqüência de intervenções ao longo do tempo, o que sugere o potencial para aplicações florestais (DREYFUS e LAW, 1986).

Diferentemente dos demais métodos de pesquisa operacional, a PD não possui um algoritmo definido para a solução de diferentes problemas; os únicos pontos comuns entre os diversos algoritmos de programação dinâmica são as relações recursivas ou funções de recorrência e o princípio de otimalidade. Ao contrário, é um tipo genérico de abordagem para a solução de certos problemas, onde equações apropriadas deverão ser desenvolvidas para cada situação específica (BRIGGS, 1980; HILLIER e LIEBERMAN, 1995).

Para que um problema seja formulado como um problema de PD, ele tem que apresentar as seguintes características básicas estruturais (DYKSTRA, 1984):

- o problema pode ser dividido em estágios, com um conjunto de decisões requerida em cada um dos mesmos. Ou seja, o problema requer uma seqüência de decisões inter-relacionadas. As decisões relativas são tomadas em estágios subseqüentes, e não simultaneamente. Isto implica que um problema deve ser separado em n subproblemas;

- em cada estágio existe um determinado número de estados, ou, possíveis condições para o sistema objeto de um determinado estudo;

- o efeito da política de decisões em cada estágio corresponde a transformar o estado corrente em um estado associado ao próximo estágio;

- a condição necessária que deverá ser satisfeita em um problema de PD está implícito no princípio de otimalidade: dado o estado atual do sistema,

uma política ótima de decisões para todos os estágios remanescentes é independente de qualquer política de decisões adotada em estágios anteriores.

Analisando estas características, observa-se que os problemas relacionados com o manejo florestal são candidatos naturais para a PD, pois envolvem decisões seqüenciais e inter-relacionadas. BRIGGS (1980) relata que a PD é a técnica de pesquisa operacional mais indicada para o problema de conversão de troncos. Segundo o autor, a natureza discreta de muitos aspectos do problema e o uso de funções descontínuas, além da própria conversão do tronco, que pode ser vista como um processo de decisão em múltiplos estágios, é que levam à escolha da PD.

Já AMIDON e AKIN (1968) citam que a principal vantagem da PD refere-se à análise marginal tradicional para a solução de problemas de gestão em povoamentos equiâneos, o qual apresenta uma grande flexibilidade do modelo e alta eficiência na análise da sensibilidade da solução ótima.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

Os dados utilizados para este estudo são provenientes de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, pertencentes à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), localizados no município de Sabinópolis, Estado de Minas Gerais, entre os paralelos 18°39' e 18°41' de latitude sul e os meridianos 43°04' e 43°06' de longitude oeste de Greenwich, com altitude variando entre 847 e 1070 m.

O clima da região é do tipo subtropical moderado úmido (Cwb de Köppen), caracterizado por apresentar temperatura média anual de 20°C. A precipitação média anual é de 1300 mm, com regime de distribuição periódico, predominando no semestre mais quente (GOLFARI, 1975; GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2001).

O solo predominante na região é o latossolo vermelho escuro, ocorrendo também latossolo vermelho amarelo, cambissolo, plintossolo e neossolo. O relevo é ondulado, dos quais 30,93% apresentam topografia tipo chapada e 69,07% tipo acidentada.

3.2. Fonte de dados

Os dados básicos foram obtidos de 33 parcelas permanentes (área amostral igual a 1506,70 m²), provenientes do inventário florestal contínuo (IFC) da empresa e referem-se à última medição efetuada na idade de 9 anos. Em cada parcela foram registrados os diâmetros a 1,3 m de altura do solo (*dap*) de todas as árvores e a altura total (*Ht*) de algumas árvores.

Para a obtenção do volume real, procedeu-se à cubagem de 84 árvores-amostras, em diferentes classes de diâmetro medindo-se nas alturas 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0 m e assim sucessivamente até cerca de 4 cm de diâmetro do fuste com casca. A seleção das árvores amostra foi realizada de forma a abranger todas as classes de *dap* de ocorrência observada nas parcelas amostrais.

As informações obtidas foram utilizadas na determinação da distribuição diamétrica e no ajuste de modelos hipsométrico, volumétrico e de taper.

3.3. Distribuição diamétrica do povoamento

LEITE (1994) ressalta que um sistema ideal de otimização nos processos de conversão de toras deve envolver a análise da distribuição dos diâmetros, seguida da recuperação otimizada dos multiprodutos. Desta forma, uma vez definida a área para o desenvolvimento deste estudo, procurou-se conhecer a estrutura diamétrica da mesma, representada pela distribuição de árvores em classes de diâmetros. Para isso, a partir das parcelas amostrais, as medidas de diâmetro foram agrupadas em classes de 2,0 cm de amplitude, ilustrando a dispersão das árvores do povoamento.

3.4. Modelos hipsométrico, volumétrico e de taper

Conforme mencionado anteriormente, apenas parte das árvores das parcelas teve a sua altura medida, exigindo, portanto, o ajuste de um modelo hipsométrico.

Assim, para a obtenção da altura total das árvores, optou-se pelo ajuste do modelo hipsométrico proposto por Campos et al. (1986), citado por GOMES (1996):

$$\ln Ht = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{dap} \right) + \beta_2 \ln(Hd) + \ln(\varepsilon_i)$$

em que:

Ht = altura total (m);

dap = diâmetro medido a 1,3 m de altura do solo (cm);

Hd = altura dominante (m);

\ln = logaritmo neperiano;

β_i = parâmetro a ser estimado ($i = 0, 1$ e 2); e

ε_i = erro aleatório, $\varepsilon_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Para a obtenção do volume, por árvore, optou-se pela utilização do modelo de múltiplos volumes proposto por LEITE et al. (1995 b), o qual é capaz de estimar simultaneamente, de maneira precisa e consistente, o volume total e o volume comercial para qualquer diâmetro com e, ou sem casca. Sua relação funcional é:

$$V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} [e^{-\beta_3(T/dap)}] \left(1 - \left(\frac{d}{dap} \right)^{1+\beta_4 d} \right) + \varepsilon_i$$

em que:

V = volume (m^3);

dap = diâmetro medido a 1,3 m de altura do solo (cm);

d = diâmetro comercial ou superior (cm);

Ht = altura total (m);

Tx = variável binária (0 para volume com casca e 1 para volume sem casca);

β_i = parâmetro a ser estimado ($i = 0, 1, \dots, 4$); e

ε_i = erro aleatório, $\varepsilon_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

A avaliação de multiprodutos da madeira exige uma descrição do perfil do fuste, ou seja, exige a determinação ou estimativa de vários diâmetros ao longo dos mesmos, através de equações de afilamento ou taper (HUSCH et al., 1982). Desta forma, o uso de modelos de taper torna-se ferramenta obrigatória para a quantificação dos multiprodutos, uma vez que as alternativas de uso são formuladas em função das variáveis: comprimento da tora, diâmetro máximo e diâmetro mínimo (LIMA et al., 1997).

De acordo com FISCHER (1997), a aplicação das funções de taper é um poderoso instrumento para avaliar biológica e economicamente o maciço florestal e a resposta às práticas de manejo executadas, já que permite valorar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal.

Para quantificar os multiprodutos e volumes de partes do fuste, de acordo com as características estabelecidas, quanto ao comprimento das toras e diâmetros máximo e mínimo, foram ajustados os seguintes modelos de taper:

- Modelo de Kozak et al. (1969), modificado por LEITE e GARCIA (2001)

A forma geral do modelo é:

$$\left(\frac{d_i}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{h_i}{Ht}\right) + \beta_2\left(\frac{h_i}{Ht}\right)^2 + \beta_3Tx + \varepsilon_i$$

Isolando d_i ou h_i , obtém-se a função de afilamento que permite estimar os diâmetros e as alturas, em cada seção ao longo do tronco e em cada diâmetro considerado, respectivamente:

$$d_i = dap \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{Ht} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{Ht} \right)^2 + \beta_3 Tx + \varepsilon_i}$$

$$h_i = \frac{\left[-\beta_1 Ht - \sqrt{(\beta_1 Ht)^2 - 4\beta_2 \left(\beta_0 Ht^2 - \frac{d_i^2 Ht^2}{dap^2} \right) + \beta_3 Tx} \right]}{2\beta_2} + \varepsilon_i$$

- Modelo de Demaerschalk (1972), modificado por LEITE e GARCIA (2001)

A função geral do modelo é expressa por:

$$\left(\frac{d_i}{dap} \right)^2 = 10^{2\beta_0} dap^{(2\beta_1-2)} Ht^{2\beta_2} (Ht - h_i)^{2\beta_3} e^{\left(\frac{\beta_4}{2} \frac{Tx}{dap} \right)} + \varepsilon_i$$

A expressão para predição do diâmetro comercial é:

$$d_i = 10^{\beta_0} dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} (Ht - h_i)^{\beta_3} e^{\left(\frac{\beta_4}{2} \frac{Tx}{dap} \right)} + \varepsilon_i$$

A estimativa das alturas para qualquer diâmetro ao longo do tronco é obtida pela expressão:

$$h_i = Ht - \left[\frac{1}{d_i} \left(10^{\beta_0} dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} e^{\left(\frac{\beta_4}{2} \frac{Tx}{dap} \right)} \right) \right]^{\left(\frac{1}{\beta_3} \right)} + \varepsilon_i$$

em que:

d_i = diâmetro comercial na altura h_i (cm);

dap = diâmetro medido a 1,30 m de altura do solo (cm);

Ht = altura total (m);

h_i = altura onde ocorre o diâmetro comercial d_i (m);

e = base dos logaritmos neperianos;

T_x = variável binária (0 para o diâmetro d_i com casca e 1 para o diâmetro d_i sem casca);

β_i = parâmetro a ser estimado ($i = 0, 1, \dots, 4$); e

ε_i = erro aleatório, $\varepsilon_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Após o ajuste, os modelos tiveram sua acuracidade avaliada através dos seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2), erro padrão residual (S_{yx}) e análise gráfica dos resíduos. Sendo:

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \left[\frac{n-1}{n-p-1} \right] \quad S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p-1}}$$

em que:

R^2 = coeficiente de determinação não-ajustado;

p = número de parâmetros da regressão;

n = número total de observações.

Após a escolha do melhor modelo de taper, realizou-se um teste complementar de validação do mesmo. Procedeu-se, também, a validação dos modelos hipsométrico e volumétrico ajustados.

A validação de modelos consiste de uma análise comparativa entre os valores estimados e os observados, em que se verifica a existência ou não de tendenciosidade pela aplicação da equação de regressão resultante. Para tal, optou-se pelo uso do teste de L&O proposto por LEITE e OLIVEIRA (2002).

O teste de L&O caracteriza-se por ser um procedimento estatístico para avaliar a identidade de métodos analíticos, cujo procedimento resulta da combinação do teste de F (F_{H_0}) Graybill, do teste t para erro médio ($t_{\bar{e}}$) e da análise de correlação linear (r_{Y_j, Y_i}) entre os valores observados (Y_j) e os valores estimados (Y_i). O teste compara o valor observado, como variável dependente, e o valor estimado, como variável independente. Assim, para situações em que

$F(H_0)$ e $t_{\bar{e}}$ forem não significativos (ns) e $r_{Y_i Y_i} \geq 1 - |\bar{e}|$, conclui-se que os valores estimados pela regressão não diferem dos valores observados.

3.5. Alternativas de conversão da madeira e comércio dos multiprodutos

Uma das informações necessárias em modelos de otimização é a definição do melhor uso da madeira o que garantirá um melhor aproveitamento das árvores. Essa definição deve ser feita levando-se em consideração informações como qualidade e dimensões do fuste. Deste modo, o tronco de uma árvore pode ser subdividido em toras e estas terem diferentes destinos, proporcionando maior rentabilidade volumétrica e econômica (CHICHORRO, 2000).

Foram consideradas três alternativas de conversão dos troncos da madeira em toras: madeira para celulose, energia e serraria. As especificações das dimensões, diâmetros mínimo (d_{min}) e máximo (d_{max}) com casca são apresentadas na Figura 1. As informações referentes aos custos e receitas da madeira comercializada, por alternativa de uso, foram obtidas junto às principais empresas do setor e são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Valor comercial das toras, de acordo com as alternativas de uso

Uso da tora	Preço (US\$/m ³) *	Custo (US\$/m ³) *
Celulose	11,50	6,88
Energia	3,41	2,04
Serraria	13,43	8,04

* Informações referentes ao mês de abril de 2001, sendo US\$ 1,00 = R\$ 2,50.

Neste estudo, considerou-se que a venda da produção é feita de acordo com a demanda. Para tanto, admitiu-se que qualquer quantidade e tipo de tora produzida será comercializada, isto é, que existe demanda e não há restrição de quantidade.

Em uma primeira etapa selecionou-se três alternativas de uso da madeira: toras para celulose, energia e serraria. Foram considerados diferentes

comprimentos de tora (Figura 2), com base nos comprimentos utilizados pelas principais empresas do setor florestal. Desta forma, a otimização do sortimento foi composta de três casos: otimizar os comprimentos de colheita das toras para celulose, energia e serraria, respectivamente, visando selecionar a alternativa que proporcionasse maior rendimento volumétrico.

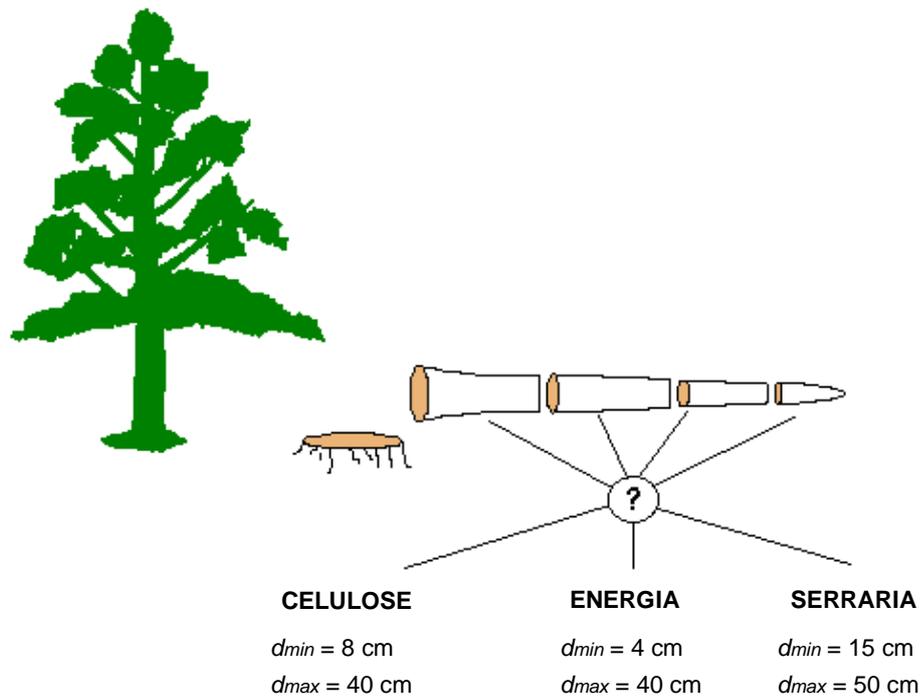


Figura 1 – Segmentação do fuste em função das alternativas de uso, representando os diâmetros máximo (d_{max}) e mínimo (d_{min}) para as toras em função das alternativas de uso. (Fonte: Adaptado de OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2000)

Numa segunda etapa, os comprimentos selecionados foram agrupados numa alternativa de otimização denominada de multiprodutos, a fim de estabelecer uma combinação ótima para o povoamento em estudo.



Figura 2 – Comprimentos de tora (L) avaliados, para cada alternativa de uso, no modelo de otimização.

3.6. Método de otimização

A otimização da conversão das toras em multiprodutos foi realizada através do método de programação dinâmica (PD). Após a obtenção dos dados e informações de distribuição diamétrica, das equações de altura, volume e taper e das características dos produtos foram realizadas simulações que permitiram otimizar os multiprodutos do povoamento em estudo.

Para efetuar estas simulações, foi desenvolvido, através do Turbo Pascal 7.0, um modelo de otimização denominado BARTHO, adaptado a partir dos modelos desenvolvidos por LEITE (1994) e LIMA (1996). O algoritmo, cujo fluxograma simplificado é apresentado na Figura 3, permite determinar uma alternativa ótima a partir da distribuição diamétrica do povoamento.

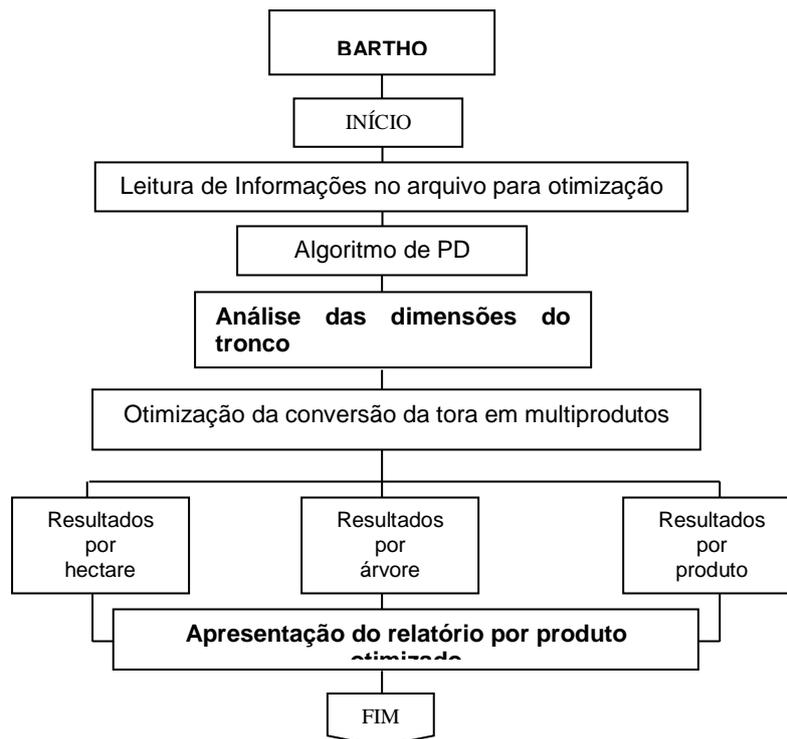


Figura 3 – Fluxograma do algoritmo de otimização.

O modelo teve como objetivo maximizar as receitas obtidas com o processamento das toras, considerando a atividade de conversão em três níveis como mostrado na Figura 4.

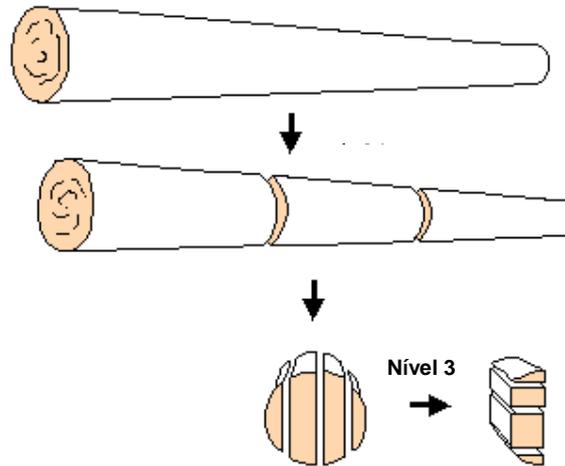


Figura 4 – Identificação dos três níveis da função de recorrência na otimização dos multiprodutos da madeira (Fonte: LEITE, 1994).

A definição metodológica e aplicação da função de recorrência, representando os três níveis de conversão dos troncos de árvores (Figura 5) foram desenvolvidos por LEITE (1994).

A função de recorrência utilizada na conversão permite solucionar a seguinte situação: “dado um tronco de comprimento L com diâmetro na base D e no topo d , como convertê-lo em toras, segundo diferentes usos potenciais, de modo que o retorno econômico, pela conversão de todo o fuste, seja o máximo possível?”

Algoritmo BARTHO

<p>Nível 1: Conversão dos troncos em toras:</p> $F_{nz}(Ht, D, Hb) = \text{Max}_{jz, u} \{R_u(jz.kz, dmin_i, dmax_i) + f_{nz-jz.kz}(nz.kz - jz.kz, D, Hb)\}$ <p>Nível 2: Conversão de toras em produtos finais (corte eixo x)</p> $F_{nx}(nx.kx) = \text{Max}_{z \in Z} \{G_{ny}[ny.ky, nx.kx, nx.kx - lx(z)] + F_{nx-lx(z)/kx}(nx.kx - lx(z) - skx)\}$ <p>Nível 3: Conversão de toras em produtos finais (corte eixo y)</p> $G_{rx}[ny.ky, nx.kx, nx.kx, nx.kx - lx(z)] = \text{Max}_{z \in Z} \{[V(w, nx.kx, ny.ky, lx(z), ly(z))] + G_{ny-ly(z)/ky-skx}[ny.ky - ly(z) - sky]\}$
--

Figura 5 – Relação de recorrência do modelo de PD.

As variáveis do modelo de PD, representado pela função de recorrência, foram definidas como:

F_{nz} (Ht, D, Hb) = função a ser otimizada;

R_u = retorno econômico pela conversão da tora, sendo expresso por

$$\sum_{w=1}^w Q_{iuw}(jz.kz, dmin_i, dmax_i) \times P_{iuw} - \sum_{w=1}^w \sum_{y=1}^y C_{yiuw}(jz.kz, dmin_i, dmax_i);$$

$f_{nz-jz.kz}$ = função a ser otimizada no estado anterior;

Q_{iuw} = volume total do produto final;

P_{iuw} = preço do produto final;

C_{yiuw} = custo do produto final;

$F_{nx}(nxkx)$ = valor máximo da seção da tora entre os estágios 0 e nx, com intervalos kx no nível 2;

$G_{ny}[ny.ky, nxkx, nxkx-lx(z)]$ = máximo valor da função para a espessura definida entre os estágios nx e nx-lx(z), como função da variável de estado nyky, no nível 3;

$G_{nx}[ny.ky, nxkx, nxkx-lx(z)]$ = máximo valor no estágio ny da seção da tora, entre os estágios nx e nx-lx(z) no nível 2 e entre os estágios 0 e ny no nível 3;

$V \{w, nxkx, nyky, lx(z), ly(z)\}$ = valor do produto w, obtido nas coordenadas nxkx e nyky, de espessura lx(z) e de largura ly(z);

Ht = altura total da árvore (m);

Hb = altura do toco remanescente (m);

D = diâmetro com casca a 1,30 m de altura do solo (cm);

lx(z) = variável decisória no nível 2, correspondente à largura a ser cortada entre dois estágios, consecutivos ou não;

ly(z) = variável decisória no nível 3, correspondente à largura a ser cortada entre dois estágios, consecutivos ou não;

nx = número de estágios contidos na parte comercial no tronco, no nível 2;

ny = número de estágios contidos na parte comercial no tronco, no nível 3;

nxkx = variável de estado no nível 2;

nyky = variável de estado no nível 3;

z = número total de produtos;

jz = comprimento da tora ($2 \leq jz \leq ht$, em que 2 m é o comprimento mínimo da tora);

kz = intervalo de comprimento no eixo z, ao longo do tronco (m);

skx = espessura do corte no nível 2;

sky = espessura do corte no nível 3;
d_{mini} = menor diâmetro da tora analisada (cm);
d_{maxi} = maior diâmetro da tora analisada (cm);
j = número de árvores ou classes diamétricas;
u = refere-se aos diferentes usos a que a tora pode ser destinada;
w = produto final proveniente da tora i, convertida no uso u; e
y = refere-se aos tipos de custos operacionais que envolvem o processo de toragem.

O aplicativo BARTHO consta da manipulação de arquivos de dados e otimização pelo modelo de programação dinâmica. Assim, a partir das características das árvores (comprimento e diâmetros máximo e mínimo das toras) e do preço de venda de cada alternativa de uso, o algoritmo fornece a conversão das árvores em toras, de acordo com sua posição no tronco e a produção de madeira por uso otimizado, considerando as alternativas de uso com as respectivas combinações, volume total com casca (VTCC.ha⁻¹) e volume total sem casca (VTSC.ha⁻¹) de acordo com a característica do uso.

De posse das alternativas de comercialização, para as características dos produtos, da distribuição diamétrica e das alturas estimadas, foi realizada a montagem do arquivo necessário para a otimização contendo as informações das características dos produtos e do povoamento, além dos coeficientes da equação de taper. A estrutura geral do arquivo é apresentada na Figura 6. Cabe ressaltar que a estrutura dos arquivos para conversão em toras para celulose, energia, serraria e multiprodutos é semelhante, diferenciando-se apenas no que se refere às dimensões e preços das toras a serem otimizadas.

Ao realizar o processo de conversão de toras em madeira para serraria, o algoritmo BARTHO permite definir a estrutura ótima de corte na serraria, visando a maximização do lucro. Para tanto, o algoritmo exige a estruturação, em um arquivo específico, dos produtos comercializáveis, com suas respectivas dimensões. A estrutura geral do arquivo necessário para o desdobramento das toras em produtos serrados é apresentada na Figura 7.

n						
l_1	d_{min_1}	d_{max_1}	u_1	f_1	p_1	c_1
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
l_n	d_{min_n}	d_{max_n}	u_n	f_n	p_n	c_n
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4		
Z						
a_1	d_1	fr_1	h_1	ht_1		
:	:	:	:	:		
:	:	:	:	:		
a_z	d_z	fr_z	h_z	ht_z		

em que:

n = número de usos alternativos;
l = comprimento da tora para cada uso alternativo (cm);
dmin = diâmetro mínimo para a conversão em cada uso alternativo (cm);
dmax = diâmetro máximo para cada uso alternativo (cm);
u = número para identificar a alternativa de uso (variando de 1 a 12);
f = fator de conversão para cada uso alternativo;
p = preço de venda para cada produto final;
c = custo médio da conversão de cada produto final;
z = número de classes diamétricas a serem otimizadas;
 β_i = coeficientes da equação de taper ($i = 1, 2, 3$ e 4);
a = identificação da classe diamétrica;
d = diâmetro médio na classe diamétrica (cm);
fr = frequência de árvores na classe diamétrica;
h = altura total estimada para a classe diamétrica (m);
ht = altura do toco (m).

Figura 6 – Estrutura geral do arquivo de otimização

n	ec	ec
e_1	l_1	v_1
:	:	:
:	:	:
e_n	l_n	v_n

em que:

n = número de produtos;
ec = espessura de corte (mm);
e = espessura do produto (mm);
l = largura do produto (mm);
v = volume do produto (m^3).

Figura 7 – Estrutura geral do arquivo para otimização de toras em produtos serrados

Com o objetivo de demonstrar a conversão otimizada do povoamento em estudo em produtos madeireiros, realizou-se, para os multiprodutos, a conversão das toras destinadas à serraria em produtos serrados. As

especificações e definições dimensionais dos produtos considerados encontram-se relacionadas no Quadro 2. Neste caso, o valor considerado para a madeira serrada foi, em média, de US\$ 140,00/m³.

Quadro 2 – Relação dos produtos e dimensões consideradas na conversão de toras em madeira serrada

Produto	Espessura (mm)	Largura (mm)
Ripa	15	75
Sarrafo	25	100
Tábua	30	300
Vigota	40	110
Prancha	50	300
Viga	60	120
Caibro	60	80
Pranchão	80	250

Para processar a otimização, considerando o desdobramento em produtos serrados, utiliza-se um arquivo com estrutura semelhante ao apresentado na Figura 7.

3.7. Avaliação econômica

A avaliação econômica consiste na verificação da viabilidade de determinada atividade. Neste estudo, a análise foi realizada aplicando-se o método do Valor Presente Líquido (VPL) que tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado por uma série de receitas e despesas.

O VPL de um projeto de investimento pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Conceitualmente, a viabilidade econômica de um projeto analisado por este método é indicada pela diferença positiva entre receitas e custos, atualizados a determinada taxa de juros (REZENDE e OLIVEIRA, 1993).

A expressão matemática do VPL é dada por:

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

em que:

R_j = receitas obtidas com a venda dos produtos no período j (US\$.ha⁻¹);

C_j = custos gerados com os produtos no período j (US\$.ha⁻¹);

i = taxa real de juros; e

j = períodos em que ocorrem as receitas e os custos ($j = 0, 1, \dots, n$).

Para as análises econômicas, utilizou-se dados de custos de condução e colheita do povoamento, juntamente com dados de preços de venda da madeira, definindo-se uma planilha de custos e receitas. Os custos referentes às operações de implantação, manutenção anual e colheita florestal são apresentados no Quadro 3. Como custo da terra definiu-se o valor de US\$ 500,00/ha. O transporte da madeira foi considerado ser de responsabilidade do comprador. Os preços de venda utilizados foram os apresentados no Quadro 1.

Quadro 3 – Dados de custos de produção de madeira considerando o uso para celulose e o uso de multiprodutos

Atividade	Ano de ocorrência	Custos (US\$.ha ⁻¹)
Implantação*	0	500,00
Capina	1	40,00
Capina	2	18,00
Manutenção	1 a 9	10,00
Colheita**	9	6,00
Administração	anual	10% do custo total

* Os custos de implantação envolvem as operações de infra-estrutura, construção de estradas e aceiros, desmatamento, destoca, limpeza da área, preparo do terreno, plantio e replantio de mudas, combate às formigas e aplicação de fertilizantes.

** Custos expressos em US\$/m³.

Neste estudo, comparou-se a rentabilidade dos multiprodutos (combinação dos comprimentos selecionados para celulose, energia e serraria) com a rentabilidade proporcionada pela destinação da madeira do povoamento a um único uso (celulose ou energia ou serraria).

Com relação às taxas de desconto, considerou-se a aplicação de taxas reais de desconto de 6, 9 e 12% ao ano, no cálculo do VPL. Essas taxas foram escolhidas por, segundo OLIVEIRA et al. (1998), abrangerem os níveis mais usados pelo setor florestal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise da distribuição diamétrica

As medições diamétricas, agrupadas nas diversas classes, são apresentadas no Quadro 4 e representadas, graficamente, num histograma de frequência na Figura 8.

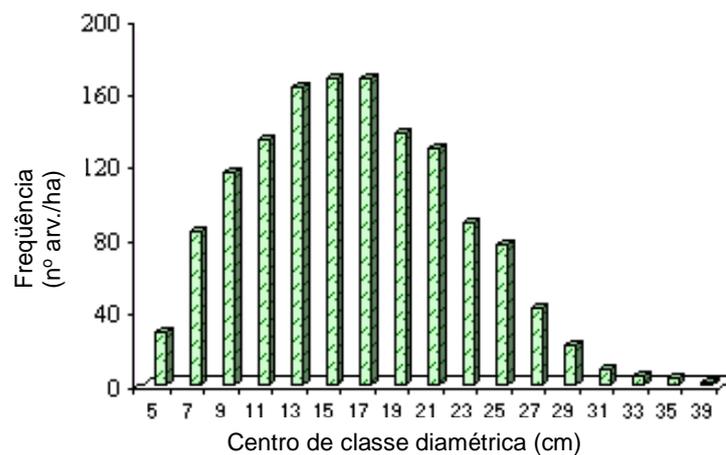


Figura 8 – Distribuição diamétrica de *Eucalyptus grandis*, na idade de 9 anos.

Quadro 4 – Distribuição diamétrica para o povoamento em estudo, na idade de 9 anos

Valor central da classe diamétrica (cm)	Altura total média (m)	Frequência (nº de árv./ha)	Área basal média (m ² /ha)
5,0	10,1	29	0,0560
7,0	14,1	84	0,3240
9,0	18,2	117	0,7422
11,0	21,5	135	1,2787
13,0	23,7	164	2,1731
15,0	26,0	169	2,9869
17,0	27,7	169	3,8365
19,0	29,2	139	3,9278
21,0	30,6	131	4,5227
23,0	31,6	89	3,6903
25,0	33,1	78	3,8068
27,0	34,1	42	2,3909
29,0	35,2	22	1,4448
31,0	36,2	9	0,6504
33,0	38,0	5	0,3968
35,0	38,1	4	0,3826
37,0	-	-	-
39,0	42,0	1	0,0792
Total/Média		1387	1,8161

4.2. Ajuste dos modelos

4.2.1. Equação hipsométrica

As informações observadas dos fustes (*dap*, *Ht* e *Hd*) foram utilizadas para o ajuste de um modelo hipsométrico, obtendo-se a seguinte equação:

$$\ln Ht = 2,01653 - 7,97556 \left(\frac{1}{dap} \right) + 0,50762 \ln(Hd),$$

$$\text{com } \bar{R}^2 = 0,9485 \text{ e } S_{yx} = 0,0858$$

Esta equação foi utilizada para estimar as alturas totais das árvores que não tiveram esta variável mensurada nas parcelas. Na Figura 9, pode-se observar a distribuição de resíduos.

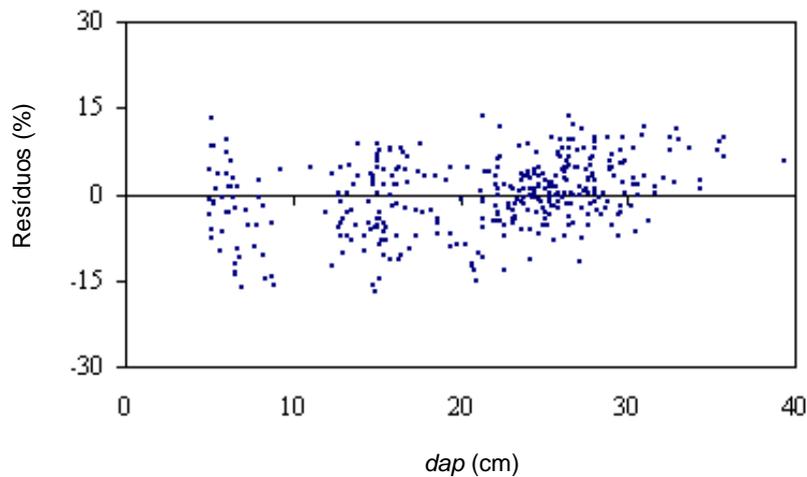


Figura 9 – Distribuição de resíduos percentuais em relação ao *dap*.

4.2.2. Equação de volume

A equação obtida a partir do ajuste do modelo de múltiplos volumes foi:

$$V = 0,000057 \text{dap}^{1,688445} Ht^{1,139986} [e^{-3,029515(Tx/dap)}] \left(1 - \left(\frac{d}{dap}\right)^{1+0,249448d}\right),$$

com $\bar{R}^2 = 0,9958$ e $S_{yx} = 0,0486$

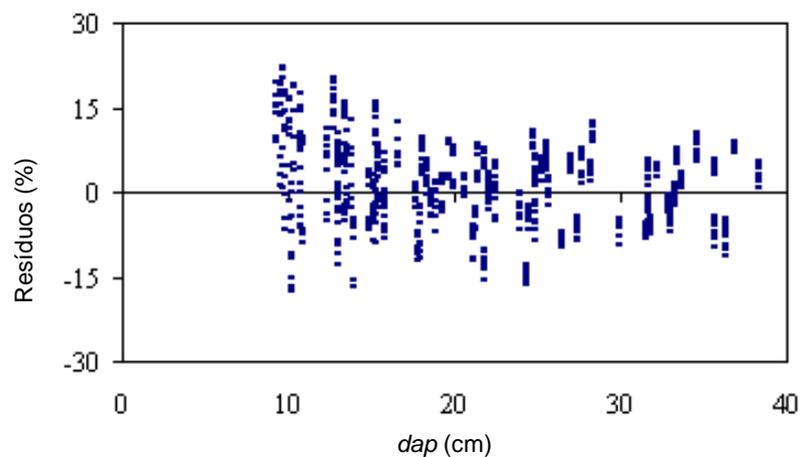


Figura 10 – Distribuição dos resíduos percentuais em relação ao *dap*.

Analisando estas medidas de precisão obtidas, juntamente com o gráfico da Figura 10, pode-se verificar que a equação de múltiplos volumes gerou estimativas precisas e livre de tendências.

4.2.3. Equação de taper

As estimativas dos parâmetros e das medidas de precisão das equações de taper obtidas são apresentadas no Quadro 5. Analisando-se as medidas de precisão e a análise gráfica dos resíduos (Figura 11) das equações estimadas, verifica-se que a equação modificada de Demaerschalk apresentou melhor acuracidade em relação à equação modificada de Kozak, sendo, portanto a equação selecionada.

Quadro 5 – Parâmetros e medidas de precisão para as equações de taper

Equação	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2	S_{yx}
Kozak	1,08421	-1,72499	0,69432	-0,07324	-	0,9498	0,0789
Demaerschalk	0,04199	0,90207	-0,68417	0,75743	-2,73165	0,9780	0,0724

A equação selecionada foi transformada com o propósito de estimar o diâmetro em cada seção (d_i) e a altura ao longo do fuste (h_i), obtendo-se as seguintes expressões:

$$d_i = 10^{0,041992} dap^{0,902073} Ht^{-0,684167} (Ht - h_i)^{0,757429} e^{\left(\frac{-2,73165}{2} \frac{T_x}{dap}\right)}$$

$$h_i = Ht - \left[\frac{1}{d_i} \left(10^{0,041992} dap^{0,902073} Ht^{-0,684167} e^{\left(\frac{-2,73165}{2} \frac{T_x}{dap}\right)} \right) \right]^{\left(\frac{1}{0,757429}\right)}$$

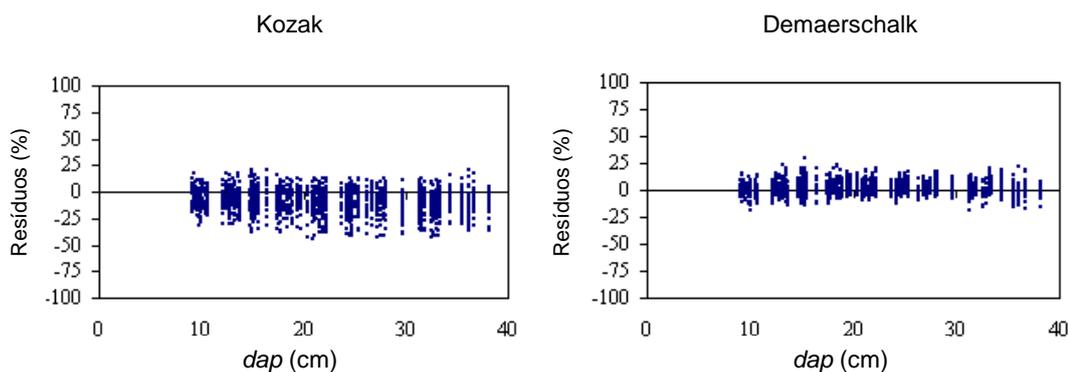


Figura 11 – Distribuição dos resíduos percentuais em relação ao *dap* para os diâmetros comerciais.

4.2.4. Validação das equações ajustadas

Os resultados da validação são apresentados no Quadro 6, onde é possível verificar que todas as equações obtidas no ajuste apresentaram estimativas precisas na predição das variáveis.

Quadro 6 – Estatísticas do teste de L&O para validação das equações ajustadas, para um nível de significância de 5%.

Equação	F(H ₀)	t \bar{e}	r_{Y_j, Y_1}	Conclusão
Hipsométrica	0,003ns	0,850ns	0,974	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_1^{**} , para o nível de significância estabelecido.
Volumétrica	0,128ns	1,932ns	0,925	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_1^{**} , para o nível de significância estabelecido.
Taper	0,100ns	1,956ns	0,463	Y_j^* é estatisticamente igual a Y_1^{**} , para o nível de significância estabelecido.

* Y_j = valores observados

** Y_1 = valores estimados

4.3. Otimização da produção

4.3.1. Conversão em toras para celulose

A otimização da conversão das toras para celulose foi realizada com o objetivo de obter o tamanho ótimo para a colheita das toras. Deste modo, montou-se um arquivo com as opções de comprimento das toras, de acordo com os tamanhos usuais nas empresas florestais, para que o aplicativo BARTHO pudesse realizar a otimização das mesmas.

Os resultados da otimização encontram-se no Quadro 7, onde pode-se observar que o comprimento de 2,2 m foi o que possibilitou maior rendimento volumétrico.

Quadro 7 – Volume total com casca (VTCC) e sem casca (VTSC) obtidos da otimização do tamanho das toras para celulose

Comprimento (m)	VTCC (m ³ .ha ⁻¹)	VTSC (m ³ .ha ⁻¹)
2,2	378,576	331,595
2,7	377,130	330,882
3,0	369,817	324,722
4,4	363,575	319,231
5,5	356,056	312,936
6,0	354,304	311,442

4.3.2. Conversão em toras para energia

Dos comprimentos testados para as toras destinadas a geração de energia, observa-se, no Quadro 8, que as toras de 1,1 m de comprimento possibilitaram maior rendimento volumétrico.

Quadro 8 – Volume total com casca (VTCC) e sem casca (VTSC) obtidos da otimização do tamanho das toras para energia

Comprimento (m)	VTCC (m ³ .ha ⁻¹)	VTSC (m ³ .ha ⁻¹)
1,1	422,393	367,677
2,0	421,238	366,681
2,2	420,925	366,451
2,7	420,924	365,444
2,8	420,092	366,797
3,0	421,270	366,757

4.3.3. Conversão em toras para serraria

Os resultados da conversão das toras para serraria são apresentados no Quadro 9. Nesta alternativa de otimização, as toras de 2,0 m de comprimento foram as que apresentaram maior rendimento volumétrico.

Quadro 9 – Volume total com casca (VTCC) e sem casca (VTSC) obtidos da otimização do tamanho das toras para serraria

Comprimento (m)	VTCC (m ³ .ha ⁻¹)	VTSC (m ³ .ha ⁻¹)
2,0	208,568	186,320
2,6	208,112	185,910
2,9	201,888	180,388
3,2	204,779	182,849
4,0	189,911	169,876
5,0	199,302	178,097

Analisando, conjuntamente, os resultados obtidos na conversão das toras para celulose, energia e serraria observa-se que, em todos os casos, as toras de menor comprimento foram as que apresentaram maiores rendimentos volumétricos.

4.3.4. Conversão em toras para multiprodutos

Após realizar a otimização da conversão para cada uso de forma separada, selecionou-se, para cada alternativa de uso, o comprimento que proporcionou o maior retorno volumétrico, ou seja, 2,2 m para celulose; 1,1 m para energia e 2,0 m para serraria. As alternativas de comprimento selecionadas foram, então, agrupadas a fim de obter a otimização das alternativas de uso da madeira de forma integrada para todo o povoamento.

Os resultados da otimização que definiu a melhor opção para o povoamento são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Volume total com casca (VTCC) e sem casca (VTSC) obtidos da otimização do tamanho das toras para multiprodutos

Uso	VTCC (m ³ .ha ⁻¹)	VTSC (m ³ .ha ⁻¹)	% em relação ao VTCC
Celulose	165,268	141,337	39,1
Energia	40,525	33,201	9,6
Serraria	216,723	193,201	51,3
Total	422,516	367,739	100,0

Objetivando a maximização do retorno econômico, procedeu-se a conversão de um tronco em toras e destas em madeira serrada. Assim, para as toras destinadas ao uso serraria, o algoritmo Bartho possibilitou a apresentação da estrutura ótima de corte considerando os produtos listados no Quadro 2. Os produtos serrados otimizados, por classe diamétrica, são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 – Número de produtos serrados obtidos para o povoamento em estudo

Valor central da classe diamétrica (cm)	Produtos (quantidade.ha ⁻¹)							
	Vigota	Caibro	Ripa	Prancha	Pranchão	Viga	Sarrafo	Tábua
17	1	1	1	-	-	-	-	-
19	1	-	10	-	-	3	2	-
21	1	1	23	-	-	4	4	-
23	2	3	23	-	-	6	5	-
25	3	6	25	-	-	5	10	-
27	4	8	39	-	-	8	19	-
29	6	10	44	-	1	10	12	-
31	5	12	48	-	3	10	15	-
33	11	14	64	-	3	8	22	-
35	3	19	80	1	3	15	21	-
39	22	22	101	3	2	22	20	5

Uma exemplificação das saídas geradas é apresentada em anexo. Cabe ressaltar que, devido ao algoritmo, para este caso, considerar a tora como um cilindro, os rendimentos reais serão ligeiramente inferiores aos apresentados devido às perdas em função da forma da árvore.

Pelos resultados obtidos na otimização da combinação dos usos, obteve-se a receita total de cada alternativa e combinação de uso otimizado. Para obtenção do peso total de cada alternativa de uso, considerou-se a densidade básica média do *Eucalyptus grandis* igual a 570 kg/m³, conforme estudo de CARMO (1996), a qual proporcionou um fator de conversão de 1,7544 m³ para cada tonelada de madeira obtida. Então, a produção em metro cúbico foi convertida para tonelada, possibilitando obter a receita total de cada alternativa de uso otimizado (Quadro 12). A fim de obter a receita líquida da otimização, foram considerados os seguintes custos e receitas apresentados no Quadro 1.

Quadro 12 – Produção e receita por alternativa de uso

Uso	VTCC (t.ha ⁻¹)	Receita (US\$.ha ⁻¹)
Celulose	94,202	763,54
Energia	23,099	55,52
Serraria	123,531	1168,14
Total	240,832	1987,19

A colheita das toras visando o uso múltiplo das mesmas comprova, neste caso, a vantagem do manejo de um povoamento florestal destinado a multiprodutos, ou seja, ao destinar cada parte da tora a seu uso mais rentável a empresa atinge o máximo rendimento (através do sortimento), haja vista que a madeira serrada possui um valor agregado maior do que a madeira para celulose ou energia. A destinação do povoamento a multiprodutos apresenta-se, portanto, como a melhor opção de remuneração do produto, uma vez que haverá uma diminuição no risco de perda, decorrente da redução do preço de venda desse ou daquele produto.

4.4. Avaliação econômica

A fim de verificar se a otimização realizada para os multiprodutos representa realmente a opção mais lucrativa para o povoamento em estudo, realizou-se a verificação da viabilidade econômica dos multiprodutos

(celulose + energia + serraria) em comparação com o uso da madeira para apenas uma finalidade (celulose ou energia ou serraria).

Desta forma, conforme relatado anteriormente, foi utilizado o método do VPL para analisar a viabilidade econômica, sendo que o investimento foi considerado viável para os casos em que o VPL foi positivo.

Nota-se, analisando o Quadro 13, que a alternativa de multiprodutos apresentou-se, do ponto de vista econômico, a mais viável, seguida das opções serraria, celulose. Considerando o uso da madeira para energia observa-se que, para todas as taxas de desconto, a alternativa apresentou-se inviável economicamente, uma vez que apresentou VPL negativo. Um dos aspectos que podem ter prejudicado a viabilidade econômica das toras para energia é o baixo preço considerado, por ocasião deste estudo, para a venda da madeira.

De modo geral, verifica-se que, à medida que a taxa de desconto aumenta, o risco do empreendimento também é maior e o VPL cresce em termos negativos, ou seja, o prejuízo aumenta. Esta sensibilidade às variações na taxa real de desconto usada era esperada, uma vez que altas taxas de desconto tendem a inviabilizar investimentos a longo prazo devido ao longo tempo de conversão do investimento, como é o caso de investimentos no setor florestal.

Quadro 13 – Volume e Valor Presente Líquido (VPL) para um único uso e para multiprodutos, para diferentes taxas de desconto

Uso	Volume (m ³)	VPL (US\$.ha ⁻¹)		
		6% a.a	9% a.a	12% a.a
Celulose	378,576	731,05	411,79	160,70
Energia	422,393	-1137,79	-1199,40	-1280,67
Serraria	208,568	470,49	211,20	6,50
Multiprodutos	422,516	920,41	561,23	279,09

Os valores obtidos para o VPL indicam que a alternativa de uso da madeira para um único uso não é recomendável do ponto de vista econômico, no referente caso, em relação ao uso de madeira para multiprodutos

(celulose + energia + serraria). Ao colher a madeira somente para celulose, comprimento da tora igual a 5,5 m, a empresa reduz o aproveitamento da tora.

Para o povoamento em estudo, observa-se que ocorre geração de menor quantidade de resíduos quando da destinação da produção para apenas um uso em relação aos multiprodutos. A diferença percentual do uso único comparados aos multiprodutos é da ordem de 10,40%; 0,03% e 50,64% para celulose, energia e serraria, respectivamente. Em termos percentuais, a diferença apresentada pelos usos celulose e energia pode parecer não significativa. Porém, considerando que a área total florestada de uma empresa e o volume de madeira produzida representam valores consideráveis, verifica-se que ao destinar sua produção apenas para celulose, a empresa está perdendo retornos financeiros.

4.5. Estudo de caso

A otimização das toras visando o uso para celulose, obteve-se, após a otimização, o comprimento de 2,2 m como aquele que proporcionou maior rendimento volumétrico.

A produção volumétrica proporcionada pelo corte das toras no comprimento recomendado como ótimo neste estudo (no caso, 2,2 m) foi de 378,576 m³.ha⁻¹; enquanto que a produção do povoamento cujas toras foram cortadas com 6,0 m foi de 361,665 m³.ha⁻¹. É possível observar uma vantagem de 4,5% no volume propiciado pelas toras de menor comprimento.

Com relação às diferenças monetárias, utilizando o método do VPL obtém-se valores de US\$411,79.ha⁻¹ e US\$ 371,75.ha⁻¹ para os comprimentos de 2,2 e 6,0 m, respectivamente. Estes números demonstram que, atualmente, as empresas que colhem as toras com 6,0 m de comprimento estão tendo uma perda, por hectare, da ordem de 10%.

Pode-se observar na Figura 12 que a conversão em toras de menor comprimento propicia melhor aproveitamento do tronco.

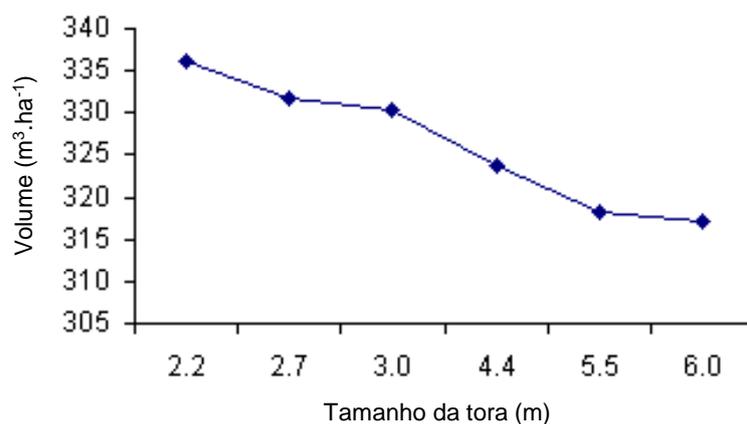


Figura 12 – Comportamento do volume recuperado para diferentes tamanho de tora.

Vale ressaltar que, nem sempre, as empresas podem operacionalizar a colheita no comprimento indicado como ideal neste estudo. As mesmas encontram limitações com relação ao transporte e, ou comprimento do picador na fábrica. Assim, embora os resultados apontem para uma determinada alternativa otimizada, por motivos técnicos e, ou operacionais, a empresa poderá ter que destinar sua produção para uma outra alternativa, a qual, certamente, proporcionará um menor retorno econômico.

Desse modo, uma aplicação prática desses resultados, em nível de planejamento empresarial, seria utilizar estas informações, extrapolando os resultados para situações semelhantes às utilizadas neste estudo.

Outra opção para a empresa seria utilizar o algoritmo BARTHO e processar seus projetos a fim de utilizar as saídas do algoritmo para melhor direcionar o uso ou a comercialização da madeira. A partir dessas informações, os resultados podem ser utilizados de maneira prática e confiável no planejamento e gerenciamento dos povoamentos florestais.

Por fim, cabe ressaltar que, em qualquer análise, além do que já foi mencionado, a empresa poderá contemplar outros produtos alternativos e, ou subprodutos da madeira.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, para as condições em que foram desenvolvidas este estudo, conclui-se que:

- Os melhores tamanhos, sob o critério econômico, para os usos energia, serraria e celulose foram 1,1; 2,0 e 2,2 m, respectivamente.

- O emprego do algoritmo BARTHO, por meio da simulação de diferentes cenários, de acordo com as características definidas para cada produto e as condições de mercado, representa uma importante ferramenta de tomada de decisão sobre o uso e comércio dos multiprodutos de povoamentos florestais.

- Os multiprodutos (combinação dos usos celulose, energia e serraria) apresentam maior retorno econômico quando comparado com a destinação da madeira para apenas um uso (celulose ou energia ou serraria).

- As toras de menor comprimento resultam em maiores rendimentos volumétricos devido ao melhor aproveitamento do fuste propiciado pelas mesmas em comparação com comprimentos maiores.

- A implementação de modelos de programação dinâmica, destinados à otimização de multiprodutos, permite aumentar, de forma significativa, o retorno econômico pelo uso da madeira e diminuindo o risco do empreendimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S. **A seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica.** 1992. 189p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

AMIDON, E.L.; AKIN, G.S. Dynamic programming to determine optimum levels of growing stock. **Forest Science**, Washington, v.14, n.3, p.278-291, 1968.

ARCE, J.E. **Um sistema de programação de transporte de multiprodutos florestais visando a minimização do custo da matéria-prima.** 1999. 98p. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ASSIS, A.L. **Avaliação de modelos polinomiais segmentados e não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*.** 2000. 198p. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BRIGGS, J.G. **A dynamic programming approach to optimizing stem conversion.** 1980. 299p. Tese (Ph. D. in Forest Resource Management) - University of Washington, Seattle.

CARMO, A.P.T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto.** 1996. 77p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, A.M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha.** 2000. 129p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba.

CENTRAL DE ESTUDOS EM PESQUISA OPERACIONAL. **Programação dinâmica.** Disponível em: <www.fearp.usp.br/deptos/adm/grupesq/po/dinamica.html> Acesso em: 21 maio 2001.

CHICHORRO, J.F. **Análise estrutural e econômica de multiprodutos da madeira.** 2000. 241p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COSTA, E.M. A madeira do eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABPM/SBS, 1996. p.75-90.

DREYFUS, S.E.; LAW, A.A. **The art and theory of dynamic programming.** Orlando, Academic Press, 1986. 286p.

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

FALCÃO, A.; BORGES, J.G. Programação linear e gestão estratégica em recursos florestais – aplicação à Mata Nacional de Leiria. **Revista Florestal**, Lisboa, v.12, n.1/2, p.93-98, 1999.

FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica do sortimento e do perfil do fuste de *Pinus taeda*.** 1997, 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FILGUEIRAS, J.F. **Um modelo de substituição de equipamentos para minimizar custos operacionais em uma empresa florestal.** 1997. 54p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975. 65p. (Série técnica 3)

GOMES, C.R.L. **Produção de madeira e carvão em plantações de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus cloeziana*.** 1996. 92p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Perfis dos municípios mineiros/Sabinópolis**. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/munmg/m568069.asp>> . Acesso em: 28 maio 2001.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introduction to operations research**. 6. ed. New York : McGraw-Hill, 1995. 998p.

HUSCH, B.; MILLER, C.L.; BEERS, T.E. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: J. Willey & Sons, 1982. 397p.

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

LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; PAULA JUNIOR, G.G. Emprego de um modelo de programação dinâmica para conversão de troncos em multiprodutos da madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.4, p.447-465, 1995 a.

LEITE, H.G.; GARCIA, S.L.R. **Pesquisa e desenvolvimentos em inventário, mensurações e manejo florestal na CENIBRA**. Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, 2001. 49p. (Relatório técnico)

LEITE, H.G.; GUIMARÃES, D.P., CAMPOS, J.C.C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.1, p.65-79, 1995 b.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in soil science plant analysis**, New York, v.33, issue 7 e 8, 2002.

LIMA, D.G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto**. 1996. 80p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIMA, D.G.; LEITE, H.G.; PAULA JUNIOR, G.G.; SOUZA, A.L. Um modelo de suporte a decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.1, p.35-48, 1997.

LUZ, H.F.; MELZER, J.F.; COUTINHO, C.J.; FERREIRA, M.C. Manejo de florestas de eucalipto para usos múltiplos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO,7, 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v.3, p.283-290.

OLIVEIRA, A. D.; LEITE, A. P.; BOTELHO, S. A.; SCOLFORO, J.R.S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **Revista Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p.034-056, 1998.

OLIVEIRA, E.B.; OLIVEIRA, Y.M.M. **SISPLAN - Sistema para manejo e análise econômica de florestas de pinus**. In: CONGRESSO E MOSTRA DE AGRO INFORMÁTICA, 2000, Ponta Grossa. Disponível em: <http://www.infoagro2000.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_013.pdf>

PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT/IUFRO/LCF-ESALQ-USP, 1995. p.50-58.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. de **Avaliação de projetos florestais**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1993. 47p.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Setor florestal brasileiro**. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/setor_florestal.htm>. Acesso em: 16 maio 2001.

SILVA, G.F.; RODRIGUES, F.L.; SANTOS, H.N. Um sistema de apoio à decisão para pequenas e médias empresas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 32, 2000, Viçosa, **Anais...** Viçosa, SBPO, 2000, p.1603-1617. CD-Rom.

SOBRAPO – SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL. **Pesquisa operacional**. Disponível em: <http://www.sobrapo.org.br/index_sobrapo.htm> Acesso em: 08 abril 2001.

TESCH, F. J. **Inventário de multiprodutos da madeira em povoamentos equiâneos**. 1998. 34p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VALVERDE, S.R. **A contribuição do setor florestal para o desenvolvimento sócio-econômico: uma aplicação de modelos de equilíbrio multissetoriais**. 2000. 105p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANEXOS

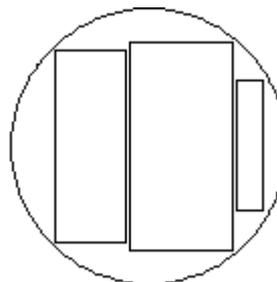
Exemplificação dos produtos obtidos do processamento de toras e das estruturas otimizadas para o corte na serraria, considerando os produtos alternativos apresentados no Quadro 2 e uma espessura de corte de 2 mm.

Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	16,6	15,8	0,0412	0,0255	3,50	61,7

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

40 x 110 x 2000
60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000

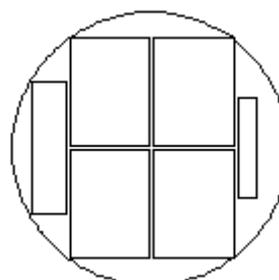


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	21,5	20,5	0,0693	0,0457	6,79	65,9

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

25 x 100 x 2000
60 x 80 x 2000
60 x 80 x 2000
15 x 75 x 2000
60 x 80 x 2000
60 x 80 x 2000

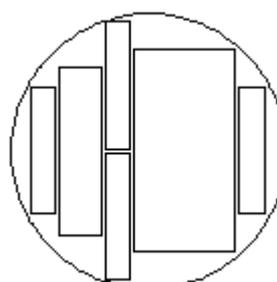


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	17,4	16,3	0,0446	0,0284	3,31	63,6

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

15 x 75 x 2000
25 x 100 x 2000
15 x 75 x 2000
60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000

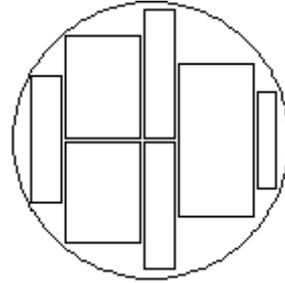


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	22,8	21,7	0,0778	0,0508	7,09	65,4

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

25 x 100 x 2000
60 x 80 x 2000
25 x 100 x 2000
60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000
60 x 80 x 2000
25 x 100 x 2000

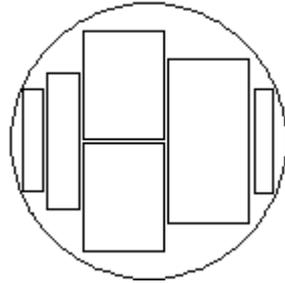


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	21,6	20,4	0,0693	0,0431	5,49	62,2

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

15 x 75 x 2000
25 x 100 x 2000
60 x 80 x 2000
60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000
60 x 80 x 2000

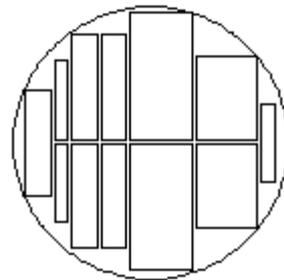


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	27,1	26,0	0,1108	0,0798	10,76	72,0

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

25 x 100 x 2000 15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000 15 x 75 x 2000
25 x 100 x 2000 25 x 100 x 2000
25 x 100 x 2000 25 x 100 x 2000
60 x 120 x 2000 60 x 120 x 2000
60 x 80 x 2000 60 x 80 x 2000

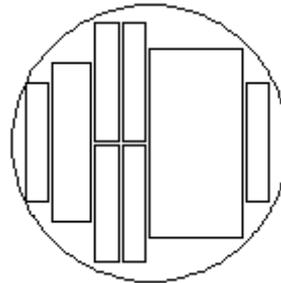


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	18,5	17,6	0,0512	0,0329	3,90	64,2

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

15 x 75 x 2000
25 x 100 x 2000
15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000
60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000

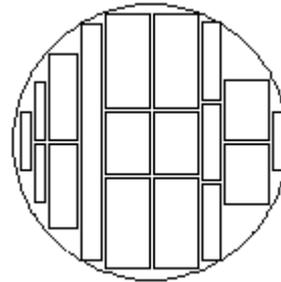


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	36,6	35,4	0,2036	0,1556	17,44	76,4

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

15 x 75 x 2000 15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000 40 x 110 x 2000
40 x 110 x 2000 60 x 80 x 2000
30 x 300 x 2000 60 x 80 x 2000
60 x 120 x 2000 25 x 100 x 2000
60 x 120 x 2000 60 x 80 x 2000
25 x 100 x 2000 60 x 120 x 2000
60 x 80 x 2000 60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000 25 x 100 x 2000

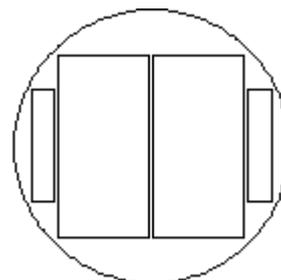


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	19,2	18,2	0,0550	0,0333	2,96	60,6

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

15 x 75 x 2000
60 x 120 x 2000
60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000

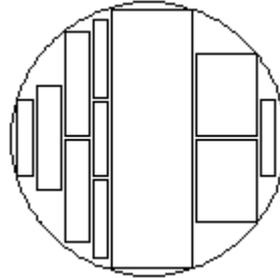


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	27,7	26,5	0,1154	0,0854	8,69	74,0

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

15 x 75 x 2000	60 x 80 x 2000
25 x 100 x 2000	15 x 75 x 2000
25 x 100 x 2000	25 x 100 x 2000
15 x 75 x 2000	15 x 75 x 2000
80 x 250 x 2000	60 x 80 x 2000
15 x 75 x 2000	

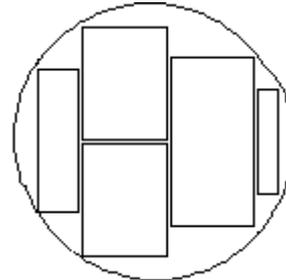


Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	20,6	19,7	0,0638	0,0408	5,20	64,0

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

25 x 100 x 2000
60 x 80 x 2000
60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000
60 x 80 x 2000



Comprimento (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)	Volume total (m ³)	Volume recuperado (m ³)	Lucro (US\$)	Rendimento (%)
200	33,8	32,5	0,1727	0,1301	15,65	75,4

Esquema do corte

Estrutura de desdobramento
(Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)

15 x 75 x 2000	15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000	25 x 100 x 2000
25 x 100 x 2000	15 x 75 x 2000
15 x 75 x 2000	60 x 80 x 2000
60 x 80 x 2000	60 x 80 x 2000
30 x 300 x 2000	60 x 80 x 2000
60 x 80 x 2000	15 x 75 x 2000
60 x 80 x 2000	60 x 120 x 2000
15 x 75 x 2000	60 x 120 x 2000

