MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA SELEÇÃO DE ÁRVORES MATRIZES DE *Eucalyptus grandis*

RICARDO MARQUES BARREIROS
Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciências Florestais.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Julho – 2000

RICARDO MARQUES BARREIROS. Modelo de Otimização para Seleção de Árvores Matrizes de *Eucalyptus grandis*

ERRATA

P.	Ítem	Linha	Onde se lê	Leia-se
24	4.2.1	Décima nona	Rbg_i= ... da árvore *i*, em %;	Rbg_i= ... da árvore *i*, em decimal;
29	4.2.1	Décima quinta	Idem	Idem
61	5.8.1	Décima nona	Idem	Idem
49	5.3	Décimas terceira e quinta	s^2= desvio padrão	s= desvio padrão
50	5.4	Décimas Quinta e sétima	Idem	Idem
53	5.5	Décimas Quinta e sétima	Idem	Idem
60	5.8	Décima e décima segunda	Idem	Idem
25	4.2.1	Nona	K_i= ... da árvore *i*, em t;	K_i= ... da árvore *i*, em decimal;
30	4.2.1	Primeira	Idem	Idem
38	4.2.3	Décima quarta	Rbg= ..., em %;	Rbg= ..., em decimal;
39	4.2.3	Vigésima terceira	Idem	Idem
26	4.2.1	Segunda	Ls_i= ..., em %;	Ls_i= ..., em decimal;
30	4.2.1	Vigésima terceira	Idem	Idem
40	4.2.3	Vigésima sétima	$Cpk=(Dbm^{0,53} . Rbgm^{0,70})/(Dba^{0,53} . Rbg^{0,70})$	$C=Cpk.(Dbm^{0,53} .Rbgm^{0,70})/ (Dba^{0,53} .Rbg^{0,70})$
40	4.2.3	Vigésima oitava	Onde:	Inserir o período: C = Custo total da polpação kraft, em US$/t polpa seca;
40	4.2.3	Primeira	A percentagem de lignina solubilizada foi calculada...	A percentagem de lignina solubilizada (base lignina) foi calculada...
40	4.2.3	Décima terceira	A massa de lignina solubilizada foi calculada...	A massa de lignina solubilizada (base madeira) foi calculada...
41	4.2.3	Décima primeira	Cpk/m^3 = Cpk/Cem	C/m^3 = C/Cem
41	4.2.3	Décima terceira	Cpk/m^3 = Custo da polpação...	C/m^3 = Custo da polpação...
41	4.2.3	Décima quinta	Cpk = Custo da polpação...	C = Custo da polpação...

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Barreiros, Ricardo Marques
Modelo de otimização para seleção de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* / Ricardo Marques Barreiros. - - Piracicaba, 2000.
144 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Árvore florestal 2. Clone de eucalipto 3. Seleção fenotípica I. Título

CDD 634.9734

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico esta Dissertação...

A minha filha Amanda que, sem saber, muito me incentivou, e que um dia compreenderá a minha ausência, em vários momentos da sua infância, durante o transcorrer deste curso.

A minha esposa Sueli, aos meus pais Antonio e Vitória, aos meus irmãos Sérgio, Sônia, Rosana e Regina, pelo carinho, incentivo e apoio.

A Deus que sempre esteve, está e estará comigo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Nivaldo Garcia, pela orientação, amizade e incentivos pessoal e profissional.

Aos professores e amigos do Departamento de Ciências Florestais, hoje Recursos Naturais, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, pelo apoio que me foi dado para a realização deste curso.

Aos Profs. Drs. Cláudio Angeli Sansígolo e José Vicente Caixeta Filho, pela valiosa colaboração e amizade.

À LWART – Agro-industrial Ltda, pelo fornecimento da matéria-prima utilizada neste trabalho.

À Silvia de Cássia Ferreira do Império, funcionária da FCA/UNESP, pelos serviços prestados, direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

Ao amigo Antonio Carlos Maringoni, professor da FCA/UNESP, pela amizade, incentivo e solidariedade de sempre.

Aos Profs. Drs. Antonio Natal Gonçalves, Isaías Olívio Geraldi, José Nivaldo Garcia, José Otávio Brito, José Vicente Caixeta Filho, Luiz Carlos Estraviz Rodriguez, da ESALQ/USP, e à Profa. Dra. Maria Aparecida Mourão Brasil, da FCA/UNESP, pelo ensino, exemplo e incentivo recebidos.

A todos os colegas dos Cursos de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Ciência e Tecnologia de Madeiras, Genética e Economia, Administração e Sociologia da ESALQ/USP, e Energia na Agricultura, da FCA/UNESP, que fiz durante este curso, especialmente ao Alberto Kazutoshi Fujihara, Cantídio Fernando Gouvea, Carla Rodrigues dos Santos, Lúcia Helena Menegon Basso, Maria Silvia Chiaradia Gabriel, Maurício Scorsatto Sartori, e Viviana Kyoko Oki pelo maior contato e amizade.

A todos os demais que colaboraram com este trabalho...

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS vii

LISTA DE SIGLAS,ABREVIATURAS E SIMBOLOS ix

RESUMO xii

SUMMARY xiii

1 INTRODUÇÃO 1

2 OBJETIVOS 4

3 REVISÃO DE LITERATURA 5

3.1 Considerações gerais 5

3.2 Seleção genética 6

3.3 Parâmetros silviculturais e dendrométricos 9

3.4 Parâmetros físicos 10

3.5 Parâmetros químicos 12

3.6 Parâmetros energéticos 14

3.7 Parâmetros tecnológicos 14

3.8 Programação linear: origens e usos 17

4 MATERIAL E MÉTODOS 21

4.1 Material 21

4.2 Métodos 22

4.2.1 Programação linear 22

4.2.2 Procedimentos adotados para a quantificação dos parâmetros de qualidade 33

4.2.3 Polpação da madeira 36

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 44

5.1 Resultados dendrométricos 44

5.2 Resultados de densidade básica 45

5.3 Resultados de massa e volume comerciais 48

5.4 Resultados da composição química da madeira e da polpa 50

5.5 Resultados médios da deslignificação 53

Página

5.6 Resultados de custo da deslignificação..... 54
5.7 Seleção das melhores árvores matrizes mediante o uso do programa Excel..... 57
5.8 Resultados mediante o uso da programação linear..... 59
5.8.1 Cenário I..... 60
5.8.2 Resultados estimados mediante o uso da programação linear..... 62
5.8.2.1 Valores obtidos para as variáveis..... 65
5.8.2.2 Classificação relativa das 26 árvores selecionadas..... 67
5.8.2.3 Restrições atuantes..... 73
5.8.2.4 Intervalo de variação dos limites (RHS) das restrições..... 76
5.8.2.5 Intervalo de variação dos coeficientes da função objetivo..... 76
5.8.3 Ganhos obtidos com a aplicação do método proposto..... 78
6 CONCLUSÕES..... 82
ANEXOS..... 86
Anexo A..... 87
Anexo B..... 88
Anexo C..... 90
Anexo D..... 94
Anexo E..... 96
Anexo F..... 97
Anexo G..... 98
Anexo H..... 99
Anexo I..... 101
Anexo J..... 103
Anexo L..... 105
Anexo M..... 113
Anexo N..... 116
Anexo O 117

Página

Anexo P..... 118
Anexo Q..... 120
Anexo R..... 122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 124
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA..... 136
APÊNDICES..... 137

LISTA DE TABELAS

Página

1 Parâmetros estatísticos obtidos para o DAP e alturas total e comercial referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis*..... 43
2 Valores de densidade básica da madeira de árvores de de *E. grandis*... 46
3 Parâmetros estatísticos obtidos para a densidade básica da madeira e da casca, referentes ao conjunto das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*..... 47
4 Parâmetros estatísticos obtidos para a massa e o volume comerciais, referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*..... 49
5 Parâmetros estatísticos obtidos para a composição química da madeira e o número kappa da polpa, referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*..... 50
6 Valores de lignina solubilizada da madeira de *E. grandis*..... 52
7 Parâmetros estatísticos obtidos para o rendimento bruto gravimétrico (Rbg), o consumo específico de madeira (Cem) e a lignina solubilizada (Ls), referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*..... 53
8 Parâmetros estatísticos obtidos para o custo da polpação, referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*..... 54
9 Valores de custo da polpação de *E. grandis*..... 56
10 Árvores selecionadas mediante utilização do programa Excel para os parâmetros de rendimento bruto gravimétrico (Rbg) e número kappa (Nk)..... 57
11 Árvores selecionadas mediante utilização do programa Excel para todos os parâmetros estudados..... 58
12 Árvores selecionadas mediante a utilização do programa Excel para os parâmetros (Rbg), rendimento bruto gravimétrico, número kappa (Nk) e consumo específico de madeira (Cem)..... 59

Página

13 Parâmetros estatísticos obtidos para os coeficientes das restrições, referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*..... 60
14 Coeficientes utilizados para a aplicação do método de programação linear, considerando-se as restrições do cenário I..... 63
15 Árvores selecionadas pelo programa Orsys e solução ótima quanto ao retorno máximo de massa de polpa obtido..... 64
16 Árvores selecionadas pelo programa Orsys e solução ótima quanto ao retorno máximo de polpa, quando o limite do volume por árvore foi de 11% do volume total..... 66
17 "Ranking" das 26 árvores matrizes selecionadas e respectivos retornos de polpa produzida em função do volume de madeira utilizado..... 68
18 "Ranking" das 11 árvores matrizes selecionadas e os respectivos volumes de madeira empregados e os retornos em polpa..... 69
19 Retornos obtidos mediante a alteração dos limites das restrições envolvidas..... 70
20 Árvores matrizes selecionadas levando-se em conta a diminuição dos limites das restrições..... 71
21 Restrições atuantes e solução ótima quanto ao retorno máximo de polpa..... 72
22 Restrições atuantes e solução ótima quanto ao retorno máximo de polpa, para um número razoável de árvores matrizesselecionadas..... 74
23 Intervalo de variação dos limites (RHS) das restrições..... 75
24 Intervalos de confiança para os coeficientes da função objetivo..... 77
25 Médias dos principais parâmetros estudados, referentes aos cenários abordados..... 79
26 Ganhos obtidos com a aplicação do método proposto..... 80

SIGLAS, ABREVIATURAS E SIMBOLOS

ABTCP		Associação Brasileira Técnica de celulose e Papel
APS	=	Área de produção de sementes
Ar	=	Área total
Ar*	=	Área média
a.s.	=	Absolutamente seco
C	=	Custo total da deslignificação
C*	=	Custo médio da deslignificação
°C	=	Graus Celsius
Cem	=	Consumo específico de madeira
Cm	=	Centímetro
Cm^3	=	Centímetro cúbico
Cpk	=	Custo da polpação kraft
CV	=	Coeficiente de variação
D	=	Diâmetro
DAP	=	Diâmetro à altura do peito (1,30m)
Db	=	Densidade básica
Dba	=	Densidade básica da árvore
Dbc	=	Densidade básica da casca
Dbm	=	Média das densidades básicas
ESALQ	=	Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
et al.	=	e outros
Et	=	Extrativos totais
FCA	=	Faculdade de Ciências Agronômicas
g	=	Gramas
h	=	Percentagem da HC que foram retirados os discos ao longo do fuste
H	=	Holocelulose
ha	=	Hectare

HC	=	Altura comercial
HT	=	Altura total
i	=	Índice referentes às árvores 1 a 64
IMA	=	Incremento Médio Anual
K	=	Percentagem de lignina residual encontrada na polpa
Kg	=	Quilograma
L	=	Lignina
Lr	=	Lignina residual
Ls	=	Lignina solubilizada
LVd	=	Latossolo vermelho amarelo distrófico
m	=	Metro
m^3	=	Metro cúbico
Ma	=	Massa da árvore
Mc	=	Massa da casca
Mesh	=	Quantidade de furos contidos na peneira por polegada linear
mm	=	Milímetro
Mslr	=	Massa seca total de lignina residual
Mslr*	=	Massa seca média de lignina residual
Msls	=	Massa seca total de lignina solubilizada
Msls*	=	Massa seca média de lignina solubilizada
Msm	=	Massa seca total de madeira
Msm*	=	Massa seca média de madeira
Msp	=	Massa seca de polpa
Nk	=	Número kappa
ORR	=	Objective Row Ranges
Pcm	=	Percentagem de casca em massa
Pcv	=	Percentagem da casca em volume
Psm	=	Peso seco da madeira
Psp	=	Peso seco da polpa
Rbg	=	Rendimento bruto gravimétrico

Rbgm	=	Média dos rendimentos bruto gravimétrico
rpm	=	Rotação por minuto
RHS	=	Right Hand Side
s.a.	=	Seco ao ar
s.e.	=	Seco em estufa
t	=	Tonelada
TAPPI	=	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
Tmm	=	Teor de madeira em massa
UNESP	=	Universidade Estadual Paulista
USP	=	Universidade de São Paulo
US$	=	Dólar
Vsc	=	Volume sem casca total
Vsc*	=	Volume sem casca médio
Vcc	=	Volume com casca
Vv	=	Volume verde
z	=	Comprimento do segmento entre os discos ao longo do fuste
%	=	Percentagem
π	=	3,1415927
Σ	=	Somatória

MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA SELEÇÃO DE ÁRVORES MATRIZES DE *Eucalyptus grandis*

Autor: RICARDO MARQUES BARREIROS
Orientador: Prof. Dr. JOSÉ NIVALDO GARCIA

RESUMO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados individuais de densidade básica e volume da madeira, do número kappa da polpa, da lignina solubilizada, do custo de deslignificação e do rendimento bruto gravimétrico do processo de polpação, obtidos de 64 árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, procedentes de uma população comercial, situada no município de Lençóis Paulista, Estado de São Paulo, e cujas sementes foram originadas de uma Área de Produção de Sementes (APS) da Duratex S/A, município de Botucatu-SP. Quantificaram-se as variabilidades dos dados obtidos para tais propriedades, e posteriormente, considerando o objetivo de maximização de polpa não-branqueada produzida e as restrições de volume e massa de madeira, massas de ligninas residual e solubilizada, área plantada e custo do processo de polpação, é também proposto um método para seleção de árvores matrizes, através de técnicas de programação matemática. A estratégia obtida, maximiza o resultado econômico, seleciona árvores matrizes e obedece todas as limitações de produtividade, tecnológicas e organizacionais impostas pela empresa interessada, bem como atende à produção de celulose não-branqueada dentro do período de planejamento considerado.

OPTIMIZATION MODEL FOR SELECTION OF MATRIX TREES
Eucalyptus grandis

Author: RICARDO MARQUES BARREIROS
Adviser: Prof. Dr. JOSÉ NIVALDO GARCIA

SUMMARY

Individual data of basic density and volume of wood, pulp kappa number, soluble lignin, cost of pulping process as well as graviometric gross yield of pulping process were used from 64 trees of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden from a commercial population in Lençóis Paulista, SP state; the *Eucalyptus grandis*'s seeds were originally from a Seed Production Area (SPA) of Duratex S/A in Botucatu, SP. Obtained data were quantified considering objective of maximization no-bleaching pulp and volume and mass wood restriction, mass of residual and soluble lignin, planted area and pulping process cost. It has also been aimed a selection method for matrix trees through mathematical programming techniques. Obtained strategy maximizes the economical result, selects matrix trees and follows all limits of technological and organizing productivities imposed by the company. It also aims the production of no-bleaching pulp within the planned time.

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem mostrado, durante a sua existência, um crescente desenvolvimento, e isso tem implicado num aumento da demanda de madeira principalmente para uso industrial.

Até recentemente, as necessidades dessas indústrias eram supridas por madeiras de espécies que apresentavam grande produtividade. Entretanto, com a eliminação paulatina das espécies de fontes escassas e também daquelas de baixa produtividade, aliada, muitas vezes, a um difícil manejo, restringiu-se o número de espécies requisitadas. Dentre estas, as espécies de eucalipto têm se destacado como as mais promissoras para diversas utilizações.

Conforme vários autores, uma das maiores demandas de madeira nos países industrializados, inclusive no Brasil, tem sido para a produção de polpa e papel, cujo mercado, com exceção da séria crise durante os anos de 1974 e 1975, tem estado em constante prosperidade, até mesmo perante a revolução da computação, a qual fez o mercado pensar que haveria uma diminuição da demanda de papéis nesta década em que vivemos, o que, felizmente, não aconteceu.

Diante desse quadro de expectativas e da permanente concorrência de mercados, as empresas sentiram que somente atender a demanda em produtividade, mantendo a mesma qualidade dos produtos já não era suficiente para continuar estabelecidas no setor. Tiveram que evoluir na melhoria não só da qualidade de seus produtos como também da matéria-prima que os originava. Para isso, necessitou-se estudar parâmetros que pudessem servir de

indicadores de produtividade e de qualidade tanto da madeira como da polpa produzidas, os quais, uma vez considerados, refletissem no retorno esperado.

Conseqüentemente, os parâmetros utilizados nos métodos de seleção de árvores superiores vêm deixando de ser apenas parâmetros de produtividade, passando a ser parâmetros globais de produção, que se interagem entre si e culminam numa única variável, mais facilmente entendível em todos os segmentos dos negócios.

As indústrias do setor de polpa e papel, em especial, ainda necessitam da certeza de seus parâmetros organizacionais, ou seja, da sua eficiência operacional, pois sem se certificar dos níveis da sua eficiência operacional atual, não podem prever as melhorias viáveis, fixar objetivos, planejar futuras possibilidades de expansão e nem tomar decisões com retornos absolutamente garantidos.

Paralelamente, as empresas florestais têm se preocupado em desenvolver programas de melhoramento genético, os quais visam ganhos, cada vez maiores, a partir daqueles parâmetros que se julgam como indicadores de produtividade e qualidade da madeira e polpa produzidas. Para isto, utilizam de métodos de seleção que vão desde a seleção massal fenotípica até métodos mais especializados e mais caros como marcadores moleculares, aplicados aos programas de melhoramento.

Diante disso, surge a necessidade de basear-se em um método que ajude a tomada de decisões, que neste caso é o da seleção de árvores matrizes para produção de clones comerciais. O ideal seria considerar que os parâmetros tidos como principais devessem ser avaliados nos vários ciclos de corte previstos, combinados a uma boa capacidade de adaptação. Também seria altamente estratégico contar com um banco de germoplasma e clonal desse material estudado para decisões a longo prazo.

Esse modo de seleção, ou seja, essa possível forma de selecionar árvores matrizes para produção de clones comerciais pode ser desenvolvida com o auxílio de uma ferramenta de otimização, que possa indicar, com

segurança, a melhor decisão a ser tomada desenvolvida com o auxílio da técnica de Programação Linear. Essa ferramenta, levaria em conta parâmetros industriais correlatos e organizacionais da empresa como área plantada e capacidade de produção, as características da madeira como densidade básica (ou peso específico), e também o rendimento do processo de deslignificação, o consumo específico de madeira, a qualidade da polpa e, por fim, o custo do processo de polpação.

2 OBJETIVOS

Este estudo partiu de uma pré-seleção fenotípica de características silviculturais das melhores árvores de um povoamento comercial de *Eucalyptus grandis* frente a diversas técnicas de seleção, principalmente com o advento da informática, as quais têm sido colocadas à disposição dos gerenciadores florestais.

Nesse sentido, pretende-se apresentar uma contribuição inédita que é a composição de um modelo[1] capaz de auxiliar na definição de estratégias e na tomada de decisão na seleção de árvores matrizes para fins clonais. Este modelo prevê a otimização do rendimento e qualidade, tanto da madeira quanto da polpa produzidas, tendo sido alcançados os seguintes objetivos específicos:

-Maximizar a produção de polpa não-branqueada;

-Atender às características de qualidade da madeira e da polpa produzidas;

-Selecionar intensivamente árvores matrizes, superiores em relação à população base, sem reduzir drasticamente a variabilidade genética de forma a atender as necessidades ou objetivos futuros de seleção de novos indivíduos a partir de outras características.

---

[1] Modelo é o termo comumente usado com a finalidade de exibir aspectos e características de alguns objetos (Williams, 1993), ou seja, é a representação de algo real.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Considerações gerais

Na literatura, procurou-se informações que mostrassem relações entre os parâmetros de produtividade, organizacionais e de qualidade da madeira e polpa produzidas, na tentativa de se obter indicadores, os quais, uma vez utilizados na aplicação do método proposto, auxiliassem, efetivamente, na seleção das melhores árvores matrizes. Entretanto, este trabalho procurou sair um pouco da convencional linha ortodoxa de pesquisa para uma linha mais holística, na intenção de ajudar a tomada de decisão quanto à seleção de árvores matrizes, abordando aspectos macros de importância produtiva e tecnológica.

Taylor (1973), estudando variações das propriedades da madeira de *E. grandis*, na África do Sul, concluiu que as diferenças observadas na taxa de crescimento, peso específico e comprimento de fibras eram maiores entre parcelas de um mesmo local do que entre locais distintos. As diferenças observadas entre árvores, para esses parâmetros, sustenta a proposição de que cada indivíduo tem um inerente potencial para produzir características próprias.

Barret et al. (1975), já afirmavam, naquela época, que haviam poucas evidências de que o sítio influi na densidade básica observada em *E. grandis*, e que as pequenas variações existentes são desprezíveis quando comparadas com as variações entre árvores.

A versatilidade da madeira é demonstrada por uma extensa variedade de produtos. Esta variedade é o resultado de um espectro de desejáveis características ou propriedades que está disponível entre muitas espécies de madeira. Freqüentemente, várias propriedades da madeira se interagem entre si e portanto, podem ser, igualmente, importantes para a qualidade e/ou quantidade de um produto final.

Muitos gêneros de madeira têm propriedades físicas, químicas e mecânicas tidas como de qualidade suficiente para diversos fins. Eficientes utilizações ditam que esses gêneros devem ser competitivos para exigentes usos através do entendimento dessas propriedades.

O *Eucalyptus* spp tem demonstrado ser um dos mais produtivos, avançados e competitivos do mundo. Essas vantagens, somadas a algumas propriedades de qualidade da madeira, têm sido aproveitadas principalmente pelas indústrias de polpa e papel.

A otimização do produto final, em qualquer processo de produção, é um assunto complexo que, executado adequadamente, pode mostrar-se altamente vantajoso. Todavia, executado incorretamente, pode mostrar-se, apenas, muito dispendioso. O objetivo, pura e simplesmente, deve ser a otimização da produção de polpa não-branqueada, que proporcionará a máxima quantidade de polpa a partir da madeira de algumas das 64 árvores pré-selecionadas, em índices desejados e ao mais baixo custo de deslignificação possível.

3.2 Seleção genética

A seleção é o mais importante dos fatores que produzem mudanças genéticas nas populações, pois é sobre o material selecionado que serão concentrados os trabalhos futuros dos programas de melhoramento. Desse modo, os objetivos almejados devem estar bem definidos já no início do processo de seleção.

Quando praticada pelo homem, a seleção visa explorar a variabilidade natural existente numa dada população, de uma maneira direcionada, procurando favorecer, para reprodução, apenas aqueles indivíduos que manifestem características consideradas desejáveis para os programas de melhoramento, em função do uso a ser dado ao produto final (Fonseca & Kageyama, 1978).

A seleção artificial é uma atividade básica em todos os programas que visam o melhoramento genético de plantas. No caso das espécies florestais, que apresentam elevada variabilidade e que ainda não foram submetidas a processos de melhoramento, a seleção massal e individual é de aplicação prática bastante eficiente (Kikuti & Monteiro, 1984).

A identificação de indivíduos superiores para a composição das populações de melhoramento requer a definição de critérios eficientes de seleção, de modo a garantir o sucesso do empreendimento (Cotterill & Dean, 1990)

Pinto Jr. (1978), diz que o principal objetivo dos testes de progênies[2] é a determinação da variabilidade genética entre e dentro de progênies, objetivando, dar subsídios à seleção de árvores superiores para a implantação de populações clonais.

Dentre as principais informações obtidas nos testes de progênies, destacam-se as variâncias genética e fenotípica, herdabilidade e, principalmente, os ganhos de seleção (Pires et al., 1996). Entretanto, seu manuseio e seus métodos de seleção dependem do material genético envolvido e das estratégias de condução do programa de melhoramento.

Segundo Assis et al. (1983), diversas procedências ou até mesmo progênies foram introduzidas no país, como meio de obtenção de material genético necessário ao desenvolvimento de programas de melhoramento

---

[2] Progênie significa descendência, prole.

florestal, cuja base é a seleção de características que variam entre indivíduos de uma população.

Callaham & Duffield (1962) e Van Buijtenen (1976) citados por esse mesmo autor, concluem que a eficiência de um determinado método de melhoramento, como a seleção massal, depende em parte do valor da herdabilidade do caráter a ser melhorado além de sua correlação genética com outros caracteres, da intensidade de seleção e da variabilidade genética da população.

Ainda Assis et al. (1983), estudando as estimativas das herdabilidades da altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume, todas no sentido restrito em três grupos de famílias de *E. grandis*, admitidos como sendo de meios-irmãos e obtidas por polinização livre, verificaram que houve variabilidade a nível de progênies no material testado. As herdabilidades de altura, DAP e volume cilíndrico foram altas, possibilitando a utilização da seleção massal como boas possibilidades de melhoramento dessas características. As correlações entre estas foram positivas, altas, e significativas, possibilitando seu melhoramento por meio da seleção de uma delas. Pela facilidade de medição e maior precisão das avaliações, o autor sugere que o DAP possa ser o caráter considerado na seleção.

Segundo Almeida & Silva (1997), alguns trabalhos como Vasconcelos Dias & Cláudio-da-Silva Júnior (1985); Carpim (1987); Demuner et al. (1991); Pereira et al. (1994); Dean, (1995) e Silva et al. (1996), têm procurado incorporar as características tecnológicas da madeira, ao processo de seleção de clones, com o rendimento e qualidade do produto.

Para as variáveis relacionadas à qualidade da madeira e da polpa de eucalipto são, entretanto, poucas as informações encontradas na literatura. Alguns estudos têm sido realizados no sentido de estimar a herdabilidade de características da madeira e da polpa de eucalipto (Demuner et al., 1991 e Bertolucci et al., 1992).

Diante disso, deve-se levar em conta também, que a condução de um programa de melhoramento genético voltado para a qualidade da madeira é algo muito trabalhoso, pois existe a necessidade de se avaliar os materiais genéticos nas condições mais próximas daquelas onde os mesmos serão plantados (Ramalho et al., 1991), pois um clone superior num ambiente pode não sê-lo em outro, uma vez que tanto o genótipo quanto o ambiente têm um papel decisivo na manifestação da qualidade da madeira e fenotípica da árvore.

Diversos parâmetros podem ser utilizados para a determinação da qualidade da madeira, porém variam conforme a característica do produto final. Podem ser classificados como silviculturais, dendrométricos, físicos, químicos, energéticos, tecnológicos e outros.

3.3 Parâmetros silviculturais e dendrométricos

Uma das espécies mais plantadas e conhecidas em programas de reflorestamentos no Brasil é o *Eucalyptus grandis*. Essa espécie apresenta árvores com desenvolvimento excepcional, alturas excelentes e ótimos diâmetros. Seu crescimento é monopodial, com ramificações muito finas e boa desrama natural (Busnardo et al.,1978).

A maior parte dos plantios desta espécie, até a década de 80, eram realizados a partir de sementes, cujas qualidades genéticas e fisiológicas nem sempre eram as melhores, resultando no comprometimento quantitativo e qualitativo dos mesmos.

O espaçamento do plantio afeta a produtividade e o caráter da madeira produzida. Smith (1962), já naquela época cita que o número ótimo de plantas por hectare é o que terá condições para crescer e tirar o maior e melhor proveito dos fatores de crescimento, produzindo o maior volume de produtos florestais, com dimensões, forma e qualidade mais convenientes.

Sturion et al. (1988), verificando a influência do espaçamento e da idade de corte na qualidade da madeira, como subsídio para o aprimoramento das

técnicas de implantação e condução de povoamentos de *Eucalyptus viminallis* para produção de energia, concluíram que a densidade básica aumentou, em média, 8% com o aumento da idade de corte de 4 para 7 anos.

De uma forma geral, o limite de aproveitamento do eucalipto para polpa é o seu diâmetro, que não deve ser maior do que 30 ou 35cm. Madeiras de diâmetros maiores podem ser usadas para serrarias e daí para a indústria (Correa, 1995).

3.4 Parâmetros físicos

O conhecimento das características e propriedades da madeira torna-se importante quando se visa a sua industrialização.

A densidade básica é um dos mais importantes indicadores de qualidade da madeira e por isso, seu estudo tem merecido muita atenção nos programas de melhoramento florestal (Resende et al., 1990) e portanto tem sido estudada conjuntamente com outras características fenotípicas da árvore. Além de apresentar correlação com outras características, é de determinação fácil e simples.

A densidade básica é definida como a relação entre o peso seco de uma amostra de madeira e o volume dessa mesma amostra, obtido numa umidade acima do ponto de saturação das fibras. Varia em função de fatores como os genéticos, silviculturais, edafoclimáticos, e outros.

Ferreira (1968), observando a alta variabilidade entre diferentes espécies e entre árvores da mesma espécie, sugeriu que os programas de melhoramento genético florestal do Brasil, em curso na época, devessem considerar a densidade como índice de seleção de árvores matrizes, a exemplo do que já vinha sendo feito em outros países.

Kageyama et al. (1983) estudaram a variação genética da densidade básica em progênies oriundas de árvores selecionadas de *E. grandis* em três locais no Estado de São Paulo, e constataram a existência de variações

genéticas significativas entre as progênies. Entretanto, a correlação entre a altura da planta e a densidade básica da madeira não foi significativa, revelando uma independência entre essas duas características.

A densidade básica da madeira tem sido considerada como a principal característica a influenciar, positiva ou negativamente, no custo da madeira produzida, no custo e no rendimento do processo de polpação e na qualidade dos cavacos picados. É indicada também como um dos mais importantes parâmetros na determinação da qualidade da madeira por ser de fácil determinação e por estar diretamente relacionada às características do produto final (Shimoyama & Barrichelo, 1998).

Manfredi (1985) e Barrichello et al. (1983) constataram que a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp tende a decrescer e depois aumentar no sentido base-topo, enquanto que no gênero *Pinus* spp a mesma tende a diminuir com a altura.

Souza (1986) detectou variações da densidade básica da madeira ao longo do tronco, sentido base-topo, em árvores de eucalipto, porém, sem obediência a um padrão bem definido. Manfredi & Barrichelo (1985) concluíram que a densidade básica da madeira de eucalipto se comporta, nesse mesmo sentido, da seguinte maneira: alta na base, decrescente até próximo da metade da altura da árvore e elevando-se novamente para chegar, ou não, ao mesmo valor da densidade básica da base, dependendo da espécie, idade, sítio, etc. Fonseca (1996) cita também que Vital et al. (1986) concluem, que a densidade básica tem mostrado tendência de aumento no sentido medula-casca. Em face das variações da madeira ao longo do tronco, é comum a retirada de discos de aproximadamente 2,5 cm de espessura ao longo da altura comercial da árvore para amostrá-la de forma representativa.

Em híbridos de *E. grandis,* de 7 anos de idade, Vasconcelos & Silva Júnior (1985) encontraram densidade básica variando de 418 a 666 kg/m^3 e ainda observaram que o ponto de maior rendimento em produção de polpa depurada ocorreu em torno de 470 kg/m^3.

Segundo Foelkel et al. (1990); Shimoyama (1990) e Wher & Barrichelo (1992) citados por Fonseca et al. (1996), a densidade básica influencia também no rendimento e custo dos processos de produção de madeira e polpa em virtude do uso de um menor volume de madeira e cavacos, respectivamente, para uma mesma quantidade de massa. Com isso, a limitada capacidade volumétrica do digestor é aumentada, em termos de massa, com a elevação da densidade básica, incrementando o potencial de produção da indústria, segundo Vasconcelos Dias & Silva Júnior (1985), citados pelo mesmo autor. Por outro lado, o aumento da densidade básica leva também a uma maior dificuldade de picagem das toras, implicando numa maior proporção de cavacos de maiores dimensões, os quais terão uma mais difícil impregnação pelo licor de deslignificação kraft[3] e consequentemente maior teor de rejeitos na polpação e menor rendimento em polpa depurada.

Face à diversidade de tipos de papéis demandados pelo mercado e da possibilidade de alterações das propriedades decorrentes do processo de fabricação de papéis, não existe um único valor de densidade básica a considerar para este uso. Assim, de uma maneira geral, a tendência é a de estabelecer a faixa de 450 a 550 kg/m^3 para madeira de eucalipto. Valores menores de densidade básica implicam na redução do rendimento em polpa, base volume de madeira (Foelkel, 1978).

3.5 Parâmetros químicos

A madeira é formada sobretudo das seguintes substâncias, listadas em ordem decrescente de quantidades presentes: celulose, lignina, hemiceluloses, extrativos e cinzas minerais. A celulose é um polímero linear com alta massa molecular que sob degradação química rende simples glicoses como produto

---

[3] Kraft é o nome dado ao processo de polpação no qual se utiliza Hidróxido de Sódio e Sulfeto de Sódio.

básico. É o maior constituinte, compreendendo aproximadamente 50% da substância madeira base peso seco. A lignina, como a celulose, possui uma estrutura química macromolecular, porém sua cadeia tridimensional é mais complexa. Como substância química, é intratável, insolúvel e aderida à celulose. Compreende de 16 a 25% nas folhosas e 23 a 33% nas coníferas. A deslignificação das fibras da madeira tem grande valor comercial quando reconstituídas em papel. As hemiceluloses estão intimamente associadas com a celulose "in natura" e, como esta, são unidades de polímeros constituídos de moléculas simples de açúcares. As folhosas contém, em média, de 20 a 30% de hemiceluloses. Os extrativos não fazem parte da estrutura da madeira. Entretanto, eles contribuem com certas propriedades da madeira como cor, odor, gosto, baixa resistência, densidade, higroscopicidade e inflamabilidade. Os extrativos podem compor de 5 a 10% da substância madeira, dependendo de fatores como espécie, condições de crescimento e idade. As cinzas minerais compreendem de 0,1 a 3%, se bem que valores consideravelmente mais altos são ocasionalmente relatados. Cálcio, potássio, fosfatos e sílica são os constituintes mais comuns (Estados Unidos, 1987).

Entretanto os componentes químicos da madeira variam em termos de percentagem, idade e localização ao longo da árvore. Hillis et al. (1984) comentam que há grande variabilidade na quantidade de extrativos dentro do gênero *Eucalyptus* spp, sendo que no *Eucalyptus grandis* foi evidenciado um decréscimo no sentido base-topo e um aumento no sentido medula-casca.

Fonseca et al. (1996) comentam que existe um consenso entre alguns autores de que os teores de extrativos e lignina da madeira correlacionam-se inversamente com o rendimento do digestor.

3.6 Parâmetros energéticos

A madeira destinada para fins energéticos possui como característica principal a elevada densidade, o que por exemplo, no caso do carvão vegetal, este resulta num carvão mais denso com uma maior produção gravimétrica por unidade de forno. No entanto, o carvão vegetal de boa qualidade depende também da constituição química da madeira (Vital et al., 1986). Assim, Brito & Barrichelo (1977) e Martins (1980) verificaram que um aumento no teor de lignina da madeira ocasiona um aumento no rendimento e no teor de carbono fixo. Segundo ainda Vital et al. (1986), a densidade básica da madeira é essencialmente influenciada pela espessura da parede celular bem como do tipo de célula que forma essa madeira. Isto significa que o aumento da densidade básica não implica, necessariamente, numa melhor constituição química para a produção de carvão vegetal ou energia de uma forma geral.

3.7 Parâmetros tecnológicos

Muitos estudos têm sido realizados com o intuito de avaliarem-se os efeitos das diversas propriedades da madeira nos mais diferentes processos utilizados e produtos obtidos.

O processo kraft, que trata-se da utilização de sulfeto além de soda no processo de deslignificação, já foi considerado um dos processos dominantes para a produção de polpa e as indústrias, em geral, também já tiveram realizadas com a versatilidade e as vantagens desse processo. Porém, ultimamente, as indústrias vêm sofrendo pressões oriundas de restrições energéticas, econômicas e ambientais. O processo kraft ainda apresenta outras restrições como por exemplo o baixo rendimento, a produção de compostos odoríficos de enxofre, responsáveis por consideravel poluição atmosférica, coloração escura da polpa e elevado capital de investimento (Gomide et al., 1980). Por outro lado, várias indústrias têm optado, com sucesso, como

alternativa para a melhoria dos processos convencionais de polpação, por alguns aditivos, principalmente quando incrustações e impregnação não constituem mais problemas.

Diante disso, tem sido comum o interesse de pesquisadores e de indústrias de celulose por alguns compostos de quinona[4], principalmente a antraquinona. Gomide et al. (1980) consideram este composto como sendo o primeiro aditivo realmente eficaz e de valor prático para a polpação alcalina, enfatizando que, quando adicionada, mesmo em quantidades pequenas (500 gramas por tonelada de madeira), acelera fortemente a polpação kraft, aumenta significativamente o rendimento, acelera a deslignificação, consome menos energia (Vasconcelos Dias, 1979) e reagentes químicos e melhora a qualidade da polpa. Em vista disso, aliado ao mesmo processo utilizado pela empresa de interesse, optou-se, no presente estudo, por utilizar-se do processo de deslignificação kraft-Antraquinona, alinhando-se ao moderno conceito de produção de celulose das empresas de ponta.

Brown et al. (1952), comentam que a densidade básica da madeira é essencialmente relacionada à espessura da parede celular, das dimensões e dos tipos de células e, em menor proporção, da quantidade de extrativos presentes por unidade de volume. As árvores de crescimento rápido não são afetadas pela adubação.

As propriedades químicas, os teores de lignina e extrativos e a densidade básica constituem-se nas características da madeira que apresentam maior impacto sobre a produtividade da indústria kraft de eucalipto e sobre os custos de produção. A existência de correlações entre esses dois grupos têm sido trabalhadas, porém os resultados obtidos são de certa forma contrastantes (Vasconcelos Dias & Silva Júnior, 1985 e Shimoyama, 1990).

Diferentes autores concordam que existe certa correlação negativa entre densidade e vigor. Para as coníferas, quanto maior o ritmo de crescimento (diâmetro, altura ou volume), menor tem sido a densidade. Já para as folhosas,

concordam que não há tal correlação. Árvores de maiores diâmetros e alturas, necessariamente não possuem menor densidade, mesmo dentro de um povoamento.

Zobel et al. (1989), estudando alguns parâmetros da madeira, observaram que a densidade básica apresentou alta correlação com o rendimento, qualidade e propriedades de resistência da polpa.

Há controvérsias também quanto à possível correlação entre o rendimento gravimétrico em polpa (relação entre a massa de polpa seca produzida e a massa de madeira seca empregada) e a densidade básica. Enquanto que existe certa correlação nas coníferas, o mesmo não é verificado nas folhosas. Tal fato é devido à elevada complexidade das folhosas quanto às suas propriedades químicas e anatômicas.

O rendimento gravimétrico e a densidade básica são parâmetros que indicam o consumo específico de madeira na produção de polpa. Quanto menos densa a madeira, maior será o volume necessário na produção de uma mesma massa de polpa. Portanto, verifica-se elevada correlação entre a densidade básica e o rendimento volumétrico (m^3 sólidos de madeira por tonelada seca de polpa).

Dentre os principais parâmetros indicadores de qualidade da polpa não branqueada está o número kappa[5], o qual, segundo Foelkel (1979), é uma propriedade que deve ficar o máximo possível ao redor da média, que para o eucalipto é de 17,2 a 20,8, pois valores muito altos ou muito baixos são prejudiciais. Esse intervalo significa que a polpa proveniente do digestor deve fornecer o número kappa nesta faixa, pois valores maiores ou menores são indesejáveis, a não ser em condições especiais.

---

[4] Quinonas são dicetonas cíclicas insaturadas, em que há conjugação das duplas ligações.

[5] Número kappa refere-se à quantidade de lignina residual na polpa; é por definição, o número de mililitros de uma solução decinormal de Permanganato de Potássio, consumida por um grama de polpa seca em estufa, sob certas condições específicas e controladas.

3.8 Programação linear: orígens e usos

A programação linear é um método matemático freqüentemente útil e bastante utilizado em situações de tomada de decisão onde se quer a escolha de uma única alternativa dentre diversas.

A Programação Matemática ou Linear propriamente dita, foi utilizada, inicialmente, durante a Segunda Grande Guerra como método de obtenção de caminhos que minimizassem os custos de transporte dos aliados, na distribuição de tropas, suprimentos de armas, munições, alimentos, medicamentos e demais ítens que compõem os elementos logísticos militares (Rodriguez, 1987 e Caixeta Filho, 1997).

Desde então, o método tem sido aplicado a qualquer tipo de problema que permita a definição de um objetivo em termos quantitativos. Tem sido utilizado como instrumento de pesquisa por economistas agrícolas (Dossa, 1994) e florestais na otimização e organização dos recursos e empreendimentos rurais para sugerir os ajustes desejáveis.

Trata-se de um método de solução de problemas que envolvem a minimização ou a maximização, ou seja, a otimização do valor de uma dada função matemática (função objetivo), a qual está condicionada a outras expressões matemáticas expressas na forma de equações e/ou inequações (Caixeta Filho, 1997).

A programação linear permite o tratamento simultâneo de todas as variáveis e restrições e vai, de fato, resolver um sistema de equações simultâneas para um conjunto de respostas, bem como otimizar a solução do problema. A quantidade a ser maximizada poderia, por exemplo, representar o lucro de uma determinada propriedade ou unidades de produtos produzidas por um determinado setor. A quantidade a ser minimizada poderia, por exemplo, ser o custo de transporte entre orígens e destinos de uma determinada carga ou o custo do processamento de produtos como insumos e rações.

São muitas as possibilidades de utilização das técnicas de Programação Linear, aplicadas em diversos setores de desenvolvimento. No setor florestal, especificamente, são várias as referências bibliográficas que apontam a sua aplicação. Exemplos desses enfoques encontram-se em Novaes (1978), Hillier & Lieberman (1988), Seixas & Widmer (1993) e Krajcic (1997) que destacam a minimização de custos com transporte de madeira, equipamentos ou pessoal na procura de caminhos ótimos, visando a diminuição do tamanho da frota e/ou do número de viagens; nos trabalhos desenvolvidos por Chauduri & Sen (1987) e Gerasimov (1996) que estudaram a minimização dos custos de colheita de madeira quanto aos sistemas de retirada da madeira de dentro da floresta (transporte primário); em Dias et al. (1984), Rodriguez (1986), Rodriguez (1987), Martini (1988), Carnieri (1989), Rodriguez & Moreira (1989), Taube-Netto (1989), Caixeta Filho (1993), Gong (1994), Palander (1995), Torell & Drumond (1997) e Diaz-Balteiro & Romero (1999) que destacam os estudos de planejamento e gerenciamento otimizados como a elaboração de cronogramas de operações silviculturais, reformas de talhões e outras; em Hernandez Diaz (1985), McKenney (1990), Hof & Joyce (1992), Hoganson & McDill (1993), Yang & Yang (1995), Paivinen et al. (1996), Borges et al. (1997), Batabyal (1998) e Strange et al. (1999) que citam estudos de manejo de florestas naturais e implantadas; em Mallawaarachchi et al. (1996), Naesset (1997) e Palander (1997) que atuam nos estudos de otimização de Sistema de Informação Geográfica (SIG) aplicados em manejo de recursos naturais; em McKillop (1996), Naesset (1997) e Sarkar (1998) que trazem estudos de otimização do desenvolvimento sustentável em recursos florestais; em Evans (1996) e Mourelatos (1998) que destacam os estudos de otimização de fontes de energia renovável; em Pickens et al. (1997), Arnofor (1997), Rowse (1998) e Laroze (1999) que atuam nos estudos de otimização de preços de produtos florestais levando em conta as operações comerciais, estoques mínimos, suprimentos e outras; em Hengsdijk et al. (1994), Kruseman & Bade (1998) e Zander & Kächele (1999) que estudaram a otimização do uso sustentável da terra; em

Hitrec et al. (1990), Maness & Adams (1991), Sim (1991), Usenius & Nepvev (1996), Harding & Steele (1997) e Kapp et al. (1999) que estudaram a otimização do uso de toras e resíduos em serrarias; em Andersson (1999) que estudou a otimização do melhoramento genético e em Menz & Grist (1995), Menz et al. (1996) e Zadnik et al. (1997) que estudaram a otimização de sistemas agroflorestais. Entretanto, não foram encontradas referências que indicassem a aplicação da Programação Linear em programas de seleção de árvores matrizes e nem para a produção de polpa, na obtenção de modelos que orientassem e determinassem a maximização do retorno obtido.

Partindo-se do princípio de que é selecionarem-se árvores matrizes para aumentar-se a eficiência de uma dada empresa florestal, pode-se pensar em diversas alternativas. Dentre elas estão as possibilidades, mutuamente excludente ou mutuamente complementares, obter-se a maximização da receita bruta ou do lucro, a maximização da massa ou da qualidade de polpa, a minimização de custos, a minimização da qualidade de matéria-prima para a produção de uma mesma quantidade de produtos e muitas outras. Tudo isso deve ser feito sem deixar de levar em conta, a obrigatoriedade de se respeitarem-se determinados limites dos recursos disponíveis envolvidos.

O planejamento da seleção de florestas verticalizadas deve ser conduzido através de um ou mais métodos que considere simultaneamente os objetivos e as restrições que caracterizam tal sistema produtivo. Escolher a(s) melhor(es) árvore(s) torna-se quase impossível quando técnicas de análise simultânea e recursos computacionais não estão disponíveis. Das alternativas convencionais, como por exemplo o uso de softwares como o Access, as planilhas eletrônicas ou até mesmo uma análise multivariada dos dados, podem indicar os possíveis resultados. Porém, acredita-se que o uso dessas planilhas eletrônicas deixariam a desejar quando a estratégia é, por exemplo, maximizar um determinado objetivo, visto que tais programas se utilizam de comandos estanques. Conseqüentemente o resultado vai depender da ordem em que o trabalho de seleção é efetuado. Logo, faltam-lhes uma sensibilidade de

ponderação das amplitudes dos parâmetros utilizados. Isto já não acontece quando se utiliza da Programação Matemática, particularmente da Programação Linear, como instrumento de modelagem.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração do presente trabalho foram utilizadas as propriedades físicas e químicas da madeira, bem como o rendimento de polpação de 64 árvores de *Eucalyptus grandis* de 7 anos de idade.

Os dados dendrométricos como diâmetro à altura do peito (DAP) com casca, alturas comercial (HC) e total (HT), diâmetros (D) e comprimentos das toras (Z) foram tomados no campo.

A preparação das amostras a partir dos discos ocorreram nas condições seca ao ar (s.a.), aproximadamente 12% de umidade média e as análises químicas da madeira e da polpa ocorreram nas condições absolutamente secas (a.s.).

Procederam-se as análises junto aos laboratórios dos Departamentos de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) do Campus de Botucatu, e da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP) do Campus de Piracicaba, ambas situadas no Estado de São Paulo.

4.1 Material

O material pré-selecionado para aplicação do método de seleção industrial de árvores matrizes foi constituído por 64 árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, procedentes de uma população comercial plantada em 01/12/91, espaçamento 3m x 2m, na Fazenda Turvinho 2 da empresa LWART – Agro-industrial Ltda., situada no município de Lençóis Paulista,

Estado de São Paulo, e cujas sementes foram originadas de uma Área de Produção de Sementes (APS) da Duratex S/A, município de Botucatu-SP.

O *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden é uma espécie da família *Mirtaceae*, do gênero *Eucalyptus* e sub-gênero *Simphyomirtus*. É originária da Austrália e atualmente é uma das mais plantadas no Brasil, uma vez que suas árvores apresentam excelentes alturas e diâmetros, crescimento monopodial a uma elevada taxa de incremento médio anual (IMA) alcançando a ordem de $70m^3$/há com ramificações finas e boa desrama natural.

A população estudada localiza-se em área de LVd (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico), textura franco-arenosa, topografia suavemente ondulada, com temperatura média anual de 21°C e pluviosidade média anual de 1500 mm.

4.2 Métodos

4.2.1 Programação linear

Muitas aplicações da ciência fazem uso de modelos (Williams, 1993). As técnicas de programação matemática, em particular da programação linear, se enquadra sob a ótica de modelagem normativa, isto é, procura propor um determinado padrão para a solução de um determinado problema (Caixeta Filho, 2000).

A escolha de uma ou mais alternativas que atendem a um único objetivo específico e ao mesmo tempo respeitem a uma série de restrições, pode ser auxiliada pela utilização de técnicas de programação matemática.

Como método, a programação matemática foi desenvolvida para a resolução de problemas que envolvem a maximização ou a minimização do valor de uma dada função matemática, chamada de função objetivo, sujeita a algumas restrições também expressas na forma de equações matemáticas (Scarf, 1990).

Quando a função a ser otimizada, bem como as restrições são expressas por meio de expressões lineares, o problema passa a ser tratado como um problema de programação linear (Hillier & Lieberman, 1988), isto é, todas as expressões envolvidas apresentam-se necessariamente dependentes de apenas variáveis de primeiro grau.

Segundo Rodriguez (1987), o termo linear não é tão restritivo quanto pode parecer. Isto significa que os coeficientes usados expressam um comportamento constante, ou apresentam uma relação linear entre as variáveis. Por exemplo, o fator de produção e o produto final, e os preços pagos pelos recursos ou recebidos pelos produtores são constantes. Entretanto, isto não quer dizer que retornos decrescentes não possam ser incorporados aos problemas de programação linear.

Segundo ainda este mesmo autor, a programação linear utiliza-se de procedimentos matemáticos baseados em relações lineares e inequações, as quais permitam que não se exija necessariamente o uso integral dos recursos disponíveis e que a quantidade de qualquer atividade explorada ou produto seja igual ou maior que zero. Desta forma, assegura-se que a quantidade utilizada de recursos seja menor ou igual à quantidade disponível e que a produção seja maior ou igual a zero.

O problema de programação linear proposto, quanto à sua formulação, consta basicamente de uma função objetivo e um conjunto de restrições em forma de desigualdades, dentre as quais se encontram também as condições de positividade. Tais formulações são apresentadas mais adiante, no decorrer do trabalho.

Segundo Dossa (1994), o conceito mais importante depreendido de programação linear é o de valor dual ou preço-sombra, que indica o custo de oportunidade da utilização de uma unidade adicional dos fatores mais restritivos. O valor dual é interpretado como o custo marginal, existindo uma significação econômica ligada ao dual. Se, dentro de uma solução ótima, o fator restritivo não estiver saturado, o custo marginal da variável dual correspondente

será zero. Economicamente, isso significa que, se um dos recursos não é utilizado, a sua plena capacidade de maneira ótima, seu custo contábil ótimo é nulo.

Nos resultados, os valores duais explicitados permitem encontrar o custo de oportunidade de cada fator de produção, notadamente, os mais restritivos. Nesses fatores restritivos, verifica-se a posibilidade de intervenção dos tomadores de decisão no sentido de melhorar a eficiência teórica do sistema de produção. A saída dos resultados na forma de listagem completa do programa é apresentado no apêndice final.

O programa linear proposto, possui 64 alternativas e 70 restrições, e pode ser formulado por extenso ou em notação indicial ($\sum$).

Quando escrita por extenso, a função objetivo de 64 variáveis, sujeita a 70 restrições, apresenta a seguinte forma:

$$\text{Max. } Msp = Dba_1.Rbg_1.Vsc_1 + \ldots + Dba_{64}.Rbg_{64}.Vsc_{64} \qquad (1)$$

onde:

Msp = Massa seca de polpa a ser maximizada, em t;

Dba_i = Densidade básica da madeira da árvore *i*, em t/m^3;

Rbg_i = Rendimento bruto gravimétrico da polpação da árvore *i*, em %;

Vsc_i = Volume sem casca necessário de madeira da árvore *i*, em m^3;

$i = 1, \ldots, 64$.

Sujeita a:

- Massa seca total de madeira consumida/ano $\leq$ Msm*;

$$Dba_1.Vsc_1 + \ldots + Dba_{64}\, Vsc_{64} \leq Msm^* \qquad (2)$$

onde:

Msm* = Massa seca total média consumida por ano, em t.

- Massa seca total de polpa (Mp) produzida por ano ≥ 87.120 t;

$$Dba_1.Rbg_1.Vsc_1 + ... + Dba_{64}.Rbg_{64}.Vsc_{64} \geq 87.120 \quad (3)$$

- Massa seca total de lignina residual (Mslr) produzida por ano ≤ Mslr*;

$$Dba_1.Rbg_1.K_1.Vsc_1.+ ... + Dba_{64}.Rbg_{64}.K_{64}.Vsc_{64} \leq Mslr^* \quad (4)$$

onde:

K_i = Percentagem de lignina residual encontrada na polpa da árvore i, em t;

Mslr* = Massa seca total média de lignina residual produzida por ano, em t.

- Volume total sem casca de madeira (Vsc) consumido por ano ≤ Vsc*;

$$Vsc_1 + ... + Vsc_{64} \leq Vsc^* \quad (5)$$

onde:

Vsc* = Volume total médio sem casca de madeira consumido por ano, em m^3.

- Custo total (C) da polpação ≤ C*;

$$C_1.Vsc_1 + ... + C_{64}.Vsc_{64} \leq C^* \quad (6)$$

onde:

Ci = Custo de deslignificação da árvore *i*, em US$/$m^3$;

C* = Custo total médio de deslignificação por ano, em US$.

- Massa seca total de lignina solubilizada (Msls) por ano ≥ Msls*;

$$Dba_1.Ls_1.Vsc_1 + ... + Dba_{64}.Ls_{64}.Vsc_{64} \geq Msls^* \quad (7)$$

onde:

Ls_i = Percentagem de lignina solubilizada da árvore *i* no processo de deslignificação, em %;

Msls* = Massa seca total média de lignina solubilizada por ano, em t.

- Área (Ar) utilizada por ano ≤ Ar*;

$$(1/Vv_1/1667).Vsc_1 + ... + (1/Vv_{64}/1667).Vsc_{64} \leq Ar^* \quad (8)$$

onde:

Vv_i = Volume verde da árvore i, em m^3;

1667 = Número de árvores plantadas/ha em espaçamento 3m x 2m;

Ar* = Área média utilizada por ano, em ha.

- Volume total sem casca de madeira (Vsc_i) consumido de cada árvore *i* por ano ≤ Vsc*;

$$Vsc_1 \leq Vsc^* \quad (9)$$

$$Vsc_2 \leq Vsc^* \quad (10)$$

$$Vsc_3 \leq Vsc^* \quad (11)$$

$$Vsc_4 \leq Vsc^* \quad (12)$$

$$Vsc_5 \leq Vsc^* \quad (13)$$

$$Vsc_6 \leq Vsc^* \quad (14)$$

$$Vsc_7 \leq Vsc^* \quad (15)$$

$$Vsc_8 \leq Vsc^* \quad (16)$$

$$Vsc_9 \leq Vsc^* \quad (17)$$

$$Vsc_{10} \leq Vsc^* \quad (18)$$

$$Vsc_{11} \leq Vsc^* \quad (19)$$

$$Vsc_{12} \leq Vsc^* \quad (20)$$

$$Vsc_{13} \leq Vsc^* \quad (21)$$

$$Vsc_{14} \leq Vsc^* \quad (22)$$

$$Vsc_{15} \leq Vsc^* \quad (23)$$

$$Vsc_{16} \leq Vsc^* \quad (24)$$

$$Vsc_{17} \leq Vsc^* \quad (25)$$

$$Vsc_{18} \leq Vsc^* \quad (26)$$

$$Vsc_{19} \leq Vsc^* \quad (27)$$

$$Vsc_{20} \leq Vsc^* \quad (28)$$

$$Vsc_{21} \leq Vsc^* \quad (29)$$

$$Vsc_{22} \leq Vsc^* \quad (30)$$

$$Vsc_{23} \leq Vsc^* \quad (31)$$

$$Vsc_{24} \leq Vsc^* \quad (32)$$

$$Vsc_{25} \leq Vsc^* \quad (33)$$

$$Vsc_{26} \leq Vsc^* \quad (34)$$

$$Vsc_{27} \leq Vsc^* \quad (35)$$

$$Vsc_{28} \leq Vsc^* \quad (36)$$

$$Vsc_{29} \leq Vsc^* \quad (37)$$

$$Vsc_{30} \leq Vsc^* \quad (38)$$

$$Vsc_{31} \leq Vsc^* \quad (39)$$

$$Vsc_{32} \leq Vsc^* \quad (40)$$

$$Vsc_{33} \leq Vsc^* \quad (41)$$

$$Vsc_{34} \leq Vsc^* \quad (42)$$

$$Vsc_{35} \leq Vsc^* \quad (43)$$

$$Vsc_{36} \leq Vsc^* \quad (44)$$

$$Vsc_{37} \leq Vsc^* \quad (45)$$

$$Vsc_{38} \leq Vsc^* \quad (46)$$

$$Vsc_{39} \leq Vsc^* \quad (47)$$

$$Vsc_{40} \leq Vsc^* \quad (48)$$

$$Vsc_{41} \leq Vsc^* \quad (49)$$

$$Vsc_{42} \leq Vsc^* \quad (50)$$

$$Vsc_{43} \leq Vsc^* \quad (51)$$

$$Vsc_{44} \leq Vsc^* \quad (52)$$

$$Vsc_{45} \leq Vsc^* \quad (53)$$

$$Vsc_{46} \leq Vsc^* \quad (54)$$

$$Vsc_{47} \leq Vsc^* \quad (55)$$

$$Vsc_{48} \leq Vsc^* \quad (56)$$

$$Vsc_{49} \leq Vsc^* \quad (57)$$

$$Vsc_{50} \leq Vsc^* \quad (58)$$

$$Vsc_{51} \leq Vsc^* \quad (59)$$

$$Vsc_{52} \leq Vsc^* \quad (60)$$

$$Vsc_{53} \leq Vsc^* \quad (61)$$

$$Vsc_{54} \leq Vsc^* \quad (62)$$

$$Vsc_{55} \leq Vsc^* \quad (63)$$

$$Vsc_{56} \leq Vsc^* \quad (64)$$

$$Vsc_{57} \leq Vsc^* \quad (65)$$

$$Vsc_{58} \leq Vsc^* \quad (66)$$

$$Vsc_{59} \leq Vsc^* \quad (67)$$

$$Vsc_{60} \leq Vsc^* \quad (68)$$

$$Vsc_{61} \leq Vsc^* \quad (69)$$

$$Vsc_{62} \leq Vsc^* \quad (70)$$

$$Vsc_{63} \leq Vsc^* \quad (71)$$

$$Vsc_{64} \leq Vsc^* \quad (72)$$

- Positividade;

$$Vsc_i \geq 0 \quad (73)$$

As alternativas estão representadas pelas variáveis de escolha Vsc_i (com i = 1, ..., 64) e os seus coeficientes na função objetivo estão simbolizados por $Dba_i.Rbg_i$ (com i = 1, ..., 64), os quais formam um conjunto de constantes dadas. Os coeficientes das variáveis de escolha nas restrições estão denotados, respectivamente, por Dba_i, ($Dba_i.Rbg_i$), ($Dba_i.Rbg_i.K_i$), e assim sucessivamente para todas as 70 restrições.

Analogamente, em notação indicial, o programa de maximização foi escrito da seguinte maneira:

Maximizar

$$Msp = \sum_{i=1}^{64} Dba_i.Rbg_i.Vsc_i$$

onde:

Msp = Massa seca de polpa a ser maximizada, em t;

Dba_i = Densidade básica da madeira da árvore *i*, em t/m^3;

Rbg_i = Rendimento bruto gravimétrico da polpação da árvore *i*, em %;

Vsc_i = Volume sem casca necessário de madeira da árvore *i*, em m^3;

i = 1, ..., 64.

Sujeita a:

- Massa seca total de madeira utilizada por ano ≤ Msm*;

$$\sum_{i=1}^{64} Dba_i.Vsc_i \leq Msm^*$$

onde:

Msm* = Massa seca total média de madeira utilizada por ano, em t.

- Massa seca total de lignina residual produzida/ano ≤ Mslr*;

$$\sum_{i=1}^{64} Dba_i.Rbg_i.k_i.Vsc_i \leq Mslr^*$$

onde:

K_i = Percentagem de lignina residual encontrada na polpa da árvore i, em t;

Mslr* = Massa seca total média de lignina residual encontrada na polpa por ano, em t.

- Volume total sem casca de madeira consumido por ano ≤ Vsc*;

$$\sum_{i=1}^{64} Vsc_i \leq Vsc^*$$

onde:

Vsc* = Volume total médio sem casca de madeira utilizado por ano, em m^3.

- Custo total da polpação ≤ C*;

$$\sum_{i=1}^{64} C_i.Vsc_i \leq C^*$$

onde:

Ci = Custo de deslignificação da árvore *i*, por m^3, em US$;

C* = Custo total médio de deslignificação por ano, em US$.

- Massa seca total de lignina solubilizada por ano ≥ Msls*;

$$\sum_{i=1}^{64} Dba_i.Ls_i.Vsc_i \geq Msls^*$$

onde:

Ls_i = Percentagem de lignina solubilizada da árvore *i* no processo de deslignificação, em %.

Msls* = Massa seca total média de lignina solubilizada por ano, em t.

- Área (Ar) utilizada/ano ≤ Ar*;

$$\sum_{i=1}^{64} Ar_i.Vsc_i \leq Ar^*$$

onde:

Ar_i = Área utilizada da árvore *i*, em ha/m^3;
Ar^* = Área total média a ser utilizada por ano, em ha.

- Volume total de madeira sem casca utilizado de cada árvore *i*, por ano ≤ Vsc^*;

$$Vsc_i \leq Vsc^*$$

Onde:
Vsc_i = Volume total sem casca de madeira utilizado da árvore *i*, por ano, em m^3;
Vsc^* = Volume total médio sem casca de madeira utilizado por ano, em m^3;
i = 1, ..., 64.

- Positividade;

$$Vsc_i \geq 0$$

i = 1, ..., 64.

Todas essas expressões, uma vez estando de acordo com a hipótese principal da programação linear, implicam que todas as relações entre as variáveis são lineares. Isto gera a proporcionalidade das contribuições envolvidas, sendo que a contribuição individual de cada variável é estritamente proporcional ao seu valor. A aditividade dessas contribuições implica que a contribuição total de todas as variáveis é igual à soma das contribuições individuais, independentemente dos valores das variáveis (Caixeta Filho, 1997).

A solução do problema de programação linear proposto foi obtida através do algorítmo[6] denominado "Método Simplex". O método Simplex, é um algoritmo bastante citado e comentado na maior parte da literatura especializada, assim como o mais utilizado em software de programação linear (Caixeta Filho, 1997). Este método oferece subsídios técnicos para a tomada de

[6] O termo algoritmo significa um processo onde um procedimento sistemático é repetido seguidamente até que o resultado desejado seja obtido (Hillier & Lieberman, 1988).

decisão, que neste caso envolve a seleção das melhores árvores matrizes de uma população com o intuito de maximizar a produção de polpa não-branqueada com a qualidade desejada.

A aplicação desse método sem o auxílio de um processamento computacional especializado seria possível somente em modelos cujas matrizes fossem de dimensões bem menores daquela utilizada. Utilizou-se portanto, o software denominado Orsys, desenvolvido pela software-house americana Eastern Software Products em 1993, muito útil para aplicações específicas em agropecuária.

A especificação e a completa análise dos dados utilizados está apresentada nas próximas seções.

4.2.2 Procedimentos adotados para a quantificação dos parâmetros de qualidade

As avaliações da qualidade de madeira são realizadas com o objetivo de caracterizar não só as propriedades de uma árvore em especial, mas também a variação dessas propriedades na população a que ela pertence.

No presente trabalho, a amostragem das árvores na população foi realizada seletivamente, buscando-se selecionar, numa proporção de 1:8000, indivíduos que tivessem um excelente perfil fenotípico, ou seja, boa retidão de fuste, bom aspecto de sanidade, copa pequena e uniforme, considerável DAP, elevada altura e consequentemente volume superior às demais árvores do povoamento. Esse critério de seleção massal foi adotado com o intuito de se pré-selecionar árvores superiores com potencial para serem futuras árvores matrizes. Posteriormente, procurou-se selecionar realmente os melhores indivíduos, visando a maximização da produção de polpa não-branqueada, tendo em vista que tal espécie apresenta diâmetros e alturas consideráveis e, consequentemente, apreciável volume de madeira, já aos 7 anos de idade.

Devido às variações das propriedades da madeira ao longo do tronco, foi imprescindível, para caracterização da qualidade da madeira, que a amostragem levasse em conta tais variações.

Após a medição dos DAPs, as árvores foram abatidas e em seguida foram medidas as suas alturas total (HT) e comercial (HC), sendo esta correspondente ao diâmetro mínimo de 8 cm com casca. Logo em seguida foram retirados discos (± 3cm de espessura) a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial de cada árvore. O número de discos por árvore foram 5 e as medidas foram utilizadas nos cálculos de densidade básica e das proporções de madeira e casca.

Os discos tiveram seus diâmetros medidos com e sem cascas (2 medições perpendiculares entre si) para posteriores cálculos de seus diâmetros médios, densidade básica ao longo do fuste e volume das árvores. Depois,

foram descascados, cortados em 4 cunhas de 90°, das quais uma foi trabalhada para a determinação da densidade básica, outra direcionada para análises químicas, outra para a polpação e a última permaneceu de reserva, para o caso de haver alguma eventual necessidade de repetição de análise. A casca foi utilizada para a determinação da densidade básica.

A densidade básica da madeira é definida como a relação entre o peso de uma amostra seca em estufa (s. e.) e o seu volume verde (Vv) ou saturado de água.

Dos discos coletados e cortados transversalmente em 4 cunhas, foram utilizadas uma das cunhas, sem qualquer indício de nó, para a determinação da densidade básica da madeira nas respectivas alturas ao longo do fuste da árvore. Essa determinação foi efetuada através do método da balança hidrostática (Norma ABTCP M 14/70).

A densidade básica de cada árvore foi determinada através de uma média ponderada, em função da densidade básica de cada cunha e o respectivo diâmetro do disco sem casca (Sansígolo & Barreiros, 1998), através da seguinte expressão:

$$Dba = \frac{1}{2} \cdot \frac{(D^2{}_0 + D^2{}_{25})(Db_0 + Db_{25}) + \ldots + (D^2{}_{75} + D^2{}_{100})(Db_{75} + Db_{100})}{D^2{}_0 + D^2{}_{100} + 2(D^2{}_{25} + \ldots + D^2{}_{75})} \quad (74)$$

onde:

Dba = Densidade básica da árvore, em g/cm^3;

D_h = Diâmetro dos discos sem casca, a uma altura h da HC da árvore, em cm;

Db_h = Densidade básica das cunhas, a uma altura h da HC da árvore, em g/cm^3;

h = Alturas a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore.

As determinações químicas da madeira foram realizadas de acordo com os métodos das associações Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) e Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP).

Para a determinação química média de cada árvore, foi utilizada uma amostra composta, ou seja, foi tomada uma cunha de cada disco, representativa de cada altura da árvore. Todas as cunhas foram picadas na forma de palitos que depois foram agrupados e reduzidos a serragem em macro-moinho Wiley. A serragem produzida foi classificada em peneiras para a obtenção da fração entre 40/60 "mesh[7]", que é a recomendada pelas normas TAPPI e ABTCP nas determinações de extrativos totais, lignina e holocelulose. Posteriormente, foi determinado o teor absolutamente seco dessa serragem, conforme a norma TAPPI T 210 OM - 93.

A fração de extrativos totais da madeira foi determinada através da solubilidade da serragem em etanol 96° GL, etanol + tolueno (1:2) e água quente conforme a norma ABTCP M 3/69.

Já a determinação da lignina Klason da madeira foi realizada através da solubilidade da serragem, livre de extrativos totais, em H_2SO_4, 72%, conforme o método Klason da norma TAPPI T 222 OM - 88.

O teor de holocelulose (celulose + hemicelulose) foi determinado através da equação 75, de Sansígolo & Barreiros (1998), que expressa a composição restante da substância madeira, uma vez que lhe foi retirado anteriormente os seus extrativos totais e a lignina.

$$H = 100 - Et - L \tag{75}$$

onde:

H = Holocelulose, em %;

Et = Extrativos totais, em %;

L = Lignina, em %.

4.2.3 Polpação da madeira

A polpação, que visa a separação das fibras da madeira, pode ser definida como um processo de deslignificação. Para a polpação da madeira também foram utilizadas amostras compostas, ou seja, foi tomada uma cunha de cada disco, de cada altura e de cada árvore, as quais foram picadas manualmente na forma de cavacos com o uso de facão e martelo. Os cavacos foram agrupados, homogeneizados e separados em quadrantes. De um dos quadrantes foi apanhada uma quantidade de cavacos (aproximadamente 50 gramas de madeira s. e.) suficiente para encher uma cápsula de aproximadamente 200 cm^3, constituída de chapa de aço inoxidável microperfurada. Cada cápsula representava a amostra de apenas uma árvore. As cápsulas foram colocadas em um digestor rotativo laboratorial, onde junto com o licor previamente preparado pôde-se realizar a deslignificação em condições pré-estabelecidas.

A utilização dessas cápsulas permitiram a deslignificação da madeira de todas as sessenta e quatro árvores, sob uma mesma condição, porém em duas etapas devido à limitada capacidade do digestor.

As deslignificações foram realizadas em digestor rotativo de 2 a 3 rotações por minuto (rpm), de 20 litros de capacidade, aquecido eletricamente e dotado de termômetro, manômetro e reostato manual. O método utilizado foi o kraft-antraquinona, cujas condições foram estabelecidas como sendo as mesmas utilizadas na empresa LWARCEL Celulose e Papel Ltda, ou seja:

- Álcali ativo[8], base madeira seca = 20,00% como NaOH (15,50% como Na_2O);

---

[7] Mesh significa o número de orifícios de uma tela em uma polegada linear.

[8] Álcali ativo é a concentração de um composto de Hidróxido de Sódio e Sulfeto de Sódio, expressa como Óxido de Sódio.

- Álcali efetivo[9] base madeira seca = 18,50% como NaOH (14,40% como Na_2O);
- Sulfidez[10] do licor base madeira seca = 15,00%;
- Antraquinona base madeira seca = 0,07%;
- Relação licor/madeira = 3,8/1;
- Temperatura máxima = 174°C;
- Tempo até a temperatura máxima = 80 minutos;
- Tempo na temperatura máxima = 30 minutos.

O licor foi preparado minutos antes da deslignificação em função da quantidade de madeira s. e., teor de umidade da madeira, percentagem de álcali ativo, sulfidez e da relação licor/madeira.

A deslignificação foi feita com duas repetições. Após cada deslignificação, as amostras de cavacos contidas nas cápsulas foram, separadamente, desfibradas, lavadas com água até a retirada do licor de deslignificação e determinados os respectivos teores de secos para os cálculos do rendimento bruto gravimétrico, consumo específico de madeira e número kappa.

Após a deslignificação, determinou-se o teor absolutamente seco das amostras de polpas segundo a norma TAPPI T 210 OM - 93 e o rendimento bruto gravimétrico da polpação. Este foi determinado como a relação percentual entre o peso s.e. de polpa e o peso s.e. de madeira utilizada, através da seguinte expressão (Sansígolo & Barreiros, 1998):

$$Rbg = (Msp / Msm).100 \qquad (76)$$

---

[9] Álcali efetivo é a concentração de um composto de Hidróxido de Sódio e meio de Sulfeto de Sódio, expressa como Óxido de Sódio.

[10] Sulfidez é a relação percentual entre a quantidade de Sulfeto de Sódio, expresso como Óxido de Sódio, e o álcali ativo.

onde:

Rbg = Rendimento bruto gravimétrico, em %;

Msp = Massa seca de polpa, em g;

Msm = Massa seca de madeira, em g.

Uma vez determinados a densidade básica média de cada árvore e o correspondente rendimento bruto gravimétrico, pôde-se calcular o consumo específico de madeira, através da seguinte expressão (Sansígolo & Barreiros, 1998):

$$Cem = 1 / (Rbg.Dba) \tag{77}$$

Onde:

Cem = Consumo específico de madeira, em m^3 madeira/t polpa seca;

Rbg = Rendimento bruto gravimétrico, em %;

Dba = Densidade básica da árvore, em t/m^3.

O número kappa, que se refere à quantidade de lignina residual na polpa, é, por definição, o número de mililitros de uma solução decinormal de permanganato de potássio, consumido por um grama de celulose s.e., sob certas condições específicas e cuidadosamente controladas. Sua determinação foi efetuada nas amostras de polpas obtidas. O cálculo seguiu as seguintes expressões (TAPPI T 236 OM – 85):

$$P = [(Vb - Ve).N_1] / N_2 \tag{78}$$

$$LogNk = log(P / W) + 0,00093.(P - 50) \tag{79}$$

onde:

Vb = Volume de $N_2S_2O_3$ 0,2N consumido na prova em branco, em mL;

Ve = Volume de $N_2S_2O_3$ consumido no ensaio, em mL;

N_1 = Normalidade do $N_2S_2O_3$, 0,2N;

N_2 = Normalidade do $KMnO_4$, 0,1N;

P = Volume de $KMnO_4$ consumido pela polpa, em mL;

W = Masa seca da polpa, em g;

Nk = Número kappa.

A percentagem de lignina residual na polpa, após a deslignificação, foi calculada conforme a seguinte expressão:

$$\%Lr = Nk.0,147 \tag{80}$$

onde:

$\%Lr$ = Percentagem de lignina residual;

Nk = Número kappa;

$0,147$ = Fator de conversão de número kappa para % de lignina residual na polpa (Marccocia et al., 1998).

A massa de lignina residual na polpa após a deslignificação foi calculada conforme a seguinte expressão:

$$Lr = [(Nk.0,147) / 100].Rbg.Dba.Vsc \tag{81}$$

onde:

Lr = Massa de lignina residual, em t.

Dba = Densidade básica da árvore, em t/m^3.

Rbg= Rendimento bruto gravimétrico, em %.

Vsc = Volume sem casca de madeira consumida, em m^3;

O teor de lignina solubilizada da madeira, através do processo de deslignificação kraft-antraquinona, pôde ser quantificado em função do teor de lignina existente na madeira, antes da polpação e do teor de lignina residual na polpa após a polpação.

A percentagem de lignina solubilizada foi calculada conforme a seguinte expressão:

$$\%Ls = [L - (0,147.Nk.Rbg) / 100] / L.100 \quad (82)$$

onde:

%Ls = Percentagem de lignina solubilizada, em %;

L = Lignina na madeira, em %;

0,147 = Fator de conversão de número kappa para % de lignina na polpa (Marcoccia et al., 1998);

Nk = Número kappa;

Rbg = Rendimento bruto gravimétrico, em %.

A massa de lignina solubilizada foi calculada conforme a seguinte expressão:

$$Ls = (\%Ls / 100).Dba.Vsc \quad (83)$$

onde:

Ls = Lignina solubilizada, em t;

%Ls = Lignina solubilizada, em %;

Dba = Densidade básica da árvore, em t/m^3.

Vsc = Volume sem casca de madeira consumida de cada árvore, em m^3;

O custo total da polpação kraft para a produção de uma tonelada seca de polpa não-branqueada foi determinado segundo Greaves & Borralho (1996), em função dos parâmetros densidade básica e rendimento bruto gravimétrico médios de cada árvore matriz, através da seguinte expressão:

$$Cpk = (Dbm^{0,53}.Rbgm^{0,70}) / (Dba^{0,53}.Rbg^{0,70}) \quad (84)$$

onde:

Cpk = Custo médio da polpação kraft (US$ 200.00/t polpa s. e.);

Dbm = Média das densidades básicas das árvores matrizes, em t/m^3;

Rbgm = Média dos rendimentos brutos gravimétricos das árvores matrizes, em %;

Dba = Densidade básica de cada árvore matriz, em t/m^3;

Rbg = Rendimento bruto gravimétrico de cada árvore matriz, em %.

A partir do custo da polpação por tonelada seca de polpa não-branqueada, pôde-se calcular o custo da polpação por m^3 de madeira consumida no referido processo, para cada amostra, através da seguinte expressão:

$$Cpk/m^3 = Cpk / Cem \qquad (85)$$

onde:

-Cpk/m^3 = Custo da polpação por m^3 de madeira consumida de cada árvore matriz, em US$/$m^3$;

-*Cpk* = Custo da polpação de cada árvore matriz, em US$/t polpa s. e.;

-*Cem* = Consumo específico de madeira de cada árvore matriz, em m^3/t polpa s. e.

A percentagem de casca de cada árvore foi calculada em massa e em volume, através dos respectivos resultados de volumes e densidades básicas.

A percentagem de casca de cada árvore, em termos de massa, foi calculada através da seguinte expressão (Sansígolo & Barreiros, 1998):

$$Pcm = [(Vcc - Vsc).Dbc] / (Ma + Mc).100 \qquad (86)$$

onde:

Pcm = Percentagem de casca em massa, em %;

Vcc = Volume da árvore com casca, em m^3;

Vsc = Volume da árvore sem casca, em m^3;

Ma = Massa da árvore sem casca, em kg;

Mc = Massa da casca da árvore, em kg;

Dbc = Densidade básica da casca de cada árvore, em kg/ m^3.

A percentagem de casca de cada árvore, em termos de volume, foi calculado através da seguinte expressão (Sansígolo & Barreiros, 1998):

$$Pcv = [(Vcc - Vsc) / Vcc].100 \quad (87)$$

onde:

Pcv = Percentagem de casca da árvore em volume, em %

Vcc = Volume da árvore com casca, em m^3;

Vsc = Volume da árvore sem casca, em m^3.

O teor de madeira comercial de cada árvore foi calculado também em massa e em volume.

O teor de madeira comercial em massa, ou seja, a massa comercial de cada árvore foi calculado, através da seguinte expressão (Sansígolo & Barreiros, 1998):

$$Tmm = Dba.Vsc \quad (88)$$

onde:

Tmm = Teor de madeira comercial da árvore em massa, em kg;

Dba = Densidade básica da árvore, em kg/ m^3;

Vsc = Volume comercial da árvore sem casca, em m^3.

O teor de madeira em volume, ou seja, o volume comercial de cada árvore foi calculado através da fórmula generalizada de Smalian (Veiga, 1984):

$$Vsc = (z/2).(\pi/4).[D^2_0+D^2_{100}+2.(D^2_{25}+D^2_{50}+D^2_{75})] \quad (89)$$

onde:

Vsc = Volume da árvore sem casca, em m^3.

z = Comprimento das toras, em m.

π = 3,1415927...

D = Diâmetro sem casca das toras em cada altura da árvore, em m;

0, 25, 50, 75 e 100 = Percentagem da altura comercial da árvore, em %.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados dendrométricos

Os valores obtidos para as características DAP e alturas total (HT) e comercial (HC) das 64 árvores pré-selecionadas estão mostrados no Anexo A. A Tabela 1 mostra alguns parâmetros estatísticos obtidos desses dados.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos obtidos para o DAP e alturas total e comercial referente às 64 árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis*.

Parâmetro	DAP	Altura (m)	
	(cm)	HT	HC
Média	29,4	34,53	28,78
Mínimo	25,2	30,80	25,30
Máximo	33,9	38,00	32,90
Desvio padrão	2,1238	1,2758	1,3186
Coef. de variação, %	7,21	3,70	4,58

De modo geral, além dessas árvores apresentarem a mesma idade, o mesmo sítio e terem sido pré-selecionadas por meio de significativa seleção massal (1:8000), esses resultados obtidos para o material em estudo estão de acordo com os limites normais para eucalipto, apesar de que as mesmas foram produzidas via sementes de APS, ou seja, nem são ao menos indivíduos meio-irmãos. Logo, torna-se aceitável tamanha variação dos resultados dendrométricos.

Todos os processos de seleção de árvores matrizes visam obter ganhos na geração seguinte. A propagação via clonagem não foge a essa regra. Entretanto, é conveniente trabalhar-se com um número ideal de clones, para evitarem-se os problemas organizacionais da empresa, como por exemplo a disponibilidade de área, mas manter-se a necessária base genética. No caso do presente trabalho, os parâmetros dendrométricos foram utilizados para fornecer dados para as estimativas, principalmente, de volume, para detectarem-se as melhores árvores quanto a este parâmetro. Como esses parâmetros não são suficientes para a correta seleção de matrizes desenvolveu-se uma análise mais apurada, onde foram também levados em conta outros parâmetros de qualidade da matéria-prima e do produto obtido, inclusive a realidade organizacional da empresa. Nem sempre os melhores valores dendrométricos indicam as melhores árvores para serem propagadas.

5.2 Resultados de densidade básica

Os valores individuais obtidos para a densidade básica da madeira das árvores do *E. grandis* material estudado estão mostrados na Tabela 2 e no anexo B. A Tabela 3 mostra alguns parâmetros estatísticos obtidos de uma simples análise estatística dos dados de densidade básica da madeira e da casca.

Tabela 2. Valores de densidade básica da madeira de árvores de *E. grandis*.

Árvore	(g/cm^3)	Árvore	(g/cm^3)
01	0,466	33	0,455
02	0,477	34	0,418
03	0,440	35	0,385
04	0,411	36	0,383
05	0,430	37	0,434
06	0,526	38	0,493
07	0,462	39	0,422
08	0,442	40	0,415
09	0,447	41	0,443
10	0,476	42	0,391
11	0,483	43	0,456
12	0,485	44	0,375
13	0,432	45	0,444
14	0,456	46	0,483
15	0,437	47	0,487
16	0,436	48	0,403
17	0,462	49	0,387
18	0,422	50	0,432
19	0,455	51	0,484
20	0,447	52	0,438
21	0,523	53	0,434
22	0,440	54	0,486
23	0,479	55	0,449
24	0,513	56	0,442
25	0,532	57	0,442
26	0,505	58	0,407
27	0,516	59	0,423
28	0,451	60	0,370
29	0,455	61	0,413
30	0,421	62	0,455
31	0,399	63	0,433
32	0,471	64	0,451

Tabela 3. Parâmetros estatísticos obtidos para a densidade básica da madeira e da casca, referentes ao conjunto das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Parâmetro	Densidade básica (g/cm^3)	
	Madeira	Casca
Média	0,447	0,278
Mínimo	0,370	0,218
Máximo	0,532	0,409
Desvio padrão	0,0372	0,0405
C.V., %	8,33	14,57

C.V. Coeficiente de variação

Os resultados de densidade básica encontrados para a madeira, ou seja, para a árvore sem casca, na Tabela 2, são de interesse do trabalho e os valores acima da média condizem perfeitamente com os obtidos em madeiras de *Eucalyptus grandis*, conforme Foelkel (1978) e Vasconcelos & Silva Júnior (1985). A densidade básica média da madeira, observada na Tabela 3, encontra-se praticamente dentro da faixa recomendada para produção de polpa, que é de 0,450 a 0,550 g/cm^3 (Fonseca et al., 1996). Madeiras com densidades menores reduzem o rendimento do processo, pois apresentam menor massa por volume do digestor. Por outro lado, densidades maiores dificultam a operação da picagem das toras em cavacos e a impregnação nesses cavacos pelo licor de deslignificação, implicando numa polpação ineficiente e de baixo rendimento em função dos maiores teores de rejeitos.

Pode-se verificar que 44% das árvores analisadas e mostradas na Tabela 2, apresentam valores de densidade básica apropriados para a produção de polpa, fato esse que indica a necessidade de outros parâmetros de desempate.

No entanto, a densidade básica foi usada como um importante coeficiente da restrição da massa de madeira utilizada (Anexo J), na aplicação do método proposto, conforme será visto mais adiante.

5.3 Resultados de massa e volume comerciais

As variabilidades dos valores encontrados para massa e volume comerciais, tanto para as árvores inteiras como para suas partes, ou seja, madeira e casca, mostrados na Tabela 4, bem como os valores individuais no Anexo C, nada mais são do que conseqüências dos dados dendrométricos medidos e das densidades básicas estimadas. Todavia, já era de se esperar a considerada variação desses resultados.

Esses valores, da forma como estão, não se aplicam diretamente nas restrições propostas. Porém, não deixaram de ser utilizados para outras estimativas, como por exemplo, número de árvores necessário para a produção de determinada quantidade do produto final, a área necessária para manter-se a sustentabilidade de uma determinada produção, etc.

Nota-se, mais uma vez, a necessidade de se levar em conta também parâmetros tecnológicos de qualidade da madeira e do produto final, os quais muitas vezes podem mostrar que nem sempre os maiores valores de massa e/ou volume comerciais indicam as árvores de maior produção de polpa não-branqueada.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos obtidos para a massa e o volume comerciais, referente às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Parâmetro	Árvore						Casca			
	Massa comercial			Volume comercial			Massa comercial		Volume comercial	
	com casca	sem casca		com casca	sem casca					
	(kg)	(kg)	(%)	(m^3)	(m^3)	(%)	(kg)	(%)	(m^3)	(%)
Médio	433,80	401,08	92,39	1,011	0,893	88,35	32,72	7,61	0,118	11,65
Mínimo	280,06	252,02	88,05	0,715	0,611	84,51	18,83	4,52	0,062	7,41
Máximo	640,06	583,48	95,48	1,390	1,235	92,59	56,58	11,95	0,192	15,49
s^2	90,0538	84,8408		0,1716	0,1509		8,9164		0,0283	
C.V., %	20,76	21,15		16,97	16,91		27,25		24,02	

s^2 = Desvio padrão
C.V.: Coeficiente de variação

5.4 Resultados da composição química da madeira e da polpa

A Tabela 5 ilustra as variabilidades obtidas para a composição química da madeira e número kappa da polpa. Os resultados individuais para a madeira e polpa encontram-se, respectivamente, nos Anexos D e E.

Tabela 5. Parâmetros estatísticos obtidos para a composição química da madeira e o número kappa da polpa, referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Parâmetro	Holocelulose, (%)	Lignina, (%)	Extrativos totais, (%)	Número kappa
Médio	73,19	25,70	1,11	18,2
Mínimo	67,79	22,96	0,08	14,3
Máximo	76,63	29,85	2,84	24,4
s^2	1,7641	1,5485	0,7306	2,10
C.V., %	2,41	6,02	65,82	11,80

s^2 = Desvio padrão
C.V. Coeficiente de variação

Observando-se os valores encontrados para a composição química da madeira, nota-se que estão razoavelmente compreendidos dentro da faixa normalmente encontrada para o eucalipto. Entretanto, ressalta-se que os teores de lignina foram ligeiramente mais altos que o usual, ou seja, de até 25%. Os teores de extrativos totais foram relativamente baixos quando relacionados com o esperado de até 5%. Com relação aos extrativos, a explicação provável é porque trataram-se de árvores relativamente jovens. Conseqüentemente, os teores de holocelulose ficaram um pouco abaixo do esperado, que era de 75%. Quanto ao número kappa, os resultados mínimo e médio foram satisfatórios para a boa qualidade da polpa produzida. Entretanto, por apresentar valores de número kappa acima de 20,0 que seria o limite máximo indicado para eucalipto, este parâmetro torna-se um importante indicador para a seleção de árvores matrizes.

De posse desses dados, especificamente da percentagem de lignina e do número kappa, pôde-se estimar os respectivos coeficientes da restrição quantidade de lignina solubilizada para as 64 árvores (Tabela 6), a qual, multiplicada pelo respectivo volume de madeira consumido anualmente (Anexo M), fornece a quantidade de lignina solubilizada por ano, cuja média foi 39.884,312 toneladas.

Tabela 6. Valores de lignina solubilizada da madeira de *E. grandis*.

Árvore	(t/m^3)	Árvore	(t/m^3)
01	0,1108	33	0,0998
02	0,1126	34	0,1067
03	0,1128	35	0,0993
04	0,1117	36	0,0936
05	0,1042	37	0,1026
06	0,1176	38	0,1229
07	0,1101	39	0,1026
08	0,1077	40	0,0936
09	0,1073	41	0,1077
10	0,1103	42	0,1052
11	0,1171	43	0,1144
12	0,1138	44	0,0934
13	0,1022	45	0,0971
14	0,1261	46	0,1191
15	0,1148	47	0,1189
16	0,1239	48	0,0980
17	0,1235	49	0,0923
18	0,0970	50	0,1083
19	0,1080	51	0,1140
20	0,1120	52	0,0955
21	0,1284	53	0,1046
22	0,1152	54	0,1082
23	0,1274	55	0,1121
24	0,1378	56	0,1060
25	0,1216	57	0,1007
26	0,1224	58	0,0981
27	0,1209	59	0,0909
28	0,1117	60	0,0859
29	0,1128	61	0,0919
30	0,1116	62	0,0976
31	0,0952	63	0,0996
32	0,1131	64	0,1058

5.5 Resultados médios da deslignificação

A Tabela 7 mostra a média e os limites encontrados nos resultados de duas repetições de deslignificação kraft-antraquinona da madeira. Os valores individuais constam dos Anexos E e F.

Tabela 7. Parâmetros estatísticos obtidos para o Rendimento bruto gravimétrico (Rbg), o Consumo específico de madeira (Cem) e a Lignina solubilizada (Ls), referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Parâmetro	Rbg (%)	Cem (m^3/t)	Ls (%)	Ls (t/m^3)
Médio	53,12	4,236	94,46	0,109
Mínimo	50,12	3,335	93,00	0,086
Máximo	57,03	5,188	96,19	0,138
s^2	1,3546	0,3906	0,6430	0,0107
C.V., %	2,55	9,22	0,68	9,88

s^2 = Desvio padrão
C.V. Coeficiente de variação

Tomando-se a capacidade de produção anual de polpa não-branqueada da empresa, que é de 87.120 toneladas, e dividindo-a pelo rendimento bruto gravimétrico de cada árvore, obteve-se a quantidade de madeira consumida por árvore em toneladas por ano, que, quando aplicada na restrição de massa de madeira consumida anualmente, implica que esta não poderá ser maior que a média de 164.119,008 toneladas anuais (Anexo N). Logo, relacionando o valor de cada árvore, em massa, com a respectiva densidade básica da árvore (Tabela 2), obteve-se a quantidade de madeira consumida por árvore em metros cúbicos por ano (Anexo O), bem como a respectiva média, a qual foi aplicada na restrição de volume de madeira consumida anualmente, implicando que este não poderá ser maior que 369.550,756 metros cúbicos anuais. Isso

posto, pretendeu-se otimizar a produção de massa de polpa não-branqueada sem que aumentasse o consumo de madeira, obrigando assim a uma seleção daquelas árvores que, quando ponderadas suas características dendrométricas e tecnológicas, envolvidas direta ou indiretamente nas restrições, apresentariam uma maior produção sem contrariar as qualidades desejadas.

5.6 Resultados de custo da deslignificação

A Tabela 8 mostra as variabilidades referentes aos custos de produção de polpa não-branqueada no final do processo de deslignificação, baseados em um estudo realizado por Greaves & Borralho (1996), o qual indica que o rendimento é o principal fator sobre o custo final do processo de deslignificação. Os valores individuais estimados constam na Tabela 9 enquanto seus detalhes são apresentados no Anexo G.

Tabela 8. Parâmetros estatísticos obtidos para o custo da polpação, referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Parâmetro	US$/t polpa s. e.	US$/m^3 madeira
Médio	200.58	47.54
Mínimo	174.58	43.19
Máximo	224.10	52.35
Desvio padrão	10,1679	2,0447
Coef. de variação, %	5,07	4,30

Os valores estimados na Tabela 9 foram obtidos em função do custo médio de deslignificação estabelecido por Greaves & Borralho (1996), da densidade básica e do rendimento bruto gravimétrico de cada uma das 64 árvores pré-selecionadas (Anexo G), após a transformação de US$/t polpa s. e. em US$/m^3. Estes valores foram os coeficientes da restrição custo de polpação, que, quando foram multiplicados pelos respectivos volumes anuais de madeira

(Anexo Q) implicaram nas respectivas quantidades de capital investidas anualmente, a qual não poderá ser maior que a média de 17,503,515.53 dólares por ano.

Tabela 9. Valores de custo de polpação de *E. grandis*.

Árvore	(US$/m^3 madeira)	Árvore	(US$/m^3 madeira)
01	48.31	33	48.24
02	49.30	34	46.05
03	52.16	35	44.15
04	45.11	36	44.03
05	46.96	37	47.28
06	52.35	38	49.55
07	48.36	39	45.73
08	46.36	40	46.24
09	47.28	41	47.79
10	49.11	42	43.91
11	48.84	43	48.11
12	49.26	44	43.54
13	46.66	45	48.00
14	47.73	46	49.78
15	47.23	47	49.39
16	46.28	48	45.43
17	47.81	49	44.48
18	46.08	50	46.49
19	47.35	51	49.17
20	47.42	52	47.39
21	50.68	53	46.71
22	46.62	54	49.52
23	49.16	55	47.67
24	50.65	56	47.60
25	52.01	57	47.33
26	50.22	58	45.34
27	51.10	59	46.79
28	47.45	60	43.19
29	48.15	61	46.13
30	45.81	62	47.90
31	45.29	63	46.65
32	48.12	64	47.63

5.7 Seleção das melhores árvores matrizes mediante o uso do programa Excel

A tabela 10 mostra as árvores selecionadas mediante a utilização da planilha eletrônica do programa Excel, para valores de Rbg não menores que a média de 53,12% e números kappa não maiores que a média de 18,2. Os valores individuais encontram-se no Anexo H.

Tabela 10. Árvores selecionadas mediante utilização do programa Excel para os parâmetros de rendimento bruto gravimétrico e número kappa.

Árvore selecionada	Rbg (%)	Nk
5	54,55	17,8
6	57,03	17,4
7	53,58	16,4
29	54,14	16,8
33	54,43	16,2
34	53,28	17,4
37	54,89	16,9
40	54,62	15,0
41	55,02	14,9
43	53,98	16,6
45	55,64	15,4
48	53,89	18,0
49	53,52	14,9
55	53,42	16,8
59	55,14	18,2
61	54,60	16.5

A tabela 10 mostra que 25% das árvores foram selecionadas, ou seja, 16 de um total de 64 árvores. Além desse número ser relativamente elevado, esse

procedimento gera incertezas nos valores de corte. Por que não escolher ainda, por exemplo, as árvores 12, 14, 23, 41, 46, 52, 54, 56 (Anexo H)? Estas árvores não foram escolhidas porque apresentaram número kappa com alguns décimos maiores e/ou rendimento com alguns décimos menores que as médias estabelecidas. Essas diferenças seriam significativas? Qual seria o "ranking" dessas 16 árvores? O que aconteceria se o número de parâmetros fosse aumentado, além daqueles dois mostrados na Tabela 10? Certamente diminuiria o número de árvores selecionadas (Tabela 11), mas aí, não seriam poucas? E quanto às demais?

Observa-se, portanto, que este método não apresenta a sensibilidade de ponderar os décimos de diferenças e proceder as compensações possíveis. Dessa forma não conseguiu selecionar matrizes com consideráveis potenciais para a silvicultura clonal, uma vez que já haviam sofrido uma pré-seleção.

Tabela 11. Árvore selecionada mediante a utilização do programa Excel para todos os parâmetros estudados.

Árvore	Db (g/cm^3)	Nk	Rbg (%)	Cem (m^3)	C ($US\$/m^3$)	L (%)	Ls (%)
7	0,462	16,4	53,58	4,037	195.34	25,15	94,86

A Tabela 12 e Anexo I mostram o resultado da aplicação do programa Excel para aqueles parâmetros que foram julgados ser os mais importantes num processo de deslignificação, ou seja, rendimento do processo, número kappa e consumo específico de madeira por tonelada de polpa seca não-branqueada produzida.

Tabela 12. Árvores selecionadas mediante a utilização do programa Excel para os parâmetros rendimento bruto gravimétrico, número kappa e consumo específico de madeira.

Árvore selecionada	Rbg (%)	Nk	Cem (m^3/t)
6	57,03	17,3	3,33
7	53,58	16,4	4,04
29	54,14	16,7	4,06
33	54,43	16,2	4,04
37	54,89	16,9	4,20
41	55,02	14,9	4,10
43	53,98	16,6	4,07
45	55,64	15,4	4,05
55	53,42	16,7	4,17

Observou-se que quando se considera somente os parâmetros rendimento bruto gravimétrico do processo, número kappa da polpa e consumo específico de madeira, obteve-se 9 árvores selecionadas, ou seja, 14% do total. Porém, permaneceram ainda as dúvidas relativas àquelas árvores não selecionadas, mas que mostravam potenciais muito próximos daquelas que foram selecionadas. Conclui-se que boas árvores não foram selecionadas por causa dos limites impostos, que exercem um efeito muito restritivo.

5.8 Resultados mediante o uso da programação linear

A Tabela 13 mostra as variabilidades referentes aos coeficientes das restrições propostas, cujos valores individuais se encontram no Anexo J.

Tabela 13. Parâmetros estatísticos obtidos para os coeficientes das restrições, referentes às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Parâmetro	Massa (t/m^3)				Custo da polpação ($US\$/m^3$ madeira)
	Madeira	Celulose	Lignina solubilizada	Lignina residual	
Médio	0,447	0,2377	0,109	0,0064	47.54
Mínimo	0,370	0,1928	0,086	0,0042	43.19
Máximo	0,532	0,3000	0,138	0,0098	52.35
s^2	0,0372	0,0219	0,0107	0,0011	2,0447
C.V., %	8,32	9,2157	9,88	17,35	4,30

s^2 = Desvio padrão

C.V. Coeficiente de variação

5.8.1 Cenário I

Buscando atingir o objetivo proposto, procurou-se otimizar a produção de massa seca de polpa não-branqueada utilizando-se, como base, os valores médios dos principais parâmetros estimados. Entretanto, com base nos dados disponibilizados pela empresa e resultados médios das 64 árvores analisadas, os quais serviram de referência, foram elaboradas as seguintes considerações:

Dados da empresa:

- Produção diária de polpa não-branqueada = 242 t/dia;
- Funcionamento efetivo da indústria = 360 dias/ano;
- Produção anual de polpa não-branqueada = 87.120,0 t/ano;
- Espaçamento entre árvores = 3m x 2m;

Dados baseados na média das 64 árvores (Anexos M, N, O, P, Q e R):

- Massa seca total média de madeira (Msm*) por ano = 164.119,008 t (Anexo N);

- Volume total médio sem casca de madeira utilizado (Vsc*) por ano = 369.550,756 m^3 (Anexo O);
- Massa seca total média de lignina residual na polpa (Mslr*) por ano = 2.333,557 t (Anexo P);
- Massa seca total média de lignina solubilizada no processo de deslignificação (Msls*) por ano = 39.884,312 t (Anexo M);
- Custo total médio de polpação de madeira (C*) por ano = 17,503,515.53 US$ (Anexo Q);
- Área total média utilizada (Ar*) por ano = 256,3 ha (Anexo R).

A maximização da massa de polpa seca não-branqueada, foi obtida através da seguinte expressão:

Maximizar

$$Mp = \sum_{i=1}^{64} Dba_i.Rbg_i.Vsc_i$$

onde:

Mp = Massa de polpa a ser maximizada, em t;

Dba_i = Densidade básica da madeira da árvore i, em t/m^3;

Rbg_i = Rendimento bruto gravimétrico da polpação da árvore i, em %;

Vsc_i = Volume sem casca necessário de madeira da árvore i, em m^3;

$i = 1, ..., 64$.

Certas considerações restringem as estratégias que podem ser usadas para se alcançar a maximização almejada, logo, dentro do Cenário I, a função objetivo ficou sujeita às seguintes restrições:

- Massa seca total de madeira consumida por ano ≤ 164.119,008 t;

$$Dba_1.Vsc_1 + ... + Dba_{64}.Vsc_{64} \leq 164.119,008 \quad (2)$$

- Volume total de madeira sem casca consumido por ano ≤ 369.550,756 m^3;

$$Vsc_1 + ... + Vsc_{64} \leq 369.550,756 \quad (5)$$

- Massa seca total de lignina residual produzida por ano $\leq$ 2.333,557 t;

$$Dba_1.Rbg_1.K_1.Vsc_1 + ... + Dba_{64}.Rbg_{64}.K_{64}.Vsc_{64} \leq 2.333,557 \quad (4)$$

- Custo total da polpação por ano $\leq$ 17,503,515.53 US$;

$$C_1.Vsc_1 + ... + C_{64}.Vsc_{64} \leq 17,503,515.53 \quad (6)$$

- Massa seca total de lignina solubilizada por ano $\geq$ 39.884,312 t;

$$Dba_1.Ls_1.Vsc_1 + ... + Dba_{64}.Ls_{64}.Vsc_{64} \geq 39.884,312 \quad (7)$$

- Área total utilizada por ano $\leq$ 256,3 ha;

$$Ar_1.Vsc_1 + ... + Ar_{64}.Vsc_{64} \leq 256,3 \quad (8)$$

- Volume total de madeira sem casca consumido de cada árvore por ano $\leq$ 369.550,756 m^3;

$$Vsc_1 \leq 369.550,756 \quad (9)$$

$$Vsc_2 \leq 369.550,756 \quad (10)$$

$$\vdots$$

$$Vsc_{64} \leq 369.550,756 \quad (72)$$

5.8.2 Resultados estimados mediante o uso da programação linear

A Tabela 14 mostra, resumidamente, a matriz com alguns dos coeficientes que alimentaram a planilha do programa Orsys, referente ao cenário I. A tabela completa consta do anexo L, visto que não foi possível apresentá-la na formatação usual de tabelas inseridas em textos.

Tabela 14. Coeficientes utilizados para a aplicação do método de programação linear, considerando-se as restrições do cenário I.

Restrição / Variável	V_1 (m^3)	V_2 (m^3)	V_3 (m^3)	...	V_{64} (m^3)	Sinal	RHS
Massa de madeira, em t	0,466	0,477	0,440	...	0,451	≤	164.119,008
Massa de lignina residual, em t	0,0057	0,0072	0,0072	...	0,0069	≤	2.333,557
Volume de madeira, em m^3	1,0	1,0	1,0	...	1,0	≤	369.550,756
Custo da polpação, emUS$	48.31	49.30	52.16	...	47.63	≤	17,503,515.53
Massa lignina solubilizada, em t	0,1108	0,1126	0,1128	...	0,1058	≥	39.884,312
Área utilizada, em ha	0.000640	0.000508	0.000561	...	0.000774	≤	256,3
Volume madeira, árvore 1, em m^3	1,0	-	-	...	-	≤	369.550,756
Volume madeira, árvore 2, em m^3	-	1,0	-	...	-	≤	369.550,756
Volume madeira, árvore 3, em m^3	-	-	1,0	...	-	≤	369.550,756
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Volume madeira, árvore 64, em m^3	-	-	-	...	1,0	≤	369.550,756

Tabela 15. Árvores selecionadas pelo programa Orsys e solução ótima quanto ao retorno máximo de massa de polpa.

Variável	Solução máxima (m^3)	Limite inferior	Limite superior	Retorno = 90.955,78 t		
				Retorno	Ret. unit.	Ret. líq.
Árvore 15	143.778	0,000	Nenhum	0,23610	0,23610	0,00000
Árvore 6	121.229	0,000	Nenhum	0,30000	0,30000	0,00000
Árvore 41	84.699	0,000	Nenhum	0,24370	0,24370	0,00000
Árvore 64	0,000	0,000	Nenhum	0,23850	0,246847	-0,008347

Ret. unit. = Retorno unitário, em t;

Ret. líq. = Retorno líquido, em t.

5.8.2.1 Valores obtidos para as variáveis

Uma vez utilizado o programa Orsys para otimização da função objetivo, isto é, calcular-se o maior retorno possível em termos de toneladas de polpa não-branqueada seca, obteve-se a tabela 15 que trata somente das variáveis que fizeram parte da base. A tabela completa encontra-se no relatório emitido pelo programa Orsys (Apêndice).

A Tabela 15 mostra que a solução ótima diz respeito a um consumo anual de 143.778,0 m^3 de madeira da árvore 15, 121.229,0 m^3 da árvore 6 e 84.699,0 m^3 da árvore 41, o que resultou num retorno de 90.955,780 toneladas de polpa não-branqueada seca. Observou-se que as demais árvores não foram selecionadas, e que, por exemplo, a eventual utilização de 1 m^3 da árvore 64 resultaria num decréscimo de 0,008347 toneladas no retorno anual da empresa. Notou-se também que essa árvore só passaria a ser considerada na solução ótima se o valor de seu retorno unitário fosse no mínimo de 0,246847 toneladas.

Porém, apenas três árvores foram selecionadas por esse método, o que, foi considerado muito pouco para um programa de melhoramento, principalmente por se tratar de uma silvicultura clonal. Logo, houve a necessidade de implementarem-se novas condições restritivas.

A alternativa utilizada para selecionar-se um número razoável de árvores, por exemplo entre 10 e 12 árvores, foi limitar a disponibilidade de madeira de cada árvore. Assim, as restrições para volume de madeira sem casca de cada árvore passaram a ter um volume limite (RHS = "Right Hand Side") de 11% do volume limite total que era de 369.550,756 m^3. O resultado sintetizado consta na tabela 16, enquanto que o resultado completo consta no relatório emitido pelo programa Orsys (Apêndice).

Tabela 16. Árvores selecionadas pelo programa Orsys e solução ótima quanto ao retorno máximo de polpa, quando o limite do volume por árvore foi de 11% do volume total.

Variável	Solução máxima (m^3)	Limite inferior	Limite superior	Retorno = 90.121,486 t		
				Retorno	Ret. unit.	Ret. líq.
Árvore 5	40.650,584	0,000	Nenhum	0,2346	0,2346	0,000
Árvore 6	40.650,584	0,000	Nenhum	0,3000	0,3000	0,000
Árvore 15	40.650,584	0,000	Nenhum	0,2361	0,2361	0,000
Árvore 23	40.650,584	0,000	Nenhum	0,2564	0,2564	0,000
Árvore 24	1.012,825	0,000	Nenhum	0,2728	0,2728	0,000
Árvore 25	758,326	0,000	Nenhum	0,2916	0,2916	0,000
Árvore 37	40.650,584	0,000	Nenhum	0,2382	0,2382	0,000
Árvore 41	40.650,584	0,000	Nenhum	0,2437	0,2437	0,000
Árvore 43	30.185,204	0,000	Nenhum	0,2461	0,2461	0,000
Árvore 45	40.650,584	0,000	Nenhum	0,2471	0,2471	0,000
Árvore 46	40.650,584	0,000	Nenhum	0,2659	0,2659	0,000

Ret. unit. = Retorno unitário de polpa, em t;

Ret. líq. = Retorno líquido de polpa, em t.

A Tabela 16 mostra um maior número de árvores selecionadas, dentro do esperado, porém com um retorno menor, de 90.121,486 toneladas de polpa não-branqueada seca, o que também era esperado, porque foram tomadas outras árvores com propriedades inferiores às anteriores.

A mesma discussão feita para a tabela 15 pôde ser aplicada aqui, tanto para as árvores que foram selecionadas quanto para aquelas que não foram selecionadas.

5.8.2.2 Classificação relativa de 26 árvores selecionadas

Houve o interesse em estabelecer-se o "ranking" das árvores selecionadas. Para isto, foi necessário alimentar o programa mudando-se os valores, mais uma vez para as restrições de volume sem casca disponível de cada árvore, de modo que o volume fosse diminuído, pois é intuitivo que quanto menor o volume disponível de cada árvore, mais árvores devem-ser selecionadas. Os resultados, conforme esperado, constam na Tabela 17 para as 26 árvores selecionadas e na Tabela 18, para um número mais razoável de árvores selecionadas, adequado a um programa de melhoramento. A tabela geral consta no relatório emitido pelo programa Orsys (Apêndice).

Tabela 17. "Ranking" de 26 árvores matrizes selecionadas e respectivos retornos em polpa produzida.

100,0 %	30,0 %	25,0 %	15,0 %	12,5 %	12,0 %	**11,0 %**	10,0 %	9,0 %	7,5 %	6,5 %	6,0 %	5,5 %	5,0 %	4,5 %	4,0 %
90956*	90918*	90826*	90370*	90227*	90196*	**90121***	90031*	89939*	89783*	89626*	89544*	89456*	89362*	89254*	89096*
15	15	15	15	15	15	**15**	15	15	15	15	15	15	15	15	15
6	6	6	6	6	6	**6**	6	6	6	6	6	6	6	6	6
41	41	41	41	41	41	**41**	41	41	41	41	41	41	41	41	41
	46	46	46	46	46	**46**	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	23	37	37	37	37	**37**	37	37	37	37	37	37	37	37	37
		23	23	23	23	**23**	23	23	23	23	23	23	23	23	23
			45	5	5	**5**	5	5	5	5	5	5	5	5	5
			25	45	45	**45**	45	45	45	45	45	45	45	45	45
				25	25	**43**	43	43	43	43	43	43	43	43	43
					24	**24**	29	29	29	29	29	29	29	29	29
						25	25	25	56	56	56	56	56	56	56
							56	56	25	25	25	25	25	25	25
								24	24	40	40	40	40	40	40
									40	24	2	2	2	2	2
									14	2	31	31	31	31	31
										14	24	14	14	14	14
											14	24	48	48	48
												59	59	59	59
												48	34	34	34
													24	24	24
														55	55
														61	27
														27	35
															7
															61
															20
3	5	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17	19	20	23	26

* Retorno de polpa, em t.

Para efeito de discussão dos relatórios de análise de sensibilidade apresentados nas próximas tabelas, tomou-se como referência as 11 melhores árvores selecionadas, as quais encontram-se mostradas na Tabela 18.

Tabela 18. "Ranking" das 11 árvores matrizes selecionadas e respectivos volumes de madeira empregados e retornos em polpa.

Árvore selecionada	Volume de madeira (m^3)	Retorno de polpa (t/m^3)	Retorno de polpa (t)
15	40.650,584	0,2361	9.597,603
6	40.650,584	0,3000	12.195,175
41	40.650,584	0,2437	9.906,547
46	40.650,584	0,2659	10.808,990
37	40.650,584	0,2382	9.682,969
23	40.650,584	0,2564	10.422,810
5	40.650,584	0,2346	9.536,627
45	40.650,584	0,2471	10.044,759
43	30.185,204	0,2461	7.428,579
24	1.012,825	0,2728	276,299
25	758,326	0,2916	221,128
Total	357.161,030	-	90.121,486

Observou-se também que a ordem de seleção não pôde ser a mesma para retorno de polpa não-branqueada por metro cúbico de madeira empregado, visto que o método levou em conta a solução máxima para as váriáveis escolhidas, e as restrições, como massas de lignina residual e solubilizada, massa de madeira empregada, custo de polpação e área de solo utilizada.

Se fossem diminuídos os limites das outras restrições, como foi feito para volume de madeira, as árvores selecionadas seriam as mesmas? Para efeito de confirmação, o programa foi alimentado com os valores limites das respectivas

restrições e diminuídos para 10% do valor original estimado. Obteve-se os resultados de retorno de polpa não-branqueada seca (Tabela 19), bem como o "ranking" de seleção (Tabela 20) feito também com a diminuição dos limites das outras restrições, ou seja, massas de madeira, lignina residual e solubilizada, custo da polpação e área utilizada. Logo, verificou-se uma repetição das árvores matrizes selecionadas, o que, confirmou a lógica do método utilizado.

Tabela 19. Retornos obtidos mediante a alteração dos limites das restrições envolvidas.

Restrição	Retorno (t)	
	100% do limite da restrição	10% do limite da restrição
Volume de madeira, em m^3	90.955,78	90.030,67
Massa de madeira, em t	90.955,78	89.958,91
Massa de lignina residual, em t	90.955,78	89.968,67
Massa de lignina solubilizada, em t	90.955,78	89.983,45
Custo da polpação, em US$	90.955,78	89.983,57
Área de solo utilizada, em ha	90.955,78	90.061,85

Tabela 20. Árvores matrizes selecionadas levando-se em conta a diminuição dos limites das restrições.

Volume madeira (m^3)		Massa madeira (t)		Massa lignina residual (t)		Massa lignina solubilizada (t)		Custo polpação (US$)		Área de solo utilizada (ha)	
100%	10%	100%	10%	100%	10%	100%	10%	100%	10%	100%	10%
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
	46		46		46		46		46		46
	37		37		37		37		37		37
	23		23		23		23		23		23
	5		5		5		5		5		5
	45		45		45		45		45		45
	43		43		43		43		43		43
	29		29		29		29		29		29
	25		25		25		25		25		-
	56		56		-		-		56		56
	-		-		24		24		-		-

Tabela 21. Restrições atuantes e solução ótima quanto ao retorno máximo de polpa.

Restrição	Solução é máxima			Retorno = 90.955,78	
	Condição	Preço-sombra	Limite (RHS)	Utilizado	Folgas
Massa madeira, em t	Atuante	0,639	164.119,008	164.119,008	0,000
Massa lig. res., em t	Não	0,000	2.333,557	2.286,468	47,089
Volume madeira, em m^3	Não	0,000	369.550,756	357.161,030	12.389,720
Custo polpação, em US$	Não	0,000	17,503,515.53	17,337,734.65	165,780.88
Massa lig. Solub., em t	Atuante	-0,410	39.884,312	39.884,312	0,000
Área utilizada, em ha	Atuante	2,831	256,3	256,3	0,000
Volume árv. 1, em m^3	Não	0,000	369.550,756	0,000	369.550,756
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Volume árv. 6, em m^3	Não	0,000	369.550,756	121.229,000	248.321,760
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Volume árv. 15, em m^3	Não	0,000	369.550,756	143.778,000	225.772,760
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Volume árv. 41, em m^3	Não	0,000	369.550,756	84.699,000	284.851,760
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Volume árv. 64, em m^3	Não	0,000	369.550,756	0,000	369.550,756

5.8.2.3 Restrições atuantes

Observa-se na Tabela 21, que as restrições para massas de madeira e lignina solubilizada e área utilizada foram atuantes na questão, o que pelo fato de apresentarem folgas nulas, assim como valores de preço-sombra não nulos. Por exemplo, substituindo-se a solução ótima obtida na restrição associada à massa de madeira, observa-se que as 164.119,008 toneladas de madeira disponíveis são efetivamente utilizadas ("usage"), sendo que na eventualidade de se obter uma tonelada adicional, o valor da função objetivo, ou seja, o retorno, seria aumentado em 0,639 toneladas. Isto significa que a cada alteração unitária no valor limite (RHS) da restrição em questão, ocorre uma correspondente alteração da função objetivo, exatamente do valor previsto para o preço-sombra. É de se esperar, portanto, que a variação no limite (RHS) de uma restrição atuante seja diretamente proporcional ao valor do preço-sombra. Entretanto, essa relação diretamente proporcional entre variação no limite e variação no valor da função objetivo deverá respeitar alguns limites, uma vez que extrapolando-se um determinado intervalo de variação, tal restrição poderá tornar-se não-atuante. Isso foi verificado quando alterou-se o limite da restrição de volume de madeira para 40.650,584 metros cúbicos, quando da tentativa de selecionar-se um número razoável de árvores. Assim, passou-se a ter a seguinte solução ótima (Tabela 22).

Tabela 22. Restrições atuantes e solução ótima quanto ao retorno máximo de polpa, para um número razoável de árvores matrizes selecionadas.

	Solução é ótima			Retorno = 90.121,486 t	
Restrição	Condição	Preço-sombra	Limite (RHS)	Utilizado	Folgas
Massa madeira, em t	Atuante	0,639	164.119,008	164.119,008	0,000
Massa lig. res., em t	Não	0,000	2.333,557	2.286,468	47,089
Volume mad., em m^3	Não	0,000	369.550,756	357.161,030	12.389,720
Custo polpação, em US$	Não	0,000	17,503,515.53	17,337,734.65	165,780.88
Massa lig. Solub., em t	Atuante	-0,410	39.884,312	39.884,312	0,000
Área utilizada, em ha	Atuante	2,831	256,3	256,3	0,0
Volume árv. 01, em m^3	Não	0,000	40.650,584	0,000	40.650,584
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Volume árv. 05, em m^3	Atuante	0,0008	40.650,584	40.650,584	0,000
Volume árv. 06, em m^3	Atuante	0,0107	40.650,584	40.650,584	0,000
Volume árv. 15, em m^3	Atuante	0,0022	40.650,584	40.650,584	0,000
Volume árv. 23, em m^3	Atuante	0,0009	40.650,584	40.650,584	0,000
Volume árv. 24, em m^3	Não	0,0000	40.650,584	1.012,825	39.637,759
Volume árv. 25, em m^3	Não	0,0000	40.650,584	758,326	39.892,258
Volume árv. 37, em m^3	Atuante	0,0012	40.650,584	40.650,584	0,000
Volume árv. 41, em m^3	Atuante	0,0024	40.650,584	40.650,584	0,000
Volume árv. 43, em m^3	Não	0,0000	40.650,584	30.185,204	10.465,380
Volume árv. 45, em m^3	Atuante	0,0011	40.650,584	40.650,584	0.000
Volume árv. 46, em m^3	Atuante	0,0037	40.650,584	40.650,584	0.000

Tabela 23. Intervalos de variação dos limites (RHS) das restrições.

Restrição	Solução é máxima			Retorno = 90.121,486 t	
	Condição	Preço-sombra	Limite (RHS)	Mínimo	Máximo
Massa madeira, em t	Atuante	0,639	164.119,008	164.071,250	164.266,610
Massa lig. res., em t	Não	0,000	2.333,557	2.286,468	Nenhum
Volume mad., em m^3	Não	0,000	369.550,756	357.161,030	Nenhum
Custo polp., em US$	Não	0,000	17,503,515.53	17,337,735.00	Nenhum
Massa lig. Sol., em t	Atuante	-0,410	39.884,312	39.864,939	39.901,477
Área utilizada, em ha	Atuante	2,831	256,300	253,523	256,518
Volume árv. 01, em m^3	Não	0,000	40.650,584	0,000	Nenhum
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Volume árv. 05, em m^3	Atuante	0,00079	40.650,584	38.823,536	58.395,508
Volume árv. 06, em m^3	Atuante	0,0107	40.650,584	7.203,482	41.286,391
Volume árv. 15, em m^3	Atuante	0,0022	40.650,584	38.799,996	62.229,592
Volume árv. 23, em m^3	Atuante	0,0009	40.650,584	37.352,813	42.698,252
Volume árv. 24, em m^3	Não	0,0000	40.650,584	1.012,825	Nenhum
Volume árv. 25, em m^3	Não	0,0000	40.650,584	758,326	Nenhum
Volume árv. 37, em m^3	Atuante	0,0012	40.650,584	39.005,250	53.904,005
Volume árv. 41, em m^3	Atuante	0,0024	40.650,584	39.988,864	48.754,620
Volume árv. 43, em m^3	Não	0,0000	40.650,584	30.185,204	Nenhum
Volume árv. 45, em m^3	Atuante	0,0011	40.650,584	40.007,423	50.968,110
Volume árv. 46, em m^3	Atuante	0,0037	40.650,584	39.840,244	49.432,277

A discussão dos dados da Tabela 22 segue a mesma lógica daquela efetuada sobre os dados da Tabela 21. A partir deste novo cenário, onde se obteve um número razoável de árvores matrizes selecionadas, verificou-se novos limites, o que gerou a Tabela 23, que se refere ao intervalo de variação dos limites (RHS) das restrições.

5.8.2.4 Intervalo de variação dos limites (RHS) das restrições

Enquanto o limite da restrição de massa de madeira variar dentro do intervalo compreendido entre 164.071,250 e 164.266,610 toneladas de madeira, a variação correspondente no valor da função objetivo continuará a ser diretamente proporcional ao valor do preço-sombra. Vale ainda lembrar que, dentro desse intervalo de variação do limite, naturalmente outras soluções ótimas deverão ser obtidas, mas associadas a um mesmo conjunto de árvores selecionadas, no caso, as árvores 5, 6, 15, 23, 24, 25, 37, 41, 43, 45 e 46. Notou-se também que os intervalos de variação dos limites das restrições e do preço-sombra para cada uma das restrições são válidos somente para cada uma das restrições, individualmente. Deste modo, se forem alterados os valores dos limites de duas restrições, ao mesmo tempo, nada poderá se inferir a partir daquelas informações apresentadas na Tabela 23.

5.8.2.5 Intervalo de variação dos coeficientes da função objetivo

A Tabela 24, a seguir, foi obtida associada ao intervalo de variação dos coeficientes da função objetivo (ORR = "Objective Row Ranges").

Tabela 24. Intervalos de confiança para os coeficientes da função objetivo.

Variável	Solução é máxima			Retorno = 90.121,486	
	Condição	Padrão utilizado	Ret. (t/m^3)	Mínimo	Máximo
Árvore 1	Não	0,000	0,2458	Nenhum	0,2534
Árvore 5	Base	40.650,584	0,2346	0,2338	Nenhum
Árvore 6	Base	40.650,584	0,3000	0,2893	Nenhum
Árvore 15	Base	40.650,584	0,2361	0,2339	Nenhum
Árvore 23	Base	40.650,584	0,2564	0,2555	Nenhum
Árvore 24	Base	1.012,825	0,2728	0,2721	0,2731
Árvore 25	Base	758,326	0,2916	0,2909	0,2921
Árvore 37	Base	40.650,584	0,2382	0,2370	Nenhum
Árvore 41	Base	40.650,584	0,2437	0,2413	Nenhum
Árvore 43	Base	30.185,204	0,2461	0,2460	0,2465
Árvore 45	Base	40.650,584	0,2471	0,2460	Nenhum
Árvore 46	Base	40.650,584	0,2659	0,2622	Nenhum

Tais informações são importantes pelo fato de poderem adiantar algo a respeito do nível de incerteza incorporado nos valores dos coeficientes da função objetivo. Por exemplo, enquanto o valor do retorno unitário da árvore 43 (0,2461 t/m^3) estiver dentro do intervalo compreendido entre 0,2460 e 0,2465 t/m^3, a solução ótima, em termos de volume de madeira utilizado de cada árvore, continuará sendo o mesmo, que neste exemplo foi de 30.185,204 m^3. Entretanto, caso a empresa necessite de um maior nível de segurança quanto ao volume inicialmente obtido em função de eventuais oscilações de produção de madeira desse possível clone, essa tabela informa as faixas individuais de variação dos valores dos coeficientes da função objetivo, no caso os próprios retornos unitários, de tal forma que seja mantido o padrão de utilização de 30.185,204 m^3 de madeira da árvore 43, 758,326 m^3 da árvore 25, 1.012,825 m^3 da árvore 24 e 40.650,584 m^3 das demais árvores selecionadas. Obviamente, nenhuma unidade das árvores que não foram selecionadas.

Por fim, vale ainda ressaltar que, ao se variar o valor de um determinado coeficiente da função objetivo dentro do intervalo proposto, os níveis de madeira utilizados serão mantidos mas, naturalmente, o valor da função objetivo, associada ao retorno de polpa não-branqueada, será alterado.

5.8.3 Ganhos obtidos com a aplicação do método proposto

A Tabela 25 mostra a comparação dos principais parâmetros estudados, referentes aos cenários abordados, ou seja, com as médias das 64 árvores estudadas e com as apenas 11 árvores matrizes selecionadas.

Tabela 25. Médias dos principais parâmetros estudados, referentes aos cenários abordados.

Parâmetro	Média das 64 árvores pré-selecionadas	Média das 11 árvores selecionadas
Vsc_i, em m^3	0,893	0,887
Dbm, em t/m^3	0,447	0,471
Mas, em t	401,1	420,3
H, em %	73,19	73,48
L, em %	25,70	25,87
Rbgm, em %	53,12	54,70
C, em US$/t	200,58	191,16
C, em US$/$m^3$	47,54	49,03
Cem, em m^3/t	4,236	3,911
Cem, em t/t	1,893	1,828
Nk	18,2	18,0
Lr, em %	2,68	2,63
Ls, em t/m^3	0,1086	0,1149
Árvore/t	4,7	4,5
Hectare	253,8	241,3
Retorno, em t	87.120,0	90.121,5

A partir da Tabela 25, pode-se verificar que houve ganho, com as 11 árvores matrizes selecionadas em relação ao conjunto das 64 árvores estudadas, para os parâmetros densidade básica (Dbm), massa seca da árvore (Mas), holocelulose (H), rendimento bruto gravimétrico (Rbgm), custo de deslignificação (C, US$/t), consumo específico de madeira (Cem), número kappa (Nk), ligninas residual (Lr) e solubilizada(Ls), hectares plantados e retorno de polpa. O parâmetro custo de deslignificação em US$/$m^3$ de madeira foi maior para a média das 11 árvores matrizes selecionadas; porém, em US$/t de polpa seca foi menor. Pode-se observar realmente, que quando levado em

conta o consumo específico de madeira, houve um ganho real com relação a esse parâmetro.

A Tabela 26 mostra, de forma clara, os ganhos obtidos com a aplicação do método proposto em relação à média dos parâmetros estudados, referente às 64 árvores pré-selecionadas.

Tabela 26. Ganhos obtidos com a aplicação do método proposto.

Parâmetro	Cenário I
Massa de polpa s.e., em t/ano	3.001,5
Dias/ano	12,4
Volume de madeira, em m^3/ano	12.779,070
Massa de lignina residual, em t/ano	47,1
Massa de lignina solubilizada, em t/ano	0,0063
Custo da deslignificação, em US$/$m^3$	-1.49
Custo da deslignificação, em US$/árvore	-1.32
Custo da deslignificação, em US$/ t polpa	8.84
Número de árvores anuais/ t polpa	0,2
Número de árvores anuais	14.407,1
Número de hectares anuais	8,6

Pode-se verificar nessa tabela que os ganhos obtidos, em relação às médias das 64 árvores pré-selecionadas, são realmente muito expressivos.

Observa-se um ganho de massa de polpa de 3.001,5 toneladas por ano inclusive com a redução de 12.779,070 m^3 no consumo de madeira que deveria ser suprido pelas 64 árvores pré-selecionadas. Isto equivale à produção de 12,4 dias de funcionamento da fábrica, considerando que esta funciona 24 horas por dia.

Com a produção de 47,1 toneladas por ano, a menos, de lignina residual na polpa obtida, obtém-se um ganho consequente no custo do branqueamento

desta polpa, uma vez que serão exigidos menores quantidades de energia e produtos químicos em tal processo.

Observa-se um ganho com relação à quantidade de lignina solubilizada por ano causado pela otimização do processo de deslignificação, ou seja, houve um aumento da quantidade de lignina solubilizada, da ordem de 80,5 toneladas por ano, e uma diminuição do custo desse processo com a seleção das 11 árvores matrizes selecionadas.

Verifica-se ganhos negativos com o custo de deslignificação em dólares por metro cúbicos de madeira utilizada; porém, o ganho com o custo de deslignificação em dolares por tonelada de polpa não-branqueada é muito superior, o que implica em ganhos positivos para esse parâmetro.

Outro parâmetro importante e que foi minimizado com a aplicação do método proposto, foi o número de árvores anuais necessário para a produção de uma tonelada de polpa. A redução desse número, implicou numa sugnificativa redução também da área necessária de plantio, tendo-se em vista que este fator é muito importante para as empresas florestais, uma vez que elas devem e buscam produzir mais com insumos cada vez mais escassos.

6 CONCLUSÕES

De acordo com o método aplicado e com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que:

Não devem ser utilizados parâmetros isolados, sejam estes dendrométricos, tecnológicos ou organizacionais, na seleção de árvores matrizes, bem como na otimização de quaisquer objetivos.

Não devem ser utilizados métodos restritos no julgamento dos valores dos parâmetros, visto que tais métodos não apresentam a sensibilidade necessária para ponderar os verdadeiros limites dos mesmos e nem levar em conta a interação, que normalmente há, entre eles.

A resolução do problema através da programação linear apresentou informações que seriam impossíveis de serem obtidas com os métodos tradicionais de seleção de árvores e otimização da produção de polpa.

O método proposto permite selecionar árvores matrizes, sem prejuízo da variabilidade genética, e também possibilita a apresentação do "ranking" das melhores árvores para que o tomador de decisões possa escolher e definir o número de matrizes ideal para o seu programa de desenvolvimento.

Possibilitou-se uma visualização pormenorizada dos parâmetros envolvidos, o que implica numa maior facilidade de tomada de decisões no planejamento e gerenciamento da indústria, bastando, para isso, alterar diretamente na planilha do programa as eventuais mudanças nos parâmetros e limites propostos. Dessa forma, permite grande velocidade de simulações a partir de simples alterações dos RHSs.

As variáveis (árvores) que apresentam valores relativamente ótimos para rendimento bruto gravimétrico, número kappa e consumo específico de madeira, nem sempre ficaram dentre as primeirass no "ranking", visto que esbarraram em restrições de densidade básica, lignina solubilizada e/ou custo da deslignificação, quando interagidas. Isso ocorreu, por exemplo, com as árvores 7, 46, 23 e outras.

A seleção de um número razoável de árvores matrizes, no caso 11 árvores, pode ser considerada satisfatória pelo fato de ser uma medida estratégica no desenvolvimento de um programa de melhoramento, por não restringir demasiadamente a base genética e por possibilitar um retorno de 90.121,5 toneladas de polpa não-branqueada seca, o que supera o valor apresentado inicialmente pelo conjunto das 64 árvores, que era de 87.120,0 toneladas.

O aumento da produtividade foi muito significativo, visto que o ganho teórico obtido foi em função da seleção de matrizes e não, por exemplo, por causa de um possível aumento da capacidade física da indústria, ou da quantidade de matéria-prima ou insumos utilizados.

Enquanto os limites das restrições variarem dentro dos respectivos intervalos, compreendido entre os valores mínimo e máximo (Tabela 23), a variação correspondente no valor da função objetivo continuará a ser diretamente proporcional ao valor do preço-sombra. Naturalmente, outras soluções ótimas deverão ser obtidas, porém, associadas ao mesmo conjunto de árvores selecionadas.

Enquanto os valores de retorno unitário, ou seja, os coeficientes da função objetivo, das árvores selecionadas permanecerem compreendidos entre os respectivos valores mínimo e máximo (Tabela 24), a solução ótima, em termos de volume de madeira utilizado de cada árvore, continuará sendo a mesma; mas o valor da função objetivo associada ao retorno de polpa não-branqueada seca, será alterado.

Comparando-se os principais parâmetros médios estudados das 11 árvores matrizes selecionadas com as 64 árvores pré-selecionadas (Tabelas 25 e 26), conclui-se que houve expressivos ganhos em densidade básica, massa seca da árvore, holocelulose, rendimento bruto gravimétrico, custo de deslignificação, consumo específico de madeira, número kappa, ligninas residual e solubilizada, área de plantio e, principalmente, rendimento em polpa não-branqueada seca. Obteve-se um ganho de massa de polpa de 3.001,5 t/ano, inclusive com a redução de 12.779,1 m^3 no consumo de madeira. Isso equivale à produção de 12,4 dias de funcionamento da fábrica. Além da produção de 47,1 t/ano, a menos, de lignina residual na polpa obtida, verifica-se ganhos com o custo de deslignificação da ordem de US$ 8.84 por tonelada de polpa não-branqueada seca, e com isso obtém-se um ganho conseqüente no custo do branqueamento dessa polpa, uma vez que serão exigidas menores quantidades de energia e produtos químicos em tal processo.

Observa-se que houve uma minimização do número de árvores necessários para a produção de uma tonelada de polpa não-branqueada seca, o que implica numa significativa redução também da área de plantio, de 8,6 hectares/ano. Esse fato é muito importante, uma vez que as empresas florestais buscam produzir, cada vez mais, com insumos cada vez mais escassos.

A metodologia aplicada neste tipo de problema foi plenamente satisfatória. De posse de dados confiáveis a respeito dos parâmetros envolvidos, bem como de outros que se julgar importantes, sempre poder-se-á efetuar uma análise apurada e detalhada de todo o processo de produção, atendendo inclusive às necessidades ou objetivos futuros, que obriguem a selecionar novos indivíduos com outras características.

A proposta apresentada mostrou-se bastante útil como instrumento de auxílio na definição de estratégias e tomadas de decisões, na seleção de árvores matrizes para fins clonais.

A principal limitação deste trabalho foi não encontrar na literatura referências anteriores que auxiliassem na escolha das restrições, o que serviria de base para o trabalho realizado.

Para minimizar a escassez de informações acerca de metodologias na área de seleção de árvores para o processo de polpação, propõem-se esta contribuição inédita, voltada para a otimização do rendimento e qualidade, tanto da madeira quanto da polpa não-branqueada, através da programação linear.

Enfim, sugere-se que outros estudos de seleção de árvores e processo de polpação sejam realizados através da programação linear, enriquecendo as informações fornecidas pelo método proposto no presente trabalho.

ANEXOS

Tabelas

Anexo A. Valores medidos de sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis*.

Árvore	DAP (cm)	HT (m)	HC (m)
1	30,9	34,6	28,9
2	33,2	35,5	29,9
3	30,6	35,7	30,3
4	30,3	34,8	28,2
5	30,9	33,9	28,9
6	31,2	37,1	31,7
7	32,8	36,0	29,8
8	32,4	34,9	29,5
9	31,8	35,5	29,8
10	31,1	34,7	30,0
11	29,9	33,3	27,1
12	32,8	35,8	30,1
13	30,7	34,8	28,2
14	29,7	34,6	28,4
15	29,9	34,1	28,1
16	29,5	34,4	29,2
17	32,2	34,1	29,2
18	31,7	35,4	30,0
19	31,4	35,3	29,5
20	33,9	34,6	30,3
21	32,2	34,1	28,9
22	32,0	33,3	28,7
23	31,2	35,0	29,6
24	31,2	34,4	28,3
25	30,3	35,1	29,7
26	31,4	38,0	32,9
27	27,2	35,9	30,0
28	30,7	35,2	29,1
29	27,0	32,3	27,3
30	29,5	34,8	29,2
31	27,8	34,6	29,4
32	27,4	35,6	29,9
33	27,6	37,0	29,5
34	32,1	36,9	30,3
35	28,6	33,9	27,0
36	29,8	35,9	28,8
37	30,4	33,3	28,3
38	26,7	32,4	26,7
39	26,9	34,4	26,9
40	26,4	33,8	26,9
41	26,8	31,1	26,1
42	29,5	33,8	28,4
43	30,2	35,5	29,4
44	26,7	34,3	29,1
45	27,3	32,2	27,6
46	25,2	33,5	28,0
47	26,5	34,1	28,4
48	30,9	35,2	29,7
49	26,4	34,0	26,2
50	27,4	34,0	28,1
51	27,5	34,1	28,0
52	28,3	35,4	30,0
53	28,8	34,1	29,0
54	28,5	35,4	29,8
55	30,1	34,9	29,0
56	26,5	34,0	28,4
57	26,6	34,4	27,9
58	28,4	33,2	27,8
59	29,5	33,8	28,0
60	27,0	33,9	27,9
61	26,7	30,8	25,3
62	29,0	34,2	27,2
63	27,9	35,2	30,0
64	29,0	33,5	28,2
Média	29,40	34,5	28,8

Anexo B. Densidade básica dos discos em diferentes posições relativas da altura comercial (HC) e densidade básica média de cada árvore de *Eucalyptus grandis*.

Árvore	Densidade Básica dos Discos (g/cm^3)					Densidade Básica Média da Árvore (t/m^3)
	0% HC	25% HC	50% HC	75% HC	100% HC	
1	0,470	0,411	0,518	0,519	0,475	0,466
2	0,510	0,422	0,518	0,500	0,500	0,477
3	0,467	0,422	0,428	0,455	0,480	0,440
4	0,419	0,373	0,439	0,444	0,480	0,411
5	0,436	0,389	0,464	0,470	0,458	0,430
6	0,540	0,515	0,524	0,533	0,536	0,526
7	0,493	0,427	0,441	0,517	0,536	0,462
8	0,462	0,408	0,439	0,500	0,488	0,442
9	0,469	0,423	0,442	0,472	0,500	0,447
10	0,529	0,437	0,466	0,506	0,500	0,476
11	0,502	0,464	0,474	0,500	0,548	0,483
12	0,500	0,444	0,519	0,517	0,500	0,485
13	0,495	0,391	0,412	0,458	0,466	0,432
14	0,488	0,424	0,437	0,510	0,529	0,456
15	0,453	0,432	0,417	0,449	0,462	0,437
16	0,431	0,400	0,481	0,466	0,480	0,436
17	0,520	0,436	0,456	0,447	0,444	0,462
18	0,432	0,399	0,419	0,453	0,500	0,422
19	0,481	0,415	0,478	0,473	0,500	0,455
20	0,502	0,403	0,465	0,451	0,433	0,447
21	0,535	0,544	0,505	0,486	0,467	0,523
22	0,441	0,424	0,432	0,473	0,526	0,440
23	0,508	0,447	0,478	0,523	0,488	0,479
24	0,521	0,486	0,520	0,545	0,545	0,513
25	0,565	0,534	0,523	0,500	0,467	0,532
26	0,518	0,475	0,510	0,560	0,533	0,505
27	0,511	0,478	0,552	0,569	0,538	0,516
28	0,532	0,411	0,446	0,420	0,474	0,451
29	0,457	0,470	0,438	0,431	0,470	0,455
30	0,453	0,373	0,401	0,516	0,500	0,421
31	0,457	0,358	0,387	0,430	0,429	0,399
32	0,522	0,459	0,439	0,480	0,458	0,471
33	0,481	0,422	0,458	0,474	0,517	0,455
34	0,437	0,413	0,393	0,430	0,478	0,418
35	0,376	0,345	0,443	0,396	0,447	0,385

Anexo B. Densidade básica dos discos em diferentes posições relativas da altura comercial (HC) e densidade básica média de cada árvore de *Eucalyptus grandis*.

36	0,381	0,353	0,397	0,424	0,486	0,383
37	0,448	0,429	0,419	0,436	0,481	0,434
38	0,493	0,476	0,514	0,500	0,517	0,493
39	0,437	0,399	0,423	0,456	0,440	0,422
40	0,456	0,397	0,423	0,353	0,478	0,415
41	0,421	0,430	0,440	0,511	0,500	0,443
42	0,404	0,363	0,397	0,414	0,470	0,391
43	0,485	0,422	0,448	0,500	0,500	0,456
44	0,378	0,360	0,372	0,400	0,429	0,375
45	0,434	0,438	0,446	0,465	0,480	0,444
46	0,520	0,462	0,458	0,515	0,500	0,483
47	0,518	0,447	0,500	0,512	0,529	0,487
48	0,394	0,396	0,406	0,438	0,400	0,403
49	0,373	0,354	0,397	0,460	0,455	0,387
50	0,432	0,407	0,436	0,489	0,474	0,432
51	0,514	0,450	0,500	0,500	0,500	0,484
52	0,482	0,391	0,447	0,447	0,526	0,438
53	0,445	0,412	0,435	0,461	0,500	0,434
54	0,502	0,480	0,468	0,496	0,516	0,486
55	0,463	0,416	0,466	0,478	0,500	0,449
56	0,499	0,408	0,425	0,466	0,452	0,442
57	0,456	0,410	0,469	0,448	0,483	0,442
58	0,402	0,396	0,407	0,437	0,435	0,407
59	0,497	0,388	0,400	0,430	0,450	0,423
60	0,403	0,342	0,349	0,397	0,474	0,370
61	0,417	0,390	0,418	0,437	0,500	0,413
62	0,451	0,446	0,449	0,484	0,500	0,455
63	0,422	0,394	0,488	0,456	0,500	0,433
64	0,449	0,422	0,466	0,492	0,545	0,451
Média	0,467	0,421	0,450	0,471	0,487	0,447

Anexo C. Valores individuais obtidos para massa e volume comerciais referente às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Árvores	Árvore						Casca			
	Massa comercial			Volume comercial			Massa comercial		Volume comercial	
	com casca (kg)	sem casca (kg)	sem casca (%)	com casca (m^3)	sem casca (m^3)	sem casca (%)	(kg)	(%)	(m^3)	(%)
1	473,642	437,166	92,30	1,069	0,938	87,77	36,48	7,70	0,131	12,23
2	600,815	563,726	93,83	1,300	1,182	90,89	37,09	6,17	0,118	9,11
3	512,052	470,889	91,96	1,225	1,070	87,37	41,16	8,04	0,155	12,63
4	422,328	389,097	92,13	1,074	0,946	88,05	33,23	7,87	0,128	11,95
5	411,579	383,639	93,21	1,000	0,892	89,25	27,94	6,79	0,107	10,75
6	594,720	559,012	94,00	1,206	1,063	88,11	35,71	6,00	0,143	11,89
7	527,591	496,496	94,11	1,216	1,076	88,43	31,09	5,89	0,141	11,57
8	539,787	512,284	94,90	1,278	1,159	90,72	27,50	5,10	0,119	9,28
9	543,683	503,693	92,64	1,277	1,127	88,23	39,99	7,36	0,150	11,77
10	544,473	498,332	91,53	1,201	1,047	87,16	46,14	8,47	0,154	12,84
11	456,341	416,953	91,37	0,990	0,864	87,21	39,39	8,63	0,127	12,79
12	640,063	583,480	91,16	1,385	1,202	86,78	56,58	8,84	0,183	13,22
13	449,227	413,157	91,97	1,086	0,957	88,10	36,07	8,03	0,129	11,90
14	442,438	411,615	93,03	1,006	0,902	89,68	30,82	6,97	0,104	10,32
15	425,005	400,448	94,22	1,021	0,917	89,81	24,56	5,78	0,104	10,19
16	438,250	398,772	90,99	1,056	0,915	86,69	39,48	9,01	0,140	13,31

Anexo C. Valores individuais obtidos para massa e volume comerciais referente às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

17	562,422	507,569	90,25	1,291	1,099	85,10	54,85	9,75	0,192	14,90
18	476,473	434,888	91,27	1,172	1,032	88,01	41,58	8,73	0,140	11,99
19	475,977	433,454	91,07	1,098	0,953	86,79	42,52	8,93	0,145	13,21
20	593,807	552,620	93,06	1,390	1,235	88,86	41,19	6,94	0,155	11,14
21	591,342	555,694	93,97	1,183	1,062	89,78	35,65	6,03	0,121	10,22
22	453,060	422,904	93,34	1,091	0,961	88,08	30,16	6,66	0,130	11,92
23	495,112	453,028	91,50	1,082	0,945	87,37	42,08	8,50	0,137	12,63
24	548,176	519,648	94,80	1,133	1,013	89,42	28,53	5,20	0,120	10,58
25	577,649	534,820	92,59	1,166	1,005	86,19	42,83	7,41	0,161	13,81
26	593,427	554,941	93,51	1,237	1,099	88,85	38,49	6,49	0,138	11,15
27	450,351	415,334	92,22	0,921	0,804	87,33	35,02	7,78	0,117	12,67
28	497,141	459,033	92,33	1,161	1,018	87,67	38,11	7,67	0,143	12,33
29	383,935	343,916	89,58	0,871	0,757	86,84	40,02	10,42	0,115	13,16
30	416,690	397,858	95,48	1,021	0,945	92,59	18,83	4,52	0,076	7,41
31	349,786	324,046	92,64	0,918	0,812	88,41	25,74	7,36	0,106	11,59
32	414,469	392,376	94,67	0,935	0,833	89,16	22,09	5,33	0,101	10,84
33	432,637	408,240	94,36	1,003	0,898	89,52	24,40	5,64	0,105	10,48
34	454,500	426,377	93,81	1,141	1,019	89,33	28,12	6,19	0,122	10,67
35	343,919	319,580	92,92	0,929	0,831	89,43	24,34	7,08	0,098	10,57
36	381,521	351,043	92,01	1,049	0,916	87,31	30,48	7,99	0,133	12,69

Anexo C. Valores individuais obtidos para massa e volume comerciais referente às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

37	417,494	393,563	94,27	1,015	0,907	89,38	23,93	5,73	0,108	10,62
38	348,426	328,790	94,36	0,752	0,667	88,65	19,64	5,64	0,085	11,35
39	323,471	302,656	93,57	0,787	0,716	91,00	20,82	6,43	0,071	8,99
40	311,736	286,391	91,87	0,796	0,691	86,74	25,35	8,13	0,106	13,26
41	319,280	292,810	91,71	0,780	0,660	84,64	26,47	8,29	0,120	15,36
42	359,910	336,316	93,44	0,967	0,860	88,96	23,59	6,56	0,107	11,04
43	478,454	434,954	90,91	1,112	0,954	85,82	43,50	9,09	0,158	14,18
44	311,731	291,115	93,39	0,866	0,777	89,74	20,62	6,61	0,089	10,26
45	361,061	335,525	92,93	0,862	0,755	87,65	25,54	7,07	0,106	12,35
46	338,535	315,754	93,27	0,727	0,654	90,01	22,78	6,73	0,073	9,99
47	386,275	349,861	90,57	0,820	0,718	87,66	36,41	9,43	0,101	12,34
48	418,236	387,311	92,61	1,086	0,962	88,56	30,92	7,39	0,124	11,44
49	293,509	265,377	90,42	0,783	0,686	87,61	28,13	9,58	0,097	12,39
50	363,718	338,086	92,95	0,870	0,782	89,84	25,63	7,05	0,088	10,16
51	394,043	363,297	92,20	0,843	0,750	89,04	30,75	7,80	0,092	10,96
52	383,587	345,849	90,16	0,924	0,791	85,52	37,74	9,84	0,134	14,48
53	371,632	344,053	92,58	0,885	0,792	89,51	27,58	7,42	0,093	10,49
54	479,890	431,212	89,86	1,051	0,888	84,51	48,68	10,14	0,163	15,49
55	432,526	409,396	94,65	0,985	0,911	92,52	23,13	5,35	0,074	7,48
56	327,868	308,317	94,04	0,760	0,698	91,88	19,55	5,96	0,062	8,12

Anexo C. Valores individuais obtidos para massa e volume comerciais referente às 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

57	347,740	320,123	92,06	0,791	0,724	91,47	27,62	7,94	0,068	8,53
58	342,999	309,321	90,18	0,869	0,761	87,57	33,68	9,82	0,108	12,43
59	399,256	353,571	88,56	0,980	0,836	85,25	45,68	11,44	0,145	14,75
60	280,061	256,440	91,57	0,773	0,693	89,68	23,62	8,43	0,080	10,32
61	285,915	252,021	88,15	0,715	0,611	85,42	33,89	11,85	0,104	14,58
62	399,886	378,372	94,62	0,913	0,832	91,08	21,51	5,38	0,081	8,92
63	373,904	342,244	91,53	0,889	0,790	88,93	31,66	8,47	0,098	11,07
64	397,438	349,931	88,05	0,904	0,776	85,77	47,51	11,95	0,129	14,23
Média	433,796	401,075	92,39	1,011	0,893	88,35	32,72	7,61	0,118	11,65

Anexo D. Composição química da madeira das sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis*.

Árvore	Holocelulose (%)	Lignina (%)	Extrativos Totais (%)
1	74,09	25,00	0,91
2	74,80	25,12	0,08
3	72,56	27,27	0,17
4	70,45	28,47	1,08
5	74,10	25,66	0,24
6	75,35	23,81	0,84
7	74,68	25,15	0,17
8	73,77	25,61	0,62
9	73,74	25,41	0,85
10	74,75	24,80	0,45
11	73,56	25,68	0,76
12	74,90	24,79	0,31
13	74,31	25,11	0,58
14	70,30	28,90	0,80
15	71,52	27,82	0,66
16	67,79	29,85	2,36
17	69,30	28,34	2,36
18	74,86	24,41	0,73
19	72,66	25,34	2,00
20	72,10	26,59	1,31
21	71,74	26,38	1,88
22	71,46	27,82	0,72
23	71,78	28,03	0,19
24	70,66	28,77	0,57
25	75,28	24,33	0,39
26	73,52	25,79	0,69
27	74,57	24,96	0,47
28	71,84	26,56	1,60
29	73,31	26,15	0,54
30	71,42	27,92	0,66
31	73,31	25,36	1,33
32	72,75	25,35	1,90

Anexo D. Composição química da madeira de sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis.*

33	76,63	23,24	0,13
34	72,96	26,87	0,17
35	71,76	27,24	1,00
36	73,08	25,79	1,13
37	73,64	25,00	1,36
38	71,34	26,51	2,15
39	74,45	25,43	0,12
40	75,31	23,78	0,91
41	73,85	25,49	0,66
42	71,03	27,96	1,01
43	72,07	26,42	1,51
44	73,13	26,14	0,73
45	76,61	23,12	0,27
46	73,37	26,16	0,47
47	71,99	25,96	2,05
48	71,88	25,75	2,37
49	72,57	25,03	2,40
50	70,80	26,36	2,84
51	72,58	24,93	2,49
52	75,71	23,33	0,96
53	72,69	25,34	1,97
54	74,54	23,76	1,70
55	71,84	26,26	1,90
56	72,18	25,50	2,32
57	73,71	24,30	1,99
58	73,29	25,55	1,16
59	76,15	22,96	0,89
60	74,16	24,47	1,37
61	75,48	23,60	0,92
62	75,21	22,98	1,81
63	74,72	24,25	1,03
64	73,99	24,98	1,03
Média	73,19	25,70	1,11

Anexo E. Valores individuais médios para Rendimento bruto gravimétrico (Rbg) e Número kappa (Nk), obtidos da deslignificação da madeira de sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis.*

Árvore	Rbg (%)	Nk
1	52,74	15,8
2	54,37	18,9
3	51,87	21,6
4	51,08	17,8
5	54,55	17,8
6	57,03	17,4
7	53,58	16,4
8	50,12	16,8
9	52,45	18,3
10	53,90	20,4
11	51,81	18,8
12	52,83	17,3
13	52,88	18,5
14	52,39	16,4
15	54,03	19,3
16	50,71	18,9
17	51,60	21,2
18	52,57	18,2
19	51,21	21,2
20	52,88	20,1
21	51,60	24,4
22	51,21	21,8
23	53,52	18,4
24	53,18	24,4
25	54,81	18,4
26	52,88	19,8
27	54,14	19,4
28	52,34	23,1
29	54,14	16,8
30	51,78	18,4
31	54,19	18,9
32	51,28	17,8
33	54,43	16,2
34	53,28	17,4
35	52,73	18,5
36	52,62	17,8
37	54,89	16,9
38	52,50	20,6
39	51,28	15,2
40	54,62	15,0
41	55,02	14,9
42	50,47	14,3
43	53,98	16,6
44	52,38	15,6
45	55,64	15,4
46	55,06	18,3
47	53,01	19,8
48	53,89	18,0
49	53,52	14,9
50	52,30	17,2
51	52,67	17,8
52	54,45	18,7
53	52,70	16,2
54	53,72	18,7
55	53,42	16,8
56	54,49	18,7
57	53,46	19,3
58	52,71	18,5
59	55,14	18,2
60	52,10	16,1
61	54,60	16,5
62	53,28	19,4
63	52,60	16,1
64	52,89	19,7
Média	53,12	18,2

Anexo F. Valores individuais médios para Consumo específico de madeira (Cem) e Lignina solubilizada (Ls), obtidos da deslignificação da madeira de sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis.*

Árvore	Ls (%)	Cem (m^3/t)
1	95,10	4,070
2	93,99	3,857
3	93,96	3,931
4	95,31	4,764
5	94,44	4,268
6	93,91	3,335
7	94,86	4,040
8	95,17	4,520
9	94,45	4,268
10	93,48	3,899
11	94,42	4,000
12	94,58	3,903
13	94,27	4,378
14	95,63	4,187
15	94,49	4,236
16	95,28	4,523
17	94,33	4,196
18	94,24	4,508
19	93,70	4,293
20	94,12	4,231
21	93,01	3,706
22	94,10	4,439
23	94,86	3,901
24	93,37	3,668
25	93,91	3,431
26	94,03	3,745
27	93,81	3,579
28	93,31	4,239
29	94,92	4,061
30	94,98	4,588
31	94,06	4,625
32	94,71	4,143
33	94,42	4,038
34	94,93	4,491
35	94,74	4,929
36	94,66	4,963
37	94,55	4,199
38	94,00	3,864
39	95,49	4,621
40	94,94	4,412
41	95,27	4,103
42	96,21	5,068
43	95,01	4,067
44	95,38	5,091
45	94,55	4,048
46	94,34	3,760
47	94,06	3,876
48	94,46	4,604
49	95,32	4,828
50	95,01	4,429
51	94,47	3,923
52	93,58	4,193
53	95,05	4,374
54	93,78	3,833
55	95,01	4,169
56	94,13	4,152
57	93,76	4,232
58	94,39	4,662
59	93,57	4,287
60	94,96	5,188
61	94,39	4,435
62	93,39	4,127
63	94,87	4,391
64	93,87	4,192
Média	94,46	4,236

Anexo G. Valores individuais médios para Custo, obtidos da deslignificação da madeira de sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis.*

Árvore	Custo (US$/t)
1	196,63
2	190,12
3	205,07
4	214,90
5	200,39
6	174,58
7	195,34
8	209,55
9	201,79
10	191,49
11	195,34
12	192,27
13	204,30
14	199,82
15	200,03
16	209,34
17	200,57
18	207,70
19	203,27
20	200,62
21	187,82
22	206,92
23	191,79
24	185,78
25	178,42
26	188,07
27	182,89
28	201,14
29	195,52
30	210,19
31	209,46
32	199,39
33	194,78
34	206,81
35	217,59
36	218,52
37	198,54
38	191,45
39	211,33
40	204,00
41	196,07
42	222,52
43	195,69
44	221,67
45	194,30
46	187,20
47	191,41
48	209,17
49	214,74
50	205,88
51	192,88
52	198,69
53	204,30
54	189,83
55	198,74
56	197,65
57	200,30
58	211,34
59	200,62
60	224,10
61	204,59
62	197,72
63	204,81
64	199,66
Média	200,58

Anexo H. Seleção obtida mediante utilização do método Excel para Rendimento bruto gravimétrico (Rbg) e Número kappa (Nk), dentre as sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis*.

Árvore	Rbg (%)	Nk	Rbg ≥ 53,12%	Nk ≤ 18,22	Seleção
1	52,736	15,759	Falso	Verdadeiro	
2	54,368	18,877	Verdadeiro	Falso	
3	51,870	21,590	Falso	Falso	
4	51,083	17,766	Falso	Verdadeiro	
5	54,548	17,843	Verdadeiro	Verdadeiro	5
6	57,026	17,346	Verdadeiro	Verdadeiro	6
7	53,583	16,428	Verdadeiro	Verdadeiro	7
8	50,121	16,826	Falso	Verdadeiro	
9	52,449	18,317	Falso	Falso	
10	53,896	20,408	Verdadeiro	Falso	
11	51,810	18,828	Falso	Falso	
12	52,829	17,273	Falso	Verdadeiro	
13	52,879	18,511	Falso	Falso	
14	52,391	16,399	Falso	Verdadeiro	
15	54,026	19,300	Verdadeiro	Falso	
16	50,713	18,920	Falso	Falso	
17	51,597	21,218	Falso	Falso	
18	52,569	18,221	Falso	Falso	
19	51,210	21,184	Falso	Falso	
20	52,884	20,057	Falso	Falso	
21	51,596	24,348	Falso	Falso	
22	51,209	21,834	Falso	Falso	
23	53,523	18,346	Verdadeiro	Falso	
24	53,179	24,415	Verdadeiro	Falso	
25	54,809	18,417	Verdadeiro	Falso	
26	52,880	19,839	Falso	Falso	
27	54,143	19,405	Verdadeiro	Falso	
28	52,336	23,119	Falso	Falso	
29	54,136	16,749	Verdadeiro	Verdadeiro	29
30	51,776	18,385	Falso	Falso	
31	54,193	18,905	Verdadeiro	Falso	
32	51,279	17,822	Falso	Verdadeiro	

Anexo H. Seleção obtida mediante utilização do método Excel para Rendimento bruto gravimétrico (Rbg) e Número kappa (Nk), dentre as sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis*.

33	54,429	16,230	Verdadeiro	Verdadeiro	33
34	53,277	17,409	Verdadeiro	Verdadeiro	34
35	52,729	18,536	Falso	Falso	
36	52,616	17,843	Falso	Verdadeiro	
37	54,892	16,921	Verdadeiro	Verdadeiro	37
38	52,498	20,649	Falso	Falso	
39	51,284	15,165	Falso	Verdadeiro	
40	54,623	14,996	Verdadeiro	Verdadeiro	40
41	55,021	14,855	Verdadeiro	Verdadeiro	41
42	50,473	14,340	Falso	Verdadeiro	
43	53,977	16,574	Verdadeiro	Verdadeiro	43
44	52,382	15,651	Falso	Verdadeiro	
45	55,643	15,401	Verdadeiro	Verdadeiro	45
46	55,058	18,311	Verdadeiro	Falso	
47	53,006	19,798	Falso	Falso	
48	53,891	17,976	Verdadeiro	Verdadeiro	48
49	53,521	14,923	Verdadeiro	Verdadeiro	49
50	52,298	17,147	Falso	Verdadeiro	
51	52,673	17,840	Falso	Verdadeiro	
52	54,454	18,686	Verdadeiro	Falso	
53	52,695	16,230	Falso	Verdadeiro	
54	53,719	18,696	Verdadeiro	Falso	
55	53,419	16,745	Verdadeiro	Verdadeiro	55
56	54,488	18,672	Verdadeiro	Falso	
57	53,461	19,337	Verdadeiro	Falso	
58	52,708	18,477	Falso	Falso	
59	55,141	18,159	Verdadeiro	Verdadeiro	59
60	52,099	16,133	Falso	Verdadeiro	
61	54,600	16,500	Verdadeiro	Verdadeiro	61
62	53,277	19,447	Verdadeiro	Falso	
63	52,597	16,118	Falso	Verdadeiro	
64	52,889	19,723	Falso	Falso	

Anexo I. Seleção obtida mediante utilização do método Excel para Rendimento bruto gravimétrico (Rbg), Número kappa (Nk) e Consumo específico de madeira (Cem), dentre as sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis.*

Árvore	Rbg (%)	Nk	Cem (m^3/t)	Rbg ≥ 53,12%	Nk ≤ 18,22	Cem ≤ 4,24m^3/t	Seleção
1	52,736	15,759	4,070	Falso	Verdadeiro	Verdadeiro	
2	54,368	18,877	3,857	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
3	51,870	21,590	3,931	Falso	Falso	Verdadeiro	
4	51,083	17,766	4,764	Falso	Verdadeiro	Falso	
5	54,548	17,843	4,268	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	
6	57,026	17,346	3,335	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	6
7	53,583	16,428	4,040	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	7
8	50,121	16,826	4,520	Falso	Verdadeiro	Falso	
9	52,449	18,317	4,268	Falso	Falso	Falso	
10	53,896	20,408	3,899	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
11	51,810	18,828	4,000	Falso	Falso	Verdadeiro	
12	52,829	17,273	3,903	Falso	Verdadeiro	Verdadeiro	
13	52,879	18,511	4,378	Falso	Falso	Falso	
14	52,391	16,399	4,187	Falso	Verdadeiro	Verdadeiro	
15	54,026	19,300	4,236	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
16	50,713	18,920	4,523	Falso	Falso	Falso	
17	51,597	21,218	4,196	Falso	Falso	Verdadeiro	
18	52,569	18,221	4,508	Falso	Falso	Falso	
19	51,210	21,184	4,293	Falso	Falso	Falso	
20	52,884	20,057	4,231	Falso	Falso	Verdadeiro	
21	51,596	24,348	3,706	Falso	Falso	Verdadeiro	
22	51,209	21,834	4,439	Falso	Falso	Falso	
23	53,523	18,346	3,901	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
24	53,179	24,415	3,668	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
25	54,809	18,417	3,431	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
26	52,880	19,839	3,745	Falso	Falso	Verdadeiro	
27	54,143	19,405	3,579	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
28	52,336	23,119	4,239	Falso	Falso	Verdadeiro	
29	54,136	16,749	4,061	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	29
30	51,776	18,385	4,588	Falso	Falso	Falso	
31	54,193	18,905	4,625	Verdadeiro	Falso	Falso	
32	51,279	17,822	4,143	Falso	Verdadeiro	Verdadeiro	

Anexo I. Seleção obtida mediante utilização do método Excel para Rendimento bruto gravimétrico (Rbg), Número kappa (Nk) e Consumo específico de madeira (Cem), dentre as sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *Eucalyptus grandis*.

33	54,429	16,230	4,038	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	33
34	53,277	17,409	4,491	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	
35	52,729	18,536	4,929	Falso	Falso	Falso	
36	52,616	17,843	4,963	Falso	Verdadeiro	Falso	
37	54,892	16,921	4,199	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	37
38	52,498	20,649	3,864	Falso	Falso	Verdadeiro	
39	51,284	15,165	4,621	Falso	Verdadeiro	Falso	
40	54,623	14,996	4,412	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	
41	55,021	14,855	4,103	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	41
42	50,473	14,340	5,068	Falso	Verdadeiro	Falso	
43	53,977	16,574	4,067	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	43
44	52,382	15,651	5,091	Falso	Verdadeiro	Falso	
45	55,643	15,401	4,048	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	45
46	55,058	18,311	3,760	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
47	53,006	19,798	3,876	Falso	Falso	Verdadeiro	
48	53,891	17,976	4,604	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	
49	53,521	14,923	4,828	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	
50	52,298	17,147	4,429	Falso	Verdadeiro	Falso	
51	52,673	17,840	3,923	Falso	Verdadeiro	Verdadeiro	
52	54,454	18,686	4,193	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
53	52,695	16,230	4,374	Falso	Verdadeiro	Falso	
54	53,719	18,696	3,833	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
55	53,419	16,745	4,169	Verdadeiro	Verdadeiro	Verdadeiro	55
56	54,488	18,672	4,152	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
57	53,461	19,337	4,232	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
58	52,708	18,477	4,662	Falso	Falso	Falso	
59	55,141	18,159	4,287	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	
60	52,099	16,133	5,188	Falso	Verdadeiro	Falso	
61	54,600	16,500	4,435	Verdadeiro	Verdadeiro	Falso	
62	53,277	19,447	4,127	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro	
63	52,597	16,118	4,391	Falso	Verdadeiro	Falso	
64	52,889	19,723	4,192	Falso	Falso	Verdadeiro	

Anexo J. Coeficientes da função objetivo e das restrições propostas para as sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Árvore	Msm	Função Objetivo	Mslr	Vsc	Custo	Area	Msls
1	0,466	0,2458	0,0057	1,0000	48,31	0,00064	0,1108
2	0,477	0,2593	0,0072	1,0000	49,30	0,00051	0,1126
3	0,440	0,2282	0,0072	1,0000	52,16	0,00056	0,1128
4	0,411	0,2100	0,0055	1,0000	45,11	0,00063	0,1117
5	0,430	0,2346	0,0062	1,0000	46,96	0,00067	0,1042
6	0,526	0,3000	0,0076	1,0000	52,35	0,00056	0,1176
7	0,462	0,2476	0,0060	1,0000	48,36	0,00056	0,1101
8	0,442	0,2215	0,0055	1,0000	46,36	0,00052	0,1077
9	0,447	0,2344	0,0063	1,0000	47,28	0,00053	0,1073
10	0,476	0,2565	0,0077	1,0000	49,11	0,00057	0,1103
11	0,483	0,2502	0,0069	1,0000	48,84	0,00069	0,1171
12	0,485	0,2562	0,0065	1,0000	49,26	0,00050	0,1138
13	0,432	0,2284	0,0062	1,0000	46,66	0,00063	0,1022
14	0,456	0,2389	0,0058	1,0000	47,73	0,00067	0,1261
15	0,437	0,2361	0,0067	1,0000	47,23	0,00065	0,1148
16	0,436	0,2211	0,0061	1,0000	46,28	0,00066	0,1239
17	0,462	0,2384	0,0074	1,0000	47,81	0,00055	0,1235
18	0,422	0,2218	0,0059	1,0000	46,08	0,00058	0,0970
19	0,455	0,2330	0,0073	1,0000	47,35	0,00063	0,1080
20	0,447	0,2364	0,0070	1,0000	47,42	0,00049	0,1120
21	0,523	0,2698	0,0097	1,0000	50,68	0,00056	0,1284
22	0,440	0,2253	0,0072	1,0000	46,62	0,00062	0,1152
23	0,479	0,2564	0,0069	1,0000	49,16	0,00063	0,1274
24	0,513	0,2728	0,0098	1,0000	50,65	0,00059	0,1378
25	0,532	0,2916	0,0079	1,0000	52,01	0,00060	0,1216
26	0,505	0,2670	0,0078	1,0000	50,22	0,00055	0,1224
27	0,516	0,2794	0,0080	1,0000	51,10	0,00075	0,1209
28	0,451	0,2360	0,0080	1,0000	47,45	0,00059	0,1117
29	0,455	0,2463	0,0061	1,0000	48,15	0,00079	0,1128
30	0,421	0,2180	0,0059	1,0000	45,81	0,00063	0,1116
31	0,399	0,2162	0,0060	1,0000	45,29	0,00074	0,0952
32	0,471	0,2415	0,0063	1,0000	48,12	0,00072	0,1131

Anexo J. Coeficientes da função objetivo e das restrições propostas para as sessenta e quatro árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

33	0,455	0,2477	0,0059	1,0000	48,24	0,00067	0,0998
34	0,418	0,2227	0,0057	1,0000	46,05	0,00059	0,1067
35	0,385	0,2030	0,0055	1,0000	44,15	0,00072	0,0993
36	0,383	0,2015	0,0053	1,0000	44,03	0,00066	0,0936
37	0,434	0,2382	0,0059	1,0000	47,28	0,00066	0,1026
38	0,493	0,2588	0,0079	1,0000	49,55	0,00090	0,1229
39	0,422	0,2164	0,0048	1,0000	45,73	0,00084	0,1026
40	0,415	0,2267	0,0050	1,0000	46,24	0,00087	0,0936
41	0,443	0,2437	0,0053	1,0000	47,79	0,00091	0,1077
42	0,391	0,1973	0,0042	1,0000	43,91	0,00070	0,1052
43	0,456	0,2461	0,0060	1,0000	48,11	0,00063	0,1144
44	0,375	0,1964	0,0045	1,0000	43,54	0,00077	0,0934
45	0,444	0,2471	0,0056	1,0000	48,00	0,00079	0,0971
46	0,483	0,2659	0,0072	1,0000	49,78	0,00092	0,1191
47	0,487	0,2581	0,0075	1,0000	49,39	0,00083	0,1189
48	0,403	0,2172	0,0057	1,0000	45,43	0,00062	0,0980
49	0,387	0,2071	0,0045	1,0000	44,48	0,00087	0,0923
50	0,432	0,2259	0,0057	1,0000	46,49	0,00077	0,1083
51	0,484	0,2549	0,0067	1,0000	49,17	0,00080	0,1140
52	0,438	0,2385	0,0066	1,0000	47,39	0,00076	0,0955
53	0,434	0,2287	0,0055	1,0000	46,71	0,00076	0,1046
54	0,486	0,2611	0,0072	1,0000	49,52	0,00068	0,1082
55	0,449	0,2399	0,0059	1,0000	47,67	0,00066	0,1121
56	0,442	0,2408	0,0066	1,0000	47,60	0,00086	0,1060
57	0,442	0,2363	0,0067	1,0000	47,33	0,00083	0,1007
58	0,407	0,2145	0,0058	1,0000	45,34	0,00079	0,0981
59	0,423	0,2332	0,0062	1,0000	46,79	0,00072	0,0909
60	0,370	0,1928	0,0046	1,0000	43,19	0,00087	0,0859
61	0,413	0,2255	0,0055	1,0000	46,13	0,00098	0,0919
62	0,455	0,2424	0,0069	1,0000	47,90	0,00072	0,0976
63	0,433	0,2277	0,0054	1,0000	46,65	0,00076	0,0996
64	0,451	0,2385	0,0069	1,0000	47,63	0,00077	0,1058

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_1, m^3	V_2, m^3	V_3, m^3	V_4, m^3	V_5, m^3	V_6, m^3	V_7, m^3	V_8, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.466	0.477	0.440	0.411	0.430	0.526	0.462	0.442	≤	164006.02
Mslr, t	0.0057	0.0072	0.0072	0.0055	0.0062	0.0076	0.0060	0.0055	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	48.31	49.30	52.16	45.11	46.96	52.35	48.36	46.36	≤	17422935
Msls, t	0.1108	0.1126	0.1128	0.1117	0.1042	0.1176	0.1101	0.1077	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00064	0,00051	0,00056	0,00063	0,00067	0,00056	0,00056	0,00052	≤	256,3
V_1, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_2, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_3, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_4, m^3	-	-		1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_5, m^3	-	-		-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_6, m^3	-	-		-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_7, m^3	-	-		-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_8, m^3	-	-		-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_9, m^3	V_{10}, m^3	V_{11}, m^3	V_{12}, m^3	V_{13}, m^3	V_{14}, m^3	V_{15}, m^3	V_{16}, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.447	0.476	0.483	0.485	0.432	0.456	0.437	0.436	≤	164006.02
Mslr, t	0.0063	0.0077	0.0069	0.0065	0.0062	0.0058	0.0067	0.0061	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	47.28	49.11	48.84	49.26	46.66	47.73	47.23	46.28	≤	17422935
Msls, t	0.1073	0.1103	0.1171	0.1138	0.1022	0.1261	0.1148	0.1239	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00053	0,00057	0,00069	0,00050	0,00063	0,00067	0,00065	0,00066	≤	256,3
V_9, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{10}, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{11}, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{12}, m^3	-	-	-	1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{13}, m^3	-	-	-	-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_{14}, m^3	-	-	-	-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_{15}, m^3	-	-	-	-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_{16}, m^3	-	-	-	-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_{17}, m^3	V_{18}, m^3	V_{19}, m^3	V_{20}, m^3	V_{21}, m^3	V_{22}, m^3	V_{23}, m^3	V_{24}, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.462	0.422	0.455	0.447	0.523	0.440	.479	0.513	≤	164006.02
Mslr, t	0.0074	0.0059	0.0073	0.0070	0.0097	0.0072	0.0069	0.0098	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	47.81	46.08	47.35	47.42	50.68	46.62	49.16	50.65	≤	17422935
Msls, t	0.1235	0.0970	0.1080	0.1120	0.1284	0.1152	0.1274	0.1378	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00055	0,00058	0,00063	0,00049	0,00056	0,00062	0,00063	0,00059	≤	256,3
V_{17}, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{18}, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{19}, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{20}, m^3	-	-	-	1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{21}, m^3	-	-	-	-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_{22}, m^3	-	-	-	-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_{23}, m^3	-	-	-	-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_{24}, m^3	-	-	-	-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_{25}, m^3	V_{26}, m^3	V_{27}, m^3	V_{28}, m^3	V_{29}, m^3	V_{30}, m^3	V_{31}, m^3	V_{32}, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.532	0.505	0.516	0.451	0.455	0.421	0.399	0.471	≤	164006.02
Mslr, t	0.0079	0.0078	0.0080	0.0080	0.0061	0.0059	0.0060	0.0063	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	52.01	50.22	51.10	47.45	48.15	45.81	45.29	48.12	≤	17422935
Msls, t	0.1216	0.1224	0.1209	0.1117	0.1128	0.1116	0.0952	0.1131	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00060	0,00055	0,00075	0,00059	0,00079	0,00063	0,00074	0,00072	≤	256,3
V_{25}, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{26}, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{27}, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{28}, m^3	-	-		1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{29}, m^3	-	-		-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_{30}, m^3	-	-		-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_{31}, m^3	-	-		-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_{32}, m^3	-	-		-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_{33}, m^3	V_{34}, m^3	V_{35}, m^3	V_{36}, m^3	V_{37}, m^3	V_{38}, m^3	V_{39}, m^3	V_{40}, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.455	0.418	0.385	0.383	0.434	0.493	0.422	0.415	≤	164006.02
Mslr, t	0.0059	0.0057	0.0055	0.0053	0.0059	0.0079	0.0048	0.0050	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	48.24	46.05	44.15	44.03	47.28	49.55	45.73	46.24	≤	17422935
Msls, t	0.0998	0.1067	0.0993	0.0936	0.1026	0.1229	0.1026	0.0936	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00067	0,00059	0,00072	0,00066	0,00066	0,00090	0,00084	0,00087	≤	256,3
V_{33}, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{34}, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{35}, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{36}, m^3	-	-	-	1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{37}, m^3	-	-	-	-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_{38}, m^3	-	-	-	-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_{39}, m^3	-	-	-	-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_{40}, m^3	-	-	-	-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_{41}, m^3	V_{42}, m^3	V_{43}, m^3	V_{44}, m^3	V_{45}, m^3	V_{46}, m^3	V_{47}, m^3	V_{48}, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.443	0.391	0.456	0.375	0.444	0.483	0.487	0.403	≤	164006.02
Mslr, t	0.0053	0.0042	0.0060	0.0045	0.0056	0.0072	0.0075	0.0057	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	47.79	43.91	48.11	43.54	48.00	49.78	49.39	45.43	≤	17422935
Msls, t	0.1077	0.1052	0.1144	0.0934	0.0971	0.1191	0.1189	0.0980	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00091	0,00070	0,00063	0,00077	0,00079	0,00092	0,00083	0,00062	≤	256,3
V_{41}, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{42}, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{43}, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{44}, m^3	-	-	-	1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{45}, m^3	-	-	-	-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_{46}, m^3	-	-	-	-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_{47}, m^3	-	-	-	-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_{48}, m^3	-	-	-	-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_{49}, m^3	V_{50}, m^3	V_{51}, m^3	V_{52}, m^3	V_{53}, m^3	V_{54}, m^3	V_{55}, m^3	V_{56}, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.387	0.432	0.484	0.438	0.434	0.486	0.449	0.442	≤	164006.02
Mslr, t	0.0045	0.0057	0.0067	0.0066	0.0055	0.0072	0.0059	0.0066	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	44.48	46.49	49.17	47.39	46.71	49.52	47.67	47.60	≤	17422935
Msls, t	0.0923	0.1083	0.1140	0.0955	0.1046	0.1082	0.1121	0.1060	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00087	0,00077	0,00080	0,00076	0,00076	0,00068	0,00066	0,00086	≤	256,3
V_{49}, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{50}, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{51}, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{52}, m^3	-	-	-	1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{53}, m^3	-	-	-	-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_{54}, m^3	-	-	-	-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_{55}, m^3	-	-	-	-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_{56}, m^3	-	-	-	-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo L. Matriz completa com variáveis e restrições para o programa Orsys.

Restrição	V_{57}, m^3	V_{58}, m^3	V_{59}, m^3	V_{60}, m^3	V_{61}, m^3	V_{62}, m^3	V_{63}, m^3	V_{64}, m^3	Sinal	Limite
Msm, t	0.442	0.407	0.423	0.370	0.413	0.455	0.433	0.451	≤	164006.02
Mslr, t	0.0067	0.0058	0.0062	0.0046	0.0055	0.0069	0.0054	0.0069	≤	2334.816
V, m^3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	≤	366903.86
C, US$/$m^3$	47.33	45.34	46.79	43.19	46.13	47.90	46.65	47.63	≤	17422935
Msls, t	0.1007	0.0981	0.0909	0.0859	0.0919	0.0976	0.0996	0.1058	≥	39947.41
Ar, ha/m^3	0,00083	0,00079	0,00072	0,00087	0,00098	0,00072	0,00076	0,00077	≤	256,3
V_{57}, m^3	1.0	-	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{58}, m^3	-	1.0	-	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{59}, m^3	-	-	1.0	-	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{60}, m^3	-	-	-	1.0	-	-	-	-	≤	36690.386
V_{61}, m^3	-	-	-	-	1.0	-	-	-	≤	36690.386
V_{62}, m^3	-	-	-	-	-	1.0	-	-	≤	36690.386
V_{63}, m^3	-	-	-	-	-	-	1.0	-	≤	36690.386
V_{64}, m^3	-	-	-	-	-	-	-	1.0	≤	36690.386

Anexo M. Quantidade de lignina solubilizada para as 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Número Árvore	Lignina (%)	Nk	Rbg (%)	Ls (%)	Dba (t/m^3)	L (t/m^3)	Vsc (m^3)	Ls (t/m^3)	Ls (t/ano)
1	25,00	15,8	52,74	95,11	0,466	0,117	354486,898	0,111	39281,179
2	25,12	18,9	54,37	93,99	0,477	0,120	335986,357	0,113	37834,749
3	27,27	21,6	51,87	93,96	0,440	0,120	381657,139	0,113	43036,674
4	28,47	17,8	51,08	95,31	0,411	0,117	414453,465	0,112	46279,062
5	25,66	17,8	54,55	94,42	0,430	0,110	371464,866	0,104	38696,558
6	23,81	17,3	57,03	93,89	0,526	0,125	290477,257	0,118	34153,490
7	25,15	16,4	53,58	94,85	0,462	0,116	352293,584	0,110	38786,962
8	25,61	16,8	50,12	95,16	0,442	0,113	393396,340	0,108	42360,054
9	25,41	18,3	52,45	94,44	0,447	0,114	371548,162	0,107	39861,145
10	24,80	20,4	53,90	93,48	0,476	0,118	339659,396	0,110	37474,111
11	25,68	18,8	51,81	94,42	0,483	0,124	348289,824	0,117	40770,005
12	24,79	17,3	52,83	94,59	0,485	0,120	339805,294	0,114	38668,454
13	25,11	18,5	52,88	94,27	0,432	0,108	381645,430	0,102	38998,450
14	28,90	16,4	52,39	95,63	0,456	0,132	364403,209	0,126	45956,980
15	27,82	19,3	54,03	94,49	0,437	0,122	369194,771	0,115	42389,559
16	29,85	18,9	50,71	95,27	0,436	0,130	394255,682	0,124	48855,932
17	28,34	21,2	51,60	94,32	0,462	0,131	365585,998	0,123	45133,633
18	24,41	18,2	52,57	94,23	0,422	0,103	393142,908	0,097	38119,370
19	25,34	21,2	51,21	93,71	0,455	0,115	374088,804	0,108	40395,575
20	26,59	20,1	52,88	94,14	0,447	0,119	368268,141	0,112	41234,635
21	26,38	24,3	51,60	93,00	0,523	0,138	322631,374	0,128	41424,449

Anexo M. Quantidade de lignina solubilizada para as 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis.*

22	28,03	18,3	53,52	94,85	0,479	0,134	339586,202	0,127	43274,806
23	28,77	24,4	53,18	93,37	0,513	0,148	319412,589	0,138	44005,249
24	24,33	18,4	54,81	93,90	0,532	0,130	298605,855	0,122	36314,335
25	25,79	19,8	52,88	94,02	0,505	0,130	326405,599	0,122	39947,823
26	24,96	19,4	54,14	93,81	0,516	0,129	311606,159	0,121	37676,822
27	26,56	23,1	52,34	93,30	0,451	0,120	369244,468	0,112	41251,575
28	26,15	16,7	54,14	94,90	0,455	0,119	354055,466	0,113	39937,508
29	27,92	18,4	51,78	94,99	0,421	0,118	399685,992	0,112	44623,945
30	25,36	18,9	54,19	94,06	0,399	0,101	402627,103	0,095	38346,582
31	25,35	17,8	51,28	94,70	0,471	0,119	360752,946	0,113	40785,569
32	23,24	16,2	54,43	94,41	0,455	0,106	352049,368	0,100	35119,705
33	26,87	17,4	53,28	94,93	0,418	0,112	390793,286	0,107	41708,466
34	27,24	18,5	52,73	94,73	0,385	0,105	429403,149	0,099	42632,539
35	25,79	17,8	52,62	94,65	0,383	0,099	431882,326	0,094	40416,559
36	25,00	16,9	54,89	94,54	0,434	0,108	365776,024	0,103	37510,772
37	26,51	20,6	52,50	93,99	0,493	0,131	336462,225	0,123	41348,228
38	25,43	15,2	51,28	95,50	0,422	0,107	402219,599	0,103	41257,440
39	23,78	15,0	54,62	94,94	0,415	0,099	384734,042	0,094	36006,234
40	25,49	14,9	55,02	95,29	0,443	0,113	357032,713	0,108	38458,001
41	26,38	24,3	51,60	93,00	0,523	0,138	322631,374	0,128	41424,449

Anexo M. Quantidade de lignina solubilizada para as 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

42	27,96	14,3	50,47	96,19	0,391	0,109	441322,845	0,105	46424,267
43	26,42	16,6	53,98	95,02	0,456	0,120	354100,588	0,114	40519,073
44	26,14	15,7	52,38	95,39	0,375	0,098	443984,864	0,093	41470,518
45	23,12	15,4	55,64	94,55	0,444	0,103	352394,905	0,097	34226,459
46	26,16	18,3	55,06	94,33	0,483	0,126	327752,183	0,119	39048,587
47	25,96	19,8	53,01	94,06	0,487	0,126	337522,756	0,119	40131,751
48	25,75	18,0	53,89	94,47	0,403	0,104	401438,827	0,098	39324,866
49	25,03	14,9	53,52	95,31	0,387	0,097	420904,612	0,092	38831,874
50	26,36	17,1	52,30	95,00	0,432	0,114	385286,657	0,108	41714,731
51	24,93	17,8	52,67	94,46	0,484	0,121	341583,702	0,114	38948,750
52	23,33	18,7	54,45	93,59	0,438	0,102	365681,159	0,096	34931,784
53	25,34	16,2	52,70	95,04	0,434	0,110	380617,338	0,105	39815,324
54	23,76	18,7	53,72	93,79	0,486	0,115	333949,548	0,108	36138,831
55	26,26	16,7	53,42	94,99	0,449	0,118	362931,660	0,112	40682,211
56	25,50	18,7	54,49	94,13	0,442	0,113	362034,815	0,106	38380,004
57	24,30	19,3	53,46	93,75	0,442	0,107	368511,409	0,101	37122,692
58	25,55	18,5	52,71	94,40	0,407	0,104	406408,969	0,098	39864,636
59	22,96	18,2	55,14	93,59	0,423	0,097	373359,481	0,091	33949,952
60	24,47	16,1	52,10	94,95	0,370	0,091	452123,759	0,086	38852,065
61	23,60	16,5	54,60	94,39	0,413	0,097	386766,027	0,092	35542,526
62	22,98	19,4	53,28	93,37	0,455	0,105	359392,059	0,098	35086,313
63	24,25	16,1	52,60	94,86	0,433	0,105	382432,652	0,100	38101,999
64	24,98	19,7	52,89	93,86	0,451	0,113	365144,631	0,106	38620,980
Média	25,70	18,2	53,12	94,46	0,447	0,115	369550,756	0,109	**39884,312**

Anexo N. Massa de madeira consumida das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Árvore	Rbg (%)	Msm (t)
1	52,74	165197,896
2	54,37	160240,370
3	51,87	167956,399
4	51,08	170545,768
5	54,55	159710,339
6	57,03	152772,176
7	53,58	162588,146
8	50,12	173818,901
9	52,45	166103,707
10	53,90	161644,393
11	51,81	168151,246
12	52,83	164907,649
13	52,88	164751,674
14	52,39	166287,790
15	54,03	161255,683
16	50,71	171788,992
17	51,60	168846,170
18	52,57	165722,897
19	51,21	170120,917
20	52,88	164735,944
21	51,60	168850,005
22	51,21	170125,190
23	53,52	162770,021
24	53,18	163823,636
25	54,81	158951,782
26	52,88	164748,116
27	54,14	160905,677
28	52,34	166462,159
29	54,14	160927,444
30	51,78	168261,102
31	54,19	160755,901
32	51,28	169893,382
33	54,43	160061,382
34	53,28	163520,931
35	52,73	165222,054
36	52,62	165574,521
37	54,89	158711,323
38	52,50	165947,464
39	51,28	169876,763
40	54,62	159490,487
41	55,02	158338,342
42	50,47	172606,645
43	53,98	161399,181
44	52,38	166315,995
45	55,64	156569,457
46	55,06	158232,564
47	53,01	164357,777
48	53,89	161658,607
49	53,52	162776,719
50	52,30	166580,924
51	52,67	165397,422
52	54,45	159986,952
53	52,70	165327,283
54	53,72	162176,631
55	53,42	163087,244
56	54,49	159887,347
57	53,46	162959,786
58	52,71	165287,550
59	55,14	157994,521
60	52,10	167217,823
61	54,60	159557,859
62	53,28	163520,148
63	52,60	165633,820
64	52,89	164719,497
Média	53,12	**164119,008**

Anexo O. Volume de madeira consumido das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Árvore	Dba (t/m^3)	Msm (t)	Vsc (m^3)
1	0,466	165197,896	354486,898
2	0,477	160240,370	335986,357
3	0,440	167956,399	381657,139
4	0,411	170545,768	414453,465
5	0,430	159710,339	371464,866
6	0,526	152772,176	290477,257
7	0,462	162588,146	352293,584
8	0,442	173818,901	393396,340
9	0,447	166103,707	371548,162
10	0,476	161644,393	339659,396
11	0,483	168151,246	348289,824
12	0,485	164907,649	339805,294
13	0,432	164751,674	381645,430
14	0,456	166287,790	364403,209
15	0,437	161255,683	369194,771
16	0,436	171788,992	394255,682
17	0,462	168846,170	365585,998
18	0,422	165722,897	393142,908
19	0,455	170120,917	374088,804
20	0,447	164735,944	368268,141
21	0,523	168850,005	322631,374
22	0,440	170125,190	386532,937
23	0,479	162770,021	339586,202
24	0,513	163823,636	319412,589
25	0,532	158951,782	298605,855
26	0,505	164748,116	326405,599
27	0,516	160905,677	311606,159
28	0,451	166462,159	369244,468
29	0,455	160927,444	354055,466
30	0,421	168261,102	399685,992
31	0,399	160755,901	402627,103
32	0,471	169893,382	360752,946
33	0,455	160061,382	352049,368
34	0,418	163520,931	390793,286
35	0,385	165222,054	429403,149
36	0,383	165574,521	431882,326
37	0,434	158711,323	365776,024
38	0,493	165947,464	336462,225
39	0,422	169876,763	402219,599
40	0,415	159490,487	384734,042
41	0,443	158338,342	357032,713
42	0,391	172606,645	441322,845
43	0,456	161399,181	354100,588
44	0,375	166315,995	443984,864
45	0,444	156569,457	352394,905
46	0,483	158232,564	327752,183
47	0,487	164357,777	337522,756
48	0,403	161658,607	401438,827
49	0,387	162776,719	420904,612
50	0,432	166580,924	385286,657
51	0,484	165397,422	341583,702
52	0,438	159986,952	365681,159
53	0,434	165327,283	380617,338
54	0,486	162176,631	333949,548
55	0,449	163087,244	362931,660
56	0,442	159887,347	362034,815
57	0,442	162959,786	368511,409
58	0,407	165287,550	406408,969
59	0,423	157994,521	373359,481
60	0,370	167217,823	452123,759
61	0,413	159557,859	386766,027
62	0,455	163520,148	359392,059
63	0,433	165633,820	382432,652
64	0,451	164719,497	365144,631
Média	0,447	164119,008	**369550,756**

Anexo P. Massa seca de Lignina residual (Lr) das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Árvore	Dba (t/m^3)	Rbg (%)	Vsc (m^3)	Nk	Lr (t)
1	0,466	52,74	354486,898	15,8	2018,295
2	0,477	54,37	335986,357	18,9	2417,632
3	0,440	51,87	381657,139	21,6	2765,036
4	0,411	51,08	414453,465	17,8	2275,318
5	0,430	54,55	371464,866	17,8	2285,116
6	0,526	57,03	290477,257	17,3	2221,566
7	0,462	53,58	352293,584	16,4	2103,956
8	0,442	50,12	393396,340	16,8	2154,966
9	0,447	52,45	371548,162	18,3	2345,807
10	0,476	53,90	339659,396	20,4	2613,699
11	0,483	51,81	348289,824	18,8	2411,235
12	0,485	52,83	339805,294	17,3	2212,153
13	0,432	52,88	381645,430	18,5	2370,695
14	0,456	52,39	364403,209	16,4	2100,191
15	0,437	54,03	369194,771	19,3	2471,772
16	0,436	50,71	394255,682	18,9	2423,082
17	0,462	51,60	365585,998	21,2	2717,372
18	0,422	52,57	393142,908	18,2	2333,589
19	0,455	51,21	374088,804	21,2	2713,065
20	0,447	52,88	368268,141	20,1	2568,652
21	0,523	51,60	322631,374	24,3	3118,182
22	0,440	51,21	386532,937	21,8	2796,219
23	0,479	53,52	339586,202	18,3	2349,631
24	0,513	53,18	319412,589	24,4	3126,811
25	0,532	54,81	298605,855	18,4	2358,633
26	0,505	52,88	326405,599	19,8	2540,716
27	0,516	54,14	311606,159	19,4	2485,235
28	0,451	52,34	369244,468	23,1	2960,775
29	0,455	54,14	354055,466	16,7	2145,019
30	0,421	51,78	399685,992	18,4	2354,555
31	0,399	54,19	402627,103	18,9	2421,114
32	0,471	51,28	360752,946	17,8	2282,403

Anexo P. Massa seca de Lignina residual (Lr) das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

33	0,455	54,43	352049,368	16,2	2078,560
34	0,418	53,28	390793,286	17,4	2229,608
35	0,385	52,73	429403,149	18,5	2373,948
36	0,383	52,62	431882,326	17,8	2285,110
37	0,434	54,89	365776,024	16,9	2167,059
38	0,493	52,50	336462,225	20,6	2644,445
39	0,422	51,28	402219,599	15,2	1942,221
40	0,415	54,62	384734,042	15,0	1920,604
41	0,443	55,02	357032,713	14,9	1902,442
42	0,391	50,47	441322,845	14,3	1836,551
43	0,456	53,98	354100,588	16,6	2122,591
44	0,375	52,38	443984,864	15,7	2004,483
45	0,444	55,64	352394,905	15,4	1972,400
46	0,483	55,06	327752,183	18,3	2345,051
47	0,487	53,01	337522,756	19,8	2535,528
48	0,403	53,89	401438,827	18,0	2302,225
49	0,387	53,52	420904,612	14,9	1911,139
50	0,432	52,30	385286,657	17,1	2196,000
51	0,484	52,67	341583,702	17,8	2284,828
52	0,438	54,45	365681,159	18,7	2393,172
53	0,434	52,70	380617,338	16,2	2078,610
54	0,486	53,72	333949,548	18,7	2394,337
55	0,449	53,42	362931,660	16,7	2144,499
56	0,442	54,49	362034,815	18,7	2391,270
57	0,442	53,46	368511,409	19,3	2476,536
58	0,407	52,71	406408,969	18,5	2366,333
59	0,423	55,14	373359,481	18,2	2325,590
60	0,370	52,10	452123,759	16,1	2066,136
61	0,413	54,60	386766,027	16,5	2113,129
62	0,455	53,28	359392,059	19,4	2490,617
63	0,433	52,60	382432,652	16,1	2064,202
64	0,451	52,89	365144,631	19,7	2525,950
Média	0,447	53,12	369550,756	18,2	**2333,557**

Anexo Q. Custo de deslignificação (C) das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Árvore	Db (t/m^3)	RGB (%)	C (US$/t)	Cem (m^3/t)	C (US$/$m^3$)	Vsc/ano	C (US$/ano)
1	0,466	52,74	196,63	4,070	48,31	354486,898	17124655,78
2	0,477	54,37	190,12	3,857	49,30	335986,357	16562885,03
3	0,44	51,87	205,07	3,931	52,16	381657,139	19909007,26
4	0,411	51,08	214,90	4,764	45,11	414453,465	18696437,18
5	0,43	54,55	200,39	4,268	46,96	371464,866	17442320,73
6	0,526	57,03	174,58	3,335	52,35	290477,257	15207331,51
7	0,462	53,58	195,34	4,040	48,36	352293,584	17036040,90
8	0,442	50,12	209,55	4,520	46,36	393396,340	18236482,71
9	0,447	52,45	201,79	4,268	47,28	371548,162	17565946,28
10	0,476	53,90	191,49	3,899	49,11	339659,396	16682268,37
11	0,483	51,81	195,34	4,000	48,84	348289,824	17009345,00
12	0,485	52,83	192,27	3,903	49,26	339805,294	16738747,36
13	0,432	52,88	204,30	4,378	46,66	381645,430	17807440,44
14	0,456	52,39	199,82	4,187	47,73	364403,209	17392031,69
15	0,437	54,03	200,03	4,236	47,23	369194,771	17435575,53
16	0,436	50,71	209,34	4,523	46,28	394255,682	18248005,20
17	0,462	51,60	200,57	4,196	47,81	365585,998	17477337,71
18	0,422	52,57	207,70	4,508	46,08	393142,908	18114765,44
19	0,455	51,21	203,27	4,293	47,35	374088,804	17713815,91
20	0,447	52,88	200,62	4,231	47,42	368268,141	17463980,66
21	0,523	51,60	187,82	3,706	50,68	322631,374	16349580,68
22	0,44	51,21	206,92	4,439	46,62	386532,937	18018991,63
23	0,479	53,52	191,79	3,901	49,16	339586,202	16695543,33
24	0,513	53,18	185,78	3,668	50,65	319412,589	16177699,39
25	0,532	54,81	178,42	3,431	52,01	298605,855	15530349,00
26	0,505	52,88	188,07	3,745	50,22	326405,599	16391171,80
27	0,516	54,14	182,89	3,579	51,10	311606,159	15921676,65
28	0,451	52,34	201,14	4,239	47,45	369244,468	17519017,16
29	0,455	54,14	195,52	4,061	48,15	354055,466	17047088,27
30	0,421	51,78	210,19	4,588	45,81	399685,992	18310788,81
31	0,399	54,19	209,46	4,625	45,29	402627,103	18232994,61
32	0,471	51,28	199,39	4,143	48,12	360752,946	17361005,82

Anexo Q. Custo de deslignificação (C)das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

33	0,455	54,43	194,78	4,038	48,24	352049,368	16982043,49
34	0,418	53,28	206,81	4,491	46,05	390793,286	17997595,13
35	0,385	52,73	217,59	4,929	44,15	429403,149	18956569,89
36	0,383	52,62	218,52	4,963	44,03	431882,326	19014797,21
37	0,434	54,89	198,54	4,199	47,28	365776,024	17293938,10
38	0,493	52,50	191,45	3,864	49,55	336462,225	16670987,18
39	0,422	51,28	211,33	4,621	45,73	402219,599	18393995,44
40	0,415	54,62	204,00	4,412	46,24	384734,042	17788300,93
41	0,443	55,02	196,07	4,103	47,79	357032,713	17062530,87
42	0,391	50,47	222,52	5,068	43,91	441322,845	19378154,66
43	0,456	53,98	195,69	4,067	48,11	354100,588	17036459,09
44	0,375	52,38	221,67	5,091	43,54	443984,864	19331285,29
45	0,444	55,64	194,30	4,048	48,00	352394,905	16915512,01
46	0,483	55,06	187,20	3,760	49,78	327752,183	16316217,12
47	0,487	53,01	191,41	3,876	49,39	337522,756	16669167,78
48	0,403	53,89	209,17	4,604	45,43	401438,827	18236297,55
49	0,387	53,52	214,74	4,828	44,48	420904,612	18720441,25
50	0,432	52,30	205,88	4,429	46,49	385286,657	17912002,35
51	0,484	52,67	192,88	3,923	49,17	341583,702	16794422,34
52	0,438	54,45	198,69	4,193	47,39	365681,159	17329123,90
53	0,434	52,70	204,30	4,374	46,71	380617,338	17777973,60
54	0,486	53,72	189,83	3,833	49,52	333949,548	16538421,40
55	0,449	53,42	198,74	4,169	47,67	362931,660	17300120,55
56	0,442	54,49	197,65	4,152	47,60	362034,815	17232883,32
57	0,442	53,46	200,30	4,232	47,33	368511,409	17441175,93
58	0,407	52,71	211,34	4,662	45,34	406408,969	18425009,13
59	0,423	55,14	200,62	4,287	46,79	373359,481	17471033,02
60	0,37	52,10	224,10	5,188	43,19	452123,759	19529285,50
61	0,413	54,60	204,59	4,435	46,13	386766,027	17843191,49
62	0,455	53,28	197,72	4,127	47,90	359392,059	17216614,12
63	0,433	52,60	204,81	4,391	46,65	382432,652	17838619,69
64	0,451	52,89	199,66	4,192	47,63	365144,631	17390496,78
Média	0,447	53,12	200,58	4,236	47,54	369550,756	**17503515,53**

Anexo R. Área (Ar) utilizada das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

Árvore	Vv (m^3)	Vsc (m^3)	Ar (ha)
1	0,938	354486,898	226,7
2	1,182	335986,357	170,5
3	1,070	381657,139	214,0
4	0,946	414453,465	262,9
5	0,892	371464,866	249,7
6	1,063	290477,257	163,9
7	1,076	352293,584	196,4
8	1,159	393396,340	203,5
9	1,127	371548,162	197,8
10	1,047	339659,396	194,6
11	0,864	348289,824	241,9
12	1,202	339805,294	169,5
13	0,957	381645,430	239,2
14	0,902	364403,209	242,3
15	0,917	369194,771	241,6
16	0,915	394255,682	258,4
17	1,099	365585,998	199,6
18	1,032	393142,908	228,6
19	0,953	374088,804	235,4
20	1,235	368268,141	178,8
21	1,062	322631,374	182,3
22	0,961	386532,937	241,3
23	0,945	339586,202	215,5
24	1,013	319412,589	189,1
25	1,005	298605,855	178,3
26	1,099	326405,599	178,1
27	0,804	311606,159	232,4
28	1,018	369244,468	217,5
29	0,757	354055,466	280,7
30	0,945	399685,992	253,7
31	0,812	402627,103	297,6
32	0,833	360752,946	259,7

Anexo R. Área (Ar) utilizada das 64 árvores pré-selecionadas de *E. grandis*.

33	0,898	352049,368	235,2
34	1,019	390793,286	230,1
35	0,831	429403,149	310,1
36	0,916	431882,326	282,9
37	0,907	365776,024	241,9
38	0,667	336462,225	302,8
39	0,716	402219,599	336,8
40	0,691	384734,042	334,1
41	0,660	357032,713	324,4
42	0,860	441322,845	307,9
43	0,954	354100,588	222,6
44	0,777	443984,864	342,7
45	0,755	352394,905	279,9
46	0,654	327752,183	300,6
47	0,718	337522,756	281,8
48	0,962	401438,827	250,4
49	0,686	420904,612	368,0
50	0,782	385286,657	295,6
51	0,750	341583,702	273,1
52	0,791	365681,159	277,5
53	0,792	380617,338	288,3
54	0,888	333949,548	225,6
55	0,911	362931,660	239,0
56	0,698	362034,815	311,1
57	0,724	368511,409	305,4
58	0,761	406408,969	320,5
59	0,836	373359,481	268,1
60	0,693	452123,759	391,2
61	0,611	386766,027	379,8
62	0,832	359392,059	259,2
63	0,790	382432,652	290,3
64	0,776	365144,631	282,4
Média	0,893	369550,756	**256,3**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.M. de; SILVA, D.J. Inclusion of a new and important potential parameter in the selection of eucalypts for the production of kraft pulp. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997. v.3, p.228-233.

ANDERSSON, E.W. Gain and diversity in multi-generation breeding programs. **Silvestria: Acta Universitatis Agriculturae Sueciae**, n. 95, 124 p., 1999. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1999/

ARUOFOR, R.O. A linear programming model of the forest sector of the Nigeria economy. **Discovery and Innovation,** v.9, n.3/4, p.227-233, 1997. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1997/

ASSIS, T.F. de; BRUNE, A.; NASCIMENTO FILHO, M.B.; FONSECA, J.B. Teste de progênies de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. **Silvicultura**, v.8, n.28, p.165-167, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Métodos de ensaio.** São Paulo, 1974.

BARRET, R.L.; CARTER, D.T.; SEWARD, B.R.T. Eucalyptus grandis in Rhodesia. **The Rhodesia Bulletin of Forestry Research**, Rhodésia, n.6, p.1-87, 1975.

BARRICHELO, L.E.G. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden em função de diferentes níveis de produtividade da

floresta. Piracicaba, 1986. 80p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, Belo Horizonte,1983. **Anais**. Belo Horizonte, 1983. p.726-731.

BATABYAL, A.A. On some aspects of the decision to conserve or harvest old growth forest. **Journal of Environmental Management,** v.54, n.1, p.15-21, Sept. 1998. /Resumo em **AGRÍCOLA Abstract on CD-ROM,** 1998/

BERTOLUCCI, F.L.G.; DEMUNER, B.J.; LA TORRACA, S.M. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características da madeira e polpa de eucalipto. In: ENCONTRO NACIONAL DA TECNICELPA, 13., Figueira da Foz, 1992.

BORGES, G.J.; OLIVEIRA, A.C.; COSTA, M.A. A quantitative approach to cork oak forest management. **Forest Ecology and Management,** v.97, n.3, p. 223-229, 1997. http://www.probe.br

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: densidade e teor de lignina da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, v.5, n.14, p.18-28, maio 1977.

BROWN, H.P.; PANSHIN, A.J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood technology:** the physical, mechanical, and chemical properties of the commercial woods of the United States. New York: McGraw-Hill, 1952. v.2

BUSNARDO, C.A.; FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; KAJIVA, S.; ALVES, E.E. Estudo comparativo da qualidade da madeira de algumas espécies de eucaliptos tropicais. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP: SEMANA DO PAPEL, 11., São Paulo, 1978. **Anais.** São Paulo: ABCP, 1978. p.191-197.

CAIXETA FILHO, J.V. A utilização de modelagem pelas empresas florestais. **Silvicultura**, n. 52, p.18-20, nov./dez., 1993.

CAIXETA FILHO, J.V. **Pesquisa operacional aplicada ao sistema agroindustrial**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 184 p. (Relatório Técnico).

CAIXETA FILHO, J.V. **Pesquisa operacional:** técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. Piracicaba: Ed. José Vicente Caixeta Filho. 2000. 212p.

CARNIERI, C. Planejamento florestal otimizado via redes de manejo. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO FLORESTAL, 1., Curitiba, 1989. **Anais.** Curitiba: EMBRAPA, CNPF, 1989. p.173-184.

CHAUDHURI, A.K.; SEN, K.M. Optimum harvesting policy for age-structureal forest. **International Journal of Systems Science**, v.18, n.8, p.1425-32, 1987.

CORREA, E. Uso múltiplo vai revolucionar a visão do eucalipto. **O Papel**, n.7, p. 23-26, jul. 1995.

COTTERILL, P.P.; DEAN, C.A. **Sucessfull tree breeding with index selection.** Melbourne: CSIRO, Division of Forestry and Forest Products, 1990. 80 p.

DEMUNER, B.J.; VIANNA DORIA, E.L.; CLÁUDIO-DA-SILVA JR., E.; MANFREDI, V. As propriedades do papel e as características das fibras de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 24., São Paulo, 1991. **Trabalhos apresentados.** São Paulo: ABTCP, 1991. P.521-541.

DIAS, G.B.N.; TAUBE-NETTO, M.; SCHMIDT, M.B.; ROSSI, A.M.; LOPES, T.L. Planejamento Florestal Integrado Planflor. **CVRD-Revista**, v.5, n.15, p.35-50, mar. 1984.

DIAZ-BALTEIRO, L.; ROMERO, C. Modeling timber harvest scheduling problems with multiple criteria: na application in Spain. **Forest Science,** v.44, n.1, p.47-57, Feb. 1998. /Resumo em **AGRIS Abstracts on CD-ROM,** 1999/

DOSSA, D. Programação linear na gestão da propriedade rural: um enfoque alternativo. **Teoria e Evidência Econômica,** n.4, p. 33-60, nov. 1994.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Wood handbook:** wood as an engineering material. Washington: USDA, Forest Products Laboratory, 1987. 466p.

EVANS, R.L.; ZARADIC, A.M. Optimization of a wood-waste-fuelled, indirectly fired gas turbine cogeneration plant. **Bioresource Technology,** v.57, n.2, p.117-126, 1996. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1996/

FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba e Eucalyptus saligna. Piracicaba, 1968. 71p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FOELKEL, C.E.B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo IPEF,** v.6, n.20, p.E1-E25, 1978.

FOELKEL, C.E.B. Índices de qualidade para celulose kraft de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, SEMANA DO PAPEL, 12., São Paulo, 1979. **Anais.** São Paulo: ABCP, 1979. p.53-58.

FONSECA, S.M.; KAGEYAMA, P.Y. **Bases genéticas e metodologia para seleção de árvores superiores de *Pinus taeda*.** Piracicaba: IPEF, 1978. n. 17. p.35-39.

FONSECA, S.M.; OLIVEIRA, R.C. & SILVEIRA, P.N. Seleção da árvore industrial: procedimentos, riscos, custos e benefícios. **Revista Árvore**, v.20, n.1, p.69-85, jan. 1996.

GARCIA, O. Linear programming and related approaches in forest planning. **New Zeland Journal of Forestry Science,** v.20, n.3, p.307-331, 1990.

GERASIMOV, Y.Y.; KHLUSTOV, V.K.; GERASIMOV, YU.YU. Thinning regime optimization in European Russian pines. **Journal of Forest Engineering,** v.7, n.2, p.7-16, 1996. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1996/

GOMIDE, J.L. Produção de celulose e papel com madeira de eucalipto. **Informativo Agropecuário,** v.141, n.12, p.80-82, set. 1986.

GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. de; COLODETTE, J.L. Utilização de compostos quinona na produção de polpa celulósica de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, SEMANA DO PAPEL, 13., São Paulo, 1980. **Anais.** São Paulo: ABCP, 1980. p.19-30.

GONG, P. Adaptive optimization for forest-level timber harvest decision analysis. **Journal of Environmental Management,** v.40, n.1, p.65-90, Jan. 1994. /Resumo em **AGRÍCOLA Abstracts on CD-ROM,** 1994/

GREAVES, B.L.; BORRALHO, N.M.G. The influence of basic density and pulp yield on the cost of eucalypt kraft pulping: a theoretical model for tree breeding. **Appita**, v.49, n.2, p.90-95, Mar. 1996.

HARDING, O.V.; STEELE, P.H. RIP-X: decision software to compare crosscut-first and rip-first rough mill systems. **Wood Science Technology,** v.31, n.5, p.367-381, Oct. 1997. /Resumo em **AGRÍCOLA Abstracts on CD-ROM,** 1997/

HENGSDIJK, H.; RUBEN, R.; KRUSEMAN, G.; BAKKER, E.E.J.; QUAK, W.; SISSOKO, K.; SCHOUTE, J.F.T.; FINKE, P.A.; VEENEKLAAS, F.R.; WOLFERT, H.P. An integrated approach for analysis of sustainable land use. **Environment & Policy,** v.5, p. 623-626, 1995. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1994-1995/

HERNANDEZ DIAZ, J.C. La programacion lineal y ejemplos de su aplicacion en el manejo de bosques. **Boletin Técnico INIF**, v.128, p.1-25, out. 1985.

HILIS, W.E.; BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production.** Melbourne: CSIRO, 1984. 434p.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional.** São Paulo: Ed. Campus, EDUSP, 1988. 805p.

HITREC, V.; MARIJAN, B.; SEGOTIC, K. A model of computer aided optimization of sawing logs. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., Montreal, 1990. **Proceedings.** Ottawa: Acart Graphic Services, 1990. v. 5, p.216-224.

HOF, J.G.; JOYCE, L.A. Spatial optimization for wild life and timber in maneged forest ecosystems. **Forest Science**, v.38, p.489-508, Aug. 1992.

HOGANSOS, H.M.; MCDILL, M.E. More on forest regulation: an LP perspective. **Forest Science**, v. 39, n.2, p. 321-347, May 1993.

HU, J.; JOHNSON, E.L. Computational results with a primal-dual subproblem simplex method. **Operations Research Letters,** v.25, n.4, p.149-157, 1999. http://www.probe.br

KAGEYAMA, P.Y.; MORA, A.L.; BARRICHELO, L.E.G.; MIGLIORINI, A.J.; SANSÍGOLO, C.A. Variação genética para densidade da madeira em progênies de *Eucalyptus grandis*. **Silvicultura**, v.8, n.28, p.318-324, 1983.

KAPP, S.B.; PRICE, C.S.; TURNER, P.; VERMAAS, H.F. A feasibility study on the development of na integrated manufacturing planning and control system in the South African sawmill industry. **Southern African Forestry Journal,** n. 184, p.80-87, 1999. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1999/

KIKUTI, P.; MONTEIRO, R.F.R. Seleção de árvores matrizes para trabalhos de melhoramento de *eucalyptus* spp. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL: MÉTODOS DE PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DE SEMENTES E MUDAS FLORESTAIS, Curitiba, 1984. **Anais.** Curitiba: FUPEF, 1984. p.227-243.

KRAJCIC, D.; RUPNIK, V.; ZADNIK, S.L.; DROBNE, S. Standardization of objective differences in the costs of trucks used in forestry. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPERATIONAL RESEARCH, 4., Slovenia, 1997. Proceedings. v.1/3, p.263-266. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1997/

KRUSEMAN, G.; BADE, J. Agrarian policies for sustainable land use: bio-economic modelling to assess the effectiveness of policy instruments. **Agricultural Systems,** v.58, n.3, p.465-481, 1998. http://www.probe.br

LAROZE, A. A linear programming, Tabu Search method for solving forest-level bucking optimization problems. **Forest Science,** v.45, n.1, p.108-116, 1999. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1999/

MCKENNEY, D.W. Multiple-use planning: na application of FORPLAN to an Australian forest. **Australian Forestry,** v.53, n.2, p.113-123, 1990. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1999/

MCKILLOP, W.; SARKAR, A. Sustainable development of forest resources in industrialized countries. **Agricultural Economics,** v.14, n.3, p.175-184, 1996. http://www.probe.br

MALLAWAARACHCHI, T.; WALKER, P.A.; YOUNG, M.D.; SMYTH, R.E.; LYNCH, H.S.; DUDGEON, G. GIS-based integrated modelling systems for natural management. **Agricultural Systems,** v.50, n.2, p. 150, 169-189, 1996. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1996/

MANESS, T.C.; ADAMS, D.M. The combined optimization of log bucking and sawing strategies. **Wood and Fiber Science,** v.23, n.2, p.296-314, Apr. 1991.

MANFREDI, V. Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden e E. saligna Smith. Piracicaba, 1985. 94p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MANFREDI, V.; BARRICHELO, L. E. G. Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, SEMANA DO PAPEL, 18., São Paulo, 1985. **Anais.** São Paulo: ABCP, 1985. p.5-29.

MARCOCCIA, B.; STROMBERG, B.; PROUGH, J.R. A novel method for realtime measurement of alkaline pulping yield. (compact disc). In: TAPPI PULPING CONFERENCE, Montreal, 1998. **Proceedings**. Montreal: Tappi Press, 1998.

MARTINI, E.L. Planejamento florestal, a importância e a aplicação da programação linear. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1., Curitiba, 1988. **Anais.** Curitiba: EMBRAPA, CNPF, 1988. v.2, p.545-574.

MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: FUNDAÇÃO CETEC, USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS, Belo Horizonte, 1980. **Anais.** Belo Horizonte, 1980. p.9-26.

MENZ, K.; GRIST, P. **Assessing opportunities for smallhoders to combine pulpwood trees and food crops.** Canberra: Center for Resource and Environmental Studies (CRES), Australyan National University, 1995. 14p. (Imperata Project Paper Improving Smallholder Farming Systems in Imperata Areas of Southeast Asia). /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1995/

MENZ, K.; GRIST, P.; MENZ, K.M.; GARRITY, D.P. Economic opportunities for smallholders to combine pulpwood trees and food crops. In: WORKSHOP ON AGROFORESTRY INNOVATIONS FOR IMPERATA GRASSLAND REHABILITATION, Banjarmasin, 1995. **Agroforestry Systems,** v.36, n.1/3, p.221-232, 1996-1997. Special issue. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1996-1997/

MOURELATOS, A.; DIAKOULAKI, D.; PAPAGIANNAKIS, L. Impact of CO_2 reduction policies on the development of renewable energy sources. **International Journal of Hydrogen Energy,** v.23, n.2, p.139-149, 1998. http://www.probe.br

NAESSET, E. A spatial decision support system for long-term forest management planning by means of linear programming and a geographical information system. **Scandinavian Journal of Forest Research,** v.12, n.1, p.77-88, 1997. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1997/

NAESSET, E.; GOBAKKEN, T.; HOEN, H.F. Economic analysis of timber management practices promoting preservation of biological diversity.

Scandinavian Journal of Forest Research, v.12, n.3, p.264-272, 1997. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1997/

NOVAES, A.G. **Métodos de otimização:** aplicação aos transportes. São Paulo: Edgard Blucher, 1978. 463p.

PAIVINEN, R.; ROIHUVUO, L.; SIITONEN, M. Large-scale forestry scenario models: experiences and requirements. In: EUROPEAN FOREST INSTITUTE, 5., Joensuu, 1996. Proceedings. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1996/

PALANDER, T. Local factors and time-variable parameters in tactical planning models: a tool for adaptive timber procurement planning. **Scandinavian Journal of Forest Research,** v.10, n.4, p.370-382, 1995. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1995/

PALANDER, T. A local DLP-GIS-LP system for geografically decentralized wood procurement planning and decision making. **Silva Fenica (Finland),** v.31, n.2, p.179-192, 1997. /Resumo em **AGRIS Abstracts on CD-ROM,** 1997/

PICKENS, J.B.; THROOP, S.A.; FRENDEWEY, J.O. Choosing prices to optimally buck hardwood logs with multiple log-lenght demand restrictions. **Forest Science,** v.43, n.3, p.403-413, Aug. 1997. /Resumo em **AGRÍCOLA Abstracts on CD-ROM,** 1997/

PINTO JR, J.E. Produção de sementes a partir de espécies introduzidas. ESALQ/DS, Piracicaba, 1978, 41p.

PIRES, I.E.; CRUZ, C.D.; BORGES, R.C.G.; REGAZZI, A. J. Índice de seleção combinada aplicado ao melhoramento genético de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore,** v.20, n.2, p.191-197, abr/jun. 1996.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; PINTO, C.A.B.P. **Genética na agropecuária.** Lavras: Editora Globo, 1991. 359 p.

RESENDE, M.D.D. de; OLIVEIRA, E.B. de; HIGA, A.R. Utilização de índices de seleção no melhoramento de eucalipto. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.21, p.1-13, dez. 1990.

RODRIGUEZ, L.C.E. Programação linear no planejamento florestal: uma aplicação prática. **Silvicultura**, v.11, n.41, p.163-168, 1986.

RODRIGUEZ, L.C.E. Planejamento agropecuário através de um modelo de programação linear não-determinista. Piracicaba, 1987. 83p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

RODRIGUEZ, L.C.E.; MOREIRA, R.M. Gerenciamento de florestas de Eucalyptus com modelos de programação linear. **IPEF Série Técnica**, v.6, n.19, p.1-15, maio 1989.

ROWSE, J.; CENTER, C.J. Forest harvesting to optimize timber production and water runoff. **Socio-Economic Planning Sciences,** v.32, n.4, p.277-293, 1998. http://www.probe.br

SANSÍGOLO, C.A.; BARREIROS, R.M. Qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de celulose kraft. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 31., São Paulo, 1998. **Anais.** São Paulo: ABCP, 1998. P.417-429.

SARKAR, A.U. Sustainability, sustainable development and forest resources. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology,** v.5, n.3, p.164-171, 1998. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1998/

SCARF, E.H. Mathematical programming and economic theory. **OR FORUM**, v.38, n.3, p.377-385, May/June 1990.

SEIXAS, F.; WIDMER, J.A. Seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira utilizando-se de programação linear não-inteira. **IPEF**, v.46, p.107-118, 1993.

SHIMOYAMA, V.R.S. Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira de *Eucalyptus* ssp. Piracicaba, 1990. 101p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SMITH, D.M. **The practice of silviculture.** New York: John Willey, 1962. 578 p.

SOUZA, M.H. Introdução de novas espécies de madeiras para fabricação de móveis. IBDF, Brasília, 1986, 5p.

STRANGE, N.; TARP, P., HELLES, F.; BRODIE, J.D. A four-stage approach to evaluate management alternatives in multiple-use forestry. **Forest Ecology and Management,** v.124, n.1, p.79-91, 1999. http://www.probe.br

STURION, J. A.; PEREIRA, J.C.D.; CHEMIN, M.S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminallis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim Pesquisa Florestal,** n.16, p.55-59, jun. 1988.

TAUBE-NETTO, M. **Planejamento Florestal Otimizado – PLANFLOR:** manual do usuário. SOMA, 1989. 52 p.

TAYLOR, F. Anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, n.84, 1973.

THECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test methods (compact disc)**: 1998-1999. Atlanta: TAPPI 1999.

TORELL, L.A.; DRUMMOND, T.W. The economic impacts of increased grazing fees on Gila National Forest grazing permittees. **Journal of Range Management,** v.50, n.1, p.94-105, 1997. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1997/

USENIUS, A.; NEPVEU, G. Optimizing the activities in the wood conversion chain from the forest to the end-users. In: WORKSHOP: CONNECTION BETWEEN SILVICULTURE AND WOOD QUALITY THROUGH MODELLING APPROACHES AND SIMULATION SOFTWARE, 2., Berg-en-Dal, 1996. **Proceedings.** p.214-219. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1996-1997/

VASCONCELOS DIAS, R.L. Antraquinona, polissulfeto, oxigênio e hipoclorito – fatores para a redução do consumo de energia no refino das polpas de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, SEMANA DO PAPEL, 12., São Paulo, 1979. **Anais.** São Paulo: ABCP, 1979. p.133-140.

VASCONCELOS DIAS, R.L.; SILVA JUNIOR, C.E. A influência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas características químicas e propriedades de polpação e do papel. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, SEMANA DO PAPEL, 18., São Paulo, 1985. **Anais.** São Paulo: ABCP, 1985. p.31-55.

VEIGA, R.A.A. **Dendrometria e inventário florestal.** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1984. 108 p. (Boletim Didático, 1)

VITAL, R.B.R.; JESUS, R.M.; VALENTE, O.F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v.10, n.2, p.151-160, 1986.

YANG, Y.C.; YANG, Y.C. Forest resource management planning under fuzzy decision environments. **Quarterly Journal of the Experimental Forest of National Taiwan University,** v.9, n.4, p.1-17, 1995. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1996/

WILLIAMS, H.P. **Model building in mathematical programming.** 3.ed. Chichester: John Wiley, 1993. 356p.

ZADNIK, S.L.; RUPNIK, V.; ZADNIK, S.L.; DROBNE, S. Multicriteria model for optimal management of integrated agricultural and forestry production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPERATIONAL RESEARCH, 4., Slovenia, 1997. **Proceedings.** p.257-262. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM,** 1997/

ZANDER, P.; KÄCHELE, H. Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. **Agricultural Systems,** v.59, n.3, p.311-325, 1999. http://www.probe.br

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation:** its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363p.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BENEKE, R.R.; WINTERBOER, R. **Linear programming applications to agriculture.** 4.ed. Ames: Iowa State Universit Press, 1982. 250p.

DYKSTRA, D.P. New direstions in mathematical programming applied to forest management planning. In: IUFOR WORLD CONGRESS, 19., Montreal, 1990. **Anais**. Ottawa: Acart Grafic Services, 1990. v. 4, p. 97-104.

HU, J.; JOHNSON, E.L. Computational results with a primal-dual subproblem simplex method. **Operations Research Letters,** v.25, n.4, p.149-157, 1999.

REEB, J.; LEAVENGOOD, S.A. **Using the graphical method to solve linear programs.** Corvallis: Oregon State University, Extension Service, 1998a. 21 p.

REEB, J.; LEAVENGOOD, S.A. **Using the simplex method to solve linear programming maximization problems.** Corvallis: Oregon State University Extension Service, 1998b. 21 p.

APÊNDICES

Relatórios originais do programa Orsys

A1345670 SOLUTION IS MAXIMUM RETURN 90121.48582 DATE 07-23-00
PRIMAL PROBLEM SOLUTION TIME 19:31:44

VARIABLE	STATUS	VALUE	LOWER	UPPER	RETURN	VALUE	NET
Vsc1	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.245800	.253996	-.008196
Vsc2	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.259300	.259910	-.000610
Vsc3	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.228200	.236344	-.008144
Vsc4	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.210000	.218481	-.008481
Vsc5	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.234600	.234600	.000000
Vsc6	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.300000	.300000	.000000
Vsc7	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.247600	.251497	-.003897
Vsc8	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.221500	.239593	-.018093
Vsc9	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.234400	.242988	-.008588
Vs10	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.256500	.260400	-.003900
Vs11	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.250200	.262425	-.012225
Vs12	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.256200	.264502	-.008302
Vs13	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.228400	.235772	-.007372
Vs14	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.238900	.241400	-.002500
Vs15	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.236100	.236100	.000000
Vs16	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.221100	.229502	-.008402
Vs17	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.238400	.245962	-.007562
Vs18	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.221800	.231391	-.009591
Vs19	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.233000	.248091	-.015091
Vs20	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.236400	.240931	-.004531
Vs21	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.269800	.282969	-.013169
Vs22	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.225300	.235540	-.010240
Vs23	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.256400	.256400	.000000
Vs24	BASIS	1012.8246	.000000	NONE	.272800	.272800	.000000
Vs25	BASIS	758.32565	.000000	NONE	.291600	.291600	.000000
Vs26	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.267000	.273881	-.006881
Vs27	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.279400	.282089	-.002689
Vs28	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.236000	.243901	-.007901
Vs29	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.246300	.246582	-.000282
Vs30	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.218000	.224910	-.006910
Vs31	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.216200	.217886	-.001686
Vs32	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.241500	.256473	-.014973
Vs33	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.247700	.251564	-.003864
Vs34	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.222700	.224874	-.002174
Vs35	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.203000	.207212	-.004212
Vs36	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.201500	.208084	-.006584
Vs37	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.238200	.238200	.000000
Vs38	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.258800	.267013	-.008213
Vs39	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.216400	.229817	-.013417
Vs40	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.226700	.229128	-.002428
Vs41	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.243700	.243700	.000000
Vs42	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.197300	.208552	-.011252
Vs43	BASIS	30185.204	.000000	NONE	.246100	.246100	.000000
Vs44	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.196400	.203385	-.006985
Vs45	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.247100	.247100	.000000
Vs46	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.265900	.265900	.000000
Vs47	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.258100	.264638	-.006538
Vs48	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.217200	.218963	-.001763
Vs49	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.207100	.211793	-.004693
Vs50	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.225900	.233667	-.007767
Vs51	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.254900	.264634	-.009734
Vs52	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.238500	.242728	-.004228

Vs53	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.228700	.236435	-.007735
Vs54	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.261100	.267941	-.006841
Vs55	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.239900	.242658	-.002758
Vs56	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.240800	.241259	-.000459
Vs57	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.236300	.243347	-.007047
Vs58	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.214500	.221944	-.007444
Vs59	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.233200	.234919	-.001719
Vs60	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.192800	.203535	-.010735
Vs61	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.225500	.228871	-.003371
Vs62	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.242400	.252620	-.010220
Vs63	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.227700	.237854	-.010154
Vs64	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.238500	.246847	-.008347
S.1	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.638762	-.638762
S.2	BASIS	47.089306	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.3	BASIS	12389.730	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.4	BASIS	165780.88	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.5	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.410455	-.410455
S.6	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	2.83120	-2.83120
S.7	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.8	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.9	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.10	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.11	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.000797	-.000797
S.12	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.010681	-.010681
S.13	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.14	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.15	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.16	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.17	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.18	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.19	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.20	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.21	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.002227	-.002227
S.22	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.23	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.24	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.25	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.26	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.27	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.28	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.29	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.000927	-.000927
S.30	BASIS	39637.759	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.31	BASIS	39892.258	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.32	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.33	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.34	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.35	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.36	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.37	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.38	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.39	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.40	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.41	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.42	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.43	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.001216	-.001216
S.44	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.45	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.46	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.47	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.002361	-.002361
S.48	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000

S.49	BASIS	10465.380	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.50	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.51	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.001094	-.001094
S.52	NONBASIS	.00000000	.000000	NONE	.000000	.003664	-.003664
S.53	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.54	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.55	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.56	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.57	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.58	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.59	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.60	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.61	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.62	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.63	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.64	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.65	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.66	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.67	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.68	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.69	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000
S.70	BASIS	40650.584	.000000	NONE	.000000	.000000	.000000

A1345670 SOLUTION IS MAXIMUM RETURN 90121.48582 DATE 07-23-00
DUAL PROBLEM SOLUTION TIME 19:33:15

CONSTRAINT	STATUS	DUAL VALUE	RHS VALUE	USAGE	SLACK
Msm,t/ano	BINDING	.63876153	164119.01	164119.01	.00000000
Mslr,t/an	NONBINDING	.00000000	2333.5570	2286.4677	47.089306
Vsc,m3/an	NONBINDING	.00000000	369550.76	357161.03	12389.730
C,US$/ano	NONBINDING	.00000000	17503516	17337735	165780.88
Msls,t/an	BINDING	-.41045525	39884.312	39884.312	.00000000
Ar,ha/ano	BINDING	2.8311979	256.30000	256.30000	.00000000
Vs1,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs2,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs3,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs4,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs5,m3/an	BINDING	.00079658	40650.584	40650.584	.00000000
Vs6,m3/an	BINDING	.01068135	40650.584	40650.584	.00000000
Vs7,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs8,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs9,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs10,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs11,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs12,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs13,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs14,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs15,m3/a	BINDING	.00222704	40650.584	40650.584	.00000000
Vs16,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs17,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs18,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs19,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs20,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs21,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs22,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs23,m3/a	BINDING	.00092742	40650.584	40650.584	.00000000
Vs24,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	1012.8246	39637.759

Vs25,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	758.32565	39892.258
Vs26,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs27,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs28,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs29,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs30,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs31,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs32,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs33,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs34,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs35,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs36,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs37,m3/a	BINDING	.00121595	40650.584	40650.584	.00000000
Vs38,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs39,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs40,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs41,m3/a	BINDING	.00236111	40650.584	40650.584	.00000000
Vs42,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs43,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	30185.204	10465.380
Vs44,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs45,m3/a	BINDING	.00109428	40650.584	40650.584	.00000000
Vs46,m3/a	BINDING	.00366436	40650.584	40650.584	.00000000
Vs47,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs48,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs49,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs50,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs51,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs52,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs53,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs54,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs55,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs56,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs57,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs58,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs59,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs60,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs61,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs62,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs63,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584
Vs64,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	40650.584

A1345670 SOLUTION IS MAXIMUM RETURN 90121.48582 DATE 07-23-00
RIGHT-HAND-SIDE RANGES TIME 19:34:10

CONSTRAINT	STATUS	DUAL VALUE	RHS VALUE	MINIMUM	MAXIMUM
Msm,t/ano	BINDING	.63876153	164119.01	164071.25	164266.61
Mslr,t/an	NONBINDING	.00000000	2333.5570	2286.4677	NONE
Vsc,m3/an	NONBINDING	.00000000	369550.76	357161.03	NONE
C,US$/ano	NONBINDING	.00000000	17503516	17337735	NONE
Msls,t/an	BINDING	-.41045525	39884.312	39864.939	39901.477
Ar,ha/ano	BINDING	2.8311979	256.30000	253.52316	256.51810
Vs1,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs2,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs3,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs4,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs5,m3/an	BINDING	.00079658	40650.584	38823.536	58395.508
Vs6,m3/an	BINDING	.01068135	40650.584	7203.4823	41286.391

Vs7,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs8,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs9,m3/an	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs10,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs11,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs12,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs13,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs14,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs15,m3/a	BINDING	.00222704	40650.584	38799.996	62229.592
Vs16,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs17,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs18,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs19,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs20,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs21,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs22,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs23,m3/a	BINDING	.00092742	40650.584	37352.813	42698.252
Vs24,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	1012.8246	NONE
Vs25,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	758.32565	NONE
Vs26,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs27,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs28,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs29,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs30,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs31,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs32,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs33,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs34,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs35,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs36,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs37,m3/a	BINDING	.00121595	40650.584	39005.250	53904.005
Vs38,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs39,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs40,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs41,m3/a	BINDING	.00236111	40650.584	39988.864	48754.620
Vs42,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs43,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	30185.204	NONE
Vs44,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs45,m3/a	BINDING	.00109428	40650.584	40007.423	50968.110
Vs46,m3/a	BINDING	.00366436	40650.584	39840.244	49432.277
Vs47,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs48,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs49,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs50,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs51,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs52,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs53,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs54,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs55,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs56,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs57,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs58,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs59,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs60,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs61,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs62,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs63,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE
Vs64,m3/a	NONBINDING	.00000000	40650.584	.00000000	NONE

A1345670 SOLUTION IS MAXIMUM RETURN 90121.48582 DATE 07-23-00
OBJECTIVE ROW RANGES TIME 19:35:09

VARIABLE	STATUS	VALUE	RETURN/UNIT	MINIMUM	MAXIMUM
Vsc1	NONBASIS	.00000000	.24580000	NONE	.25399640
Vsc2	NONBASIS	.00000000	.25930000	NONE	.25991024
Vsc3	NONBASIS	.00000000	.22820000	NONE	.23634402
Vsc4	NONBASIS	.00000000	.21000000	NONE	.21848095
Vsc5	BASIS	40650.584	.23460000	.23380342	NONE
Vsc6	BASIS	40650.584	.30000000	.28931865	NONE
Vsc7	NONBASIS	.00000000	.24760000	NONE	.25149651
Vsc8	NONBASIS	.00000000	.22150000	NONE	.23959313
Vsc9	NONBASIS	.00000000	.23440000	NONE	.24298792
Vs10	NONBASIS	.00000000	.25650000	NONE	.26039955
Vs11	NONBASIS	.00000000	.25020000	NONE	.26242519
Vs12	NONBASIS	.00000000	.25620000	NONE	.26450230
Vs13	NONBASIS	.00000000	.22840000	NONE	.23577161
Vs14	NONBASIS	.00000000	.23890000	NONE	.24139960
Vs15	BASIS	40650.584	.23610000	.23387296	NONE
Vs16	NONBASIS	.00000000	.22110000	NONE	.22950189
Vs17	NONBASIS	.00000000	.23840000	NONE	.24596244
Vs18	NONBASIS	.00000000	.22180000	NONE	.23139096
Vs19	NONBASIS	.00000000	.23300000	NONE	.24809098
Vs20	NONBASIS	.00000000	.23640000	NONE	.24093138
Vs21	NONBASIS	.00000000	.26980000	NONE	.28296945
Vs22	NONBASIS	.00000000	.22530000	NONE	.23554013
Vs23	BASIS	40650.584	.25640000	.25547258	NONE
Vs24	BASIS	1012.8246	.27280000	.27210511	.27313023
Vs25	BASIS	758.32565	.29160000	.29086803	.29214769
Vs26	NONBASIS	.00000000	.26700000	NONE	.27388068
Vs27	NONBASIS	.00000000	.27940000	NONE	.28208898
Vs28	NONBASIS	.00000000	.23600000	NONE	.24390117
Vs29	NONBASIS	.00000000	.24630000	NONE	.24658228
Vs30	NONBASIS	.00000000	.21800000	NONE	.22490961
Vs31	NONBASIS	.00000000	.21620000	NONE	.21788560
Vs32	NONBASIS	.00000000	.24150000	NONE	.25647265
Vs33	NONBASIS	.00000000	.24770000	NONE	.25156430
Vs34	NONBASIS	.00000000	.22270000	NONE	.22487432
Vs35	NONBASIS	.00000000	.20300000	NONE	.20721194
Vs36	NONBASIS	.00000000	.20150000	NONE	.20808432
Vs37	BASIS	40650.584	.23820000	.23698405	NONE
Vs38	NONBASIS	.00000000	.25880000	NONE	.26701256
Vs39	NONBASIS	.00000000	.21640000	NONE	.22981720
Vs40	NONBASIS	.00000000	.22670000	NONE	.22912773
Vs41	BASIS	40650.584	.24370000	.24133889	NONE
Vs42	NONBASIS	.00000000	.19730000	NONE	.20855204
Vs43	BASIS	30185.204	.24610000	.24598807	.24649802
Vs44	NONBASIS	.00000000	.19640000	NONE	.20338474
Vs45	BASIS	40650.584	.24710000	.24600572	NONE
Vs46	BASIS	40650.584	.26590000	.26223564	NONE
Vs47	NONBASIS	.00000000	.25810000	NONE	.26463779
Vs48	NONBASIS	.00000000	.21720000	NONE	.21896295
Vs49	NONBASIS	.00000000	.20710000	NONE	.21179299
Vs50	NONBASIS	.00000000	.22590000	NONE	.23366704
Vs51	NONBASIS	.00000000	.25490000	NONE	.26463364
Vs52	NONBASIS	.00000000	.23850000	NONE	.24272795
Vs53	NONBASIS	.00000000	.22870000	NONE	.23643493
Vs54	NONBASIS	.00000000	.26110000	NONE	.26794073

Vs55	NONBASIS	.00000000	.23990000	NONE	.24265765
Vs56	NONBASIS	.00000000	.24080000	NONE	.24125917
Vs57	NONBASIS	.00000000	.23630000	NONE	.24334682
Vs58	NONBASIS	.00000000	.21450000	NONE	.22194410
Vs59	NONBASIS	.00000000	.23320000	NONE	.23491854
Vs60	NONBASIS	.00000000	.19280000	NONE	.20353548
Vs61	NONBASIS	.00000000	.22550000	NONE	.22887074
Vs62	NONBASIS	.00000000	.24240000	NONE	.25262019
Vs63	NONBASIS	.00000000	.22770000	NONE	.23785411
Vs64	NONBASIS	.00000000	.23850000	NONE	.24684663

A1345670 SOLUTION IS MAXIMUM RETURN 90121.48582 DATE 07-23-00