

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO

**SORTIMENTO DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO E
RENDIMENTO DE MADEIRA SERRADA EM
FLORESTA DE *Pinus* spp.**

TESE DE DOUTORADO

EDSON LUIS SERPE

IRATI-PR

2017

EDSON LUIS SERPE

**SORTIMENTO DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO E RENDIMENTO DE MADEIRA
SERRADA EM FLORESTA DE *Pinus* spp.**

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal, para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho
Orientador

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce
Coorientador

IRATI-PR

2017

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

SERPE, Edson Luis.

S486 Sortimento do estoque volumétrico e rendimento de madeira serrada em floresta de *Pinus* spp / Edson Luis Serpe. - Irati, PR : [s.n], 2017.
88 f.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

Área de concentração : Manejo Florestal. Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR

1. Engenharia Florestal – tese. 2. Avaliação – economia. 3. Downgrade.
4. Colheita – perdas. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Arce, Julio Eduardo.
III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 585.2



TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa de Tese Nº 04


Edson Luis Serpe

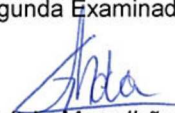
“Sortimento do estoque volumétrico e rendimento de madeira serrada em floresta de *Pinus spp.*”

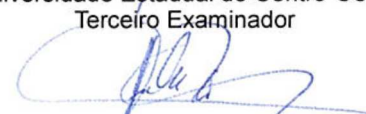
Tese aprovada em 07/08/2017, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:



Dr. Thiago Floriani Stepka

Universidade do Estado de Santa Catarina
Primeiro Examinador


Dra. Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Segunda Examinadora


Dr. Gabriel de Magalhães Miranda
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Terceiro Examinador


Dr. Julio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná
Quarto Examinador


Dr. Afonso Figueiredo Filho
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR
2017

Home Page: <http://www.unicentro.br>

A Deus, pelo dom da vida

AGRADEÇO

Aos meus pais, Zeli Jarski Serpe e Luiz Serpe (*in memoriam*), pois me ensinaram que o valor principal de um homem está em sua honestidade e o sucesso é consequência do trabalho, dedicação e comprometimento.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A alegria de uma conquista deve ser compartilhada, por isso divido essa alegria com todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este projeto se tornasse realidade.

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador e grande amigo, Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho, por ter me auxiliado na elaboração desta tese, fortalecendo a base desta pesquisa.

Do mesmo modo agradeço ao meu coorientador, Prof. Dr. Julio Eduardo Arce, pelos valiosos conhecimentos compartilhados, na área do Manejo Florestal.

A todos os professores, em especial ao Prof. Dr. Flávio Augusto de Oliveira Garcia, Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, Prof. Dr^a. Andrea Nogueira Dias e Prof. Dr. Éverton Hillig, pelos conhecimentos compartilhados nas diversas áreas do setor florestal.

Igualmente, agradeço ao Engenheiro Florestal Gilson Geronasso, Vice-Presidente da empresa REMASA REFLORESTADORA S.A., bem como aos Engenheiros Florestais Julio César de Christo e Tiago Digner e ao Técnico Florestal Gilmar Antonio Guerellu, que colaboraram com as informações; aos meus colegas Otávio Geremia Chamberlain, Sintia Valerio Kohler e Renata Reis de Carvalho, pelo auxílio nas coletas de campo; Edson Gardin pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos empresários, Romualdo Nunes Lopes e Angela Lopes da MADSUL COMERCIAL EXPORTADORA DE MADEIRAS LTDA, por disponibilizar a estrutura e os recursos para a coleta dos dados na serraria.

As empresas Optimber (*Software MaxiTora*) e Brisa Consulting (*Software Fsign*), por disponibilizarem os *softwares* utilizados na pesquisa.

A todos os amigos e colegas da Pós-Graduação, em especial aos amigos Marcos Leandro Garcia, Marçal Akira Oliveira de Carvalho Hanawa, Mario Rodolfo Boff Burgin, Diego Oro, Ricardo Murilo Malheiros dos Santos, Tiago Grespan, Victor Hugo Andrade, Felipe Fiuza de Lima e Anderson de Costa Paini, pelo companheirismo.

À Lwarcel Celulose Ltda e ao grande amigo Ariel Evandro Fossa, bem como a todos os colaboradores da empresa.

Aos membros da banca examinadora Thiago Floriani Stepka, Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães, Gabriel de Magalhães Miranda, e ao suplente Rodrigo Otávio Veiga de Miranda, pelas importantes sugestões ao trabalho.

BIOGRAFIA

Edson Luis Serpe, nasceu em Irati, estado do Paraná em 15 de dezembro de 1979. A sua vida estudantil iniciou no Colégio Estadual Getúlio Vargas, em Fernandes Pinheiro, estado do Paraná, onde frequentou até o ensino fundamental. Iniciou e concluiu o ensino médio profissionalizante “Técnico Florestal” no Colégio Florestal Estadual Presidente Costa e Silva em Irati, grande referência por muitos anos no setor florestal. O ingresso no ensino superior deu-se em 1999 no recém-criado Curso de Engenharia Florestal na Universidade Estadual do Centro-Oeste de Irati, formando-se na primeira turma, em dezembro de 2002.

A carreira profissional iniciou-se em 2004, na Empresa Ibema Cia Brasileira de Papel, no município de Turvo, estado do Paraná, como Engenheiro Florestal *Trainee* nas áreas de colheita, transporte e comercialização florestal. Em 2006, assumiu a Supervisão Florestal também das áreas de planejamento e silvicultura. Porém, nunca deixou o convívio com a academia.

Entre os anos de 2008 e 2010, especializou-se em Gestão Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste, em Guarapuava, estado do Paraná, MBA “*Master Business Administration*” Executivo em Administração pela Faculdade Campo Real em Guarapuava, e iniciou como aluno especial no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia na Universidade Estadual do Centro-Oeste, em Guarapuava.

Em 2010 desligou-se da Ibema Cia Brasileira de Papel e teve uma breve passagem na coordenação de transporte florestal da Julio Simões Logística, maior operadora logística da América Latina, na operação Cenibra, em Belo Oriente, estado de Minas Gerais. No mesmo ano, recebeu o convite para assumir a Gerência Geral da Remasa Reflorestadora Ltda em Bituruna, estado do Paraná.

Em 2014 inscreveu-se como aluno regular no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais na Universidade Estadual do Centro-Oeste em Irati, dando continuidade ao Mestrado. Em 2015 obteve o título de Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Centro-Oeste em Irati, já ingressando como doutorando no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, na área de Manejo Florestal. Em 2015, desligou-se da Remasa Reflorestadora S.A. para dedicar exclusivamente ao doutorado.

Em 2016, aceitou o convite para compor a equipe de Planejamento Florestal da Lwarcel Celulose Ltda em Lençóis Paulista, estado de São Paulo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE SIGLAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Geral	3
2.2. Específicos	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. Setor Florestal Brasileiro	4
3.2. Gênero <i>Pinus</i>	5
3.2.1. <i>Pinus elliottii</i>	6
3.2.2. <i>Pinus taeda</i>	6
3.2.3. <i>Pinus</i> no Brasil	7
3.3. Censo florestal e inventário florestal por amostragem	10
3.4. Avaliação do sortimento de um povoamento florestal	12
3.5. Pesquisa Operacional	15
3.6. Otimização do sortimento de uma floresta em pé	17
3.7. Simulação do sortimento de uma floresta em pé	20
3.8. Perdas na colheita florestal	21
3.9. <i>Downgrade</i>	23
3.10. Otimização no desdobro de toras	24
3.11. Rendimento do desdobro de toras	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1. Localização da área de estudo	33
4.2. Dados meteorológicos	34
4.3. Fonte de dados	34
4.4. Coleta e análise de dados	34
4.4.1. Censo florestal e inventário florestal por amostragem	34

4.4.1.1. Estimativa do volume e sortimentos no censo e inventário por amostragem.....	35
4.4.1.2. Simulação de diferentes grupos de sortimentos de toras.....	36
4.4.1.3. Análise estatística	37
4.4.1.4. Análise econômica para diferentes grupos de sortimentos.....	38
4.4.2. Determinação das perdas na colheita florestal	38
4.4.2.1. Perdas econômicas na colheita florestal	40
4.4.2.2. <i>Downgrade</i> de sortimentos e suas perdas econômicas.....	41
4.4.3. Industrialização das toras	42
4.4.3.1. Obtenção do volume de toras e seu custo de aquisição.....	42
4.4.3.2. Sistema de desdobro das toras	43
4.4.3.3. Determinação do volume de madeira serrada.....	44
4.4.3.4. Rendimento em madeira serrada	45
4.4.3.5. Simulação de otimização no desdobro utilizando o <i>software</i> MaxiTora.....	45
4.4.3.6. Análise econômica com diferentes simulações para madeira serrada.....	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1. Volume comercial e sortimentos para o inventário por amostragem e censo	49
5.2. Simulação para diferentes grupos de sortimentos	51
5.2.1. Receita bruta para diferentes grupos de sortimentos.....	53
5.3. Perdas volumétricas na colheita florestal	54
5.3.1. Perdas econômicas na colheita florestal	56
5.4. <i>Downgrade</i> de sortimentos.....	57
5.4.1. Perdas econômicas por <i>downgrade</i> de sortimentos.....	59
5.5. Rendimento de madeira serrada	60
5.5.1. Análise econômica da madeira serrada	62
6. CONCLUSÕES.....	64
7. RECOMENDAÇÕES.....	65
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico dos plantios florestais no Brasil com Pinus, 2006 - 2015.....	8
Tabela 2. Distribuição dos plantios com Pinus no Brasil, 2015.....	8
Tabela 3. Sortimentos comercializados em diferentes regiões do Paraná e Santa Catarina....	14
Tabela 4. Inventário florestal por amostragem com diferentes intensidades amostrais.	35
Tabela 5. Grupos de sortimentos.....	37
Tabela 6. Preço de toras praticados na região de União da Vitória, estado do Paraná, 2016..	38
Tabela 7. Perdas volumétricas na colheita florestal.....	39
Tabela 8. Sortimentos e número de toras utilizadas para industrialização.....	43
Tabela 9. Lista de produtos e preços de madeira serrada praticados, 2016.....	44
Tabela 10. Produtos de madeira serrada simulados no <i>software</i> MaxiTora.....	47
Tabela 11. Volume comercial para os tratamentos do inventário por amostragem e censo florestal.....	49
Tabela 12. Volume comercial e volume por sortimentos para os sistemas de amostragem, com respectivos erros amostral e real.....	51
Tabela 13. Volume comercial, variação percentual por grupos de sortimentos e volume por sortimentos.....	52
Tabela 14. Receita bruta para diferentes grupos de sortimentos.....	53
Tabela 15. Percentual de volume comercial e perdas volumétricas na colheita florestal.....	54
Tabela 16. Volume de madeira retido nas cepas e percentual fora da especificação.....	55
Tabela 17. Efeitos econômicos das perdas na colheita florestal.....	56
Tabela 18. Coeficientes “ <i>downgrade</i> ” de sortimentos.....	57
Tabela 19. Efeitos econômicos das perdas por <i>downgrade</i> de sortimentos.....	59
Tabela 20. Rendimento da madeira serrada.....	60
Tabela 21. Rendimento de madeira serrada em desdobro convencional e programado.....	61
Tabela 22. Benefício econômico da madeira serrada para o sortimento “Serraria 1” e por simulação.....	62
Tabela 23. Benefício econômico da madeira serrada para sortimento “Serraria 2” e por simulação.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rendimento percentual do desdobro em função do DPF (diâmetro da tora na ponta fina).....	30
Figura 2. Rendimento de desdobro de toras sem programação (A) e com programação (B). 31	
Figura 3. Localização do talhão na área de estudo.....	33
Figura 4. <i>Downgrade</i> de sortimentos “ <i>Downgrade</i> Serraria 1 para Serraria 2 (A), <i>Downgrade</i> Serraria 2 para Celulose (B), <i>Downgrade</i> Serraria 2 para Celulose (C)”.....	41
Figura 5. Esquema de corte tangencial (<i>live saw</i>).	43
Figura 6. Tela de cadastro de produtos de madeira serrada no <i>software</i> MaxiTora.....	46
Figura 7. Tela de otimização do desdobro de toras no <i>software</i> MaxiTora.	47

LISTA DE SIGLAS

ANOVA: Análise de Variância
BT: Heurística Busca Tabu
Cfb: Clima temperado
DAP: Diâmetro a 1,3 m do solo
DIC: Delineamento Inteiramente Casualizado
DPF: Diâmetro da Tora na Ponta Fina
FCA: Fato, Causa e Ação
FMEA: Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos
IRT: Índice de Rentabilidade *Timberland* “Pöyry”
MDF: *Medium Density Fiberboard*
MDP: *Medium Density Particleboard*
OSB: *Oriented Strand Board*
PCE: Problemas de Corte e Empacotamento
PD: Programação Dinâmica
PDCA: *Plan, Do, Check, Action*
PI: Programação Inteira
PIB: Produto Interno Bruto
PL: Programação Linear
PNL: Programação Não-Linear
PO: Pesquisa Operacional
POA: Plano Operacional Anual
 R^2_{aj} : Coeficiente de determinação ajustado
SDF: *Super Density Fiberboard*
 S_{yx} : Erro padrão de estimativa
TIMOs: *Timberland Investment Management Organizations*
US\$: Dólar americano
UTM: *Universal Transversa de Mercator*
VND: *Variable Neighborhood Descent*
VNS: *Variable Neighborhood Search*

RESUMO

Edson Luis Serpe. **Sortimento do estoque volumétrico e rendimento de madeira serrada em floresta de *Pinus* spp..**

O sortimento do estoque volumétrico e rendimento de madeira serrada em floresta de *Pinus* spp. foi estudado no município de Bituruna, região sul do estado do Paraná. Foram realizados inventário florestal a 100% e inventário florestal por amostragem (amostragem aleatória e sistemática), com parcelas circulares e retangulares, com diferentes intensidades amostrais (1, 2 e 5%). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado para avaliar o sortimento da floresta em pé, utilizando inventário completo ou a 100% (censo) e inventário florestal por amostragem, além de testar diferentes alternativas de sortimento. Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett, análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, para verificar as diferenças entre as médias dos tratamentos. As perdas relativas da colheita florestal foram estudadas, propondo-se coeficientes de *downgrade* de sortimentos. Foram avaliados em serraria convencional os rendimentos do desdobro de madeira serrada e realizada a simulação da otimização com o *software* MaxiTora. Os resultados obtidos demonstraram que o sortimento utilizado influenciou diretamente no volume comercial, variando entre -21,51 a 1,94%. As perdas na colheita florestal foram de 11,92%. O *downgrade* de sortimentos proporcionou perdas de 5,41% na receita bruta do povoamento florestal, as quais foram produzidas pela não simetria dos fustes (bifurcações e tortuosidades), danos por pragas e falta de precisão do cabeçote processador. O rendimento do desdobro de toras não programado proporcionou rendimentos de 35,79 a 45,09%, contudo, o rendimento do desdobro de toras considerando a utilização de *software* de otimização de toras, variou de 36,81 a 55,15%. O maior benefício econômico de madeira serrada foi observado em toras de 16 a 23 cm de diâmetro.

Palavras-chave: Otimização; Avaliação econômica; Perdas na colheita; *Downgrade*.

ABSTRACT

Edson Luis Serpe. **Assortment of volumetric stock and efficiency saw lumber in *Pinus* spp..**

The assortment of volumetric stock and efficiency saw lumber in *Pinus* spp. were studied in the municipality of Bituruna, in the southern region of the Paraná state, Brazil. Complete forest inventory (census) and a sampling forest inventory were taken (random and systematic sampling) with circular and rectangular plots with different sampling intensities (1, 2 and 5%). A completely randomized design was used to evaluate the assortment of standing forest using either complete or 100% (census) inventory and forest inventory by sampling, as well as testing different assortment alternatives. The data were submitted to the Bartlett test, analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test to verify the differences between the means of the treatments. The relative losses of the forest harvest were studied, generating downgrade assortments coefficients. Sawmill efficiency were evaluated in a conventional sawmill and the optimization simulation was performed with MaxiTora software. The results showed that the assortment used, directly influences the commercial volume, ranging from -21.51 to 1.94%. The losses related to the forest harvest were 11.92%. The assortments downgrade resulted in losses of 5.41% in gross revenue of the forest stand, which are caused by tree stems non-symmetry (bifurcations and tortuosities), by pest damage and lack of precision of the processor head. The efficiency of non-scheduled logs sawing lumber varies from 35.79 to 45.09%, however the efficiency of a sawing lumber, considering the use of a timber optimization software, ranges from 36.81 to 55.15%. The greatest economic benefit of sawed lumber was observed in logs with diameters ranging from 16 to 23.

Keywords: Optimization; Economic evaluation; Harvest losses; Downgrade.

1. INTRODUÇÃO

A atividade florestal possui respeitável papel na economia brasileira, estando inseridas neste ramo, empresas produtoras de florestas, empresas de processamento de madeira (celulose e papel, painéis de madeira reconstituída, siderurgia à carvão vegetal e industrial madeireiro especializado na laminação de toras e madeira serrada) e investidores (nacionais e internacionais).

Por ser uma alternativa econômica relevante no cenário nacional, são realizadas muitas transações comerciais de ativos florestais (compra e venda de florestas), as quais demandam a necessidade de informações para a estimativa volumétrica e principalmente a valoração do ativo em negociação.

Para a tomada de decisão dos investidores, a realização de um inventário florestal com qualidade é primordial. No entanto apenas a estimativa do volume, não deve ser considerada de forma isolada para a tomada de decisão.

A madeira por se tratar de uma *commodity*, onde os preços são definidos pelo mercado, os produtores devem buscar alternativas para aumentar a rentabilidade de seus investimentos. Assim, as empresas florestais procuram a maior rentabilidade financeira de seus investimentos considerando as limitações impostas pela espécie, condições climáticas, qualidade da matéria-prima, preços, mercados, localização geográfica e transporte, dentre diversos outros fatores.

Em ativos conduzidos para atender a demanda de multiprodutos (laminação, serraria e celulose), existe a grande importância em mensurar os sortimentos, pois possuem diferentes valores de mercado.

Além de mensurar os sortimentos, busca-se a maior rentabilidade do investimento com a otimização das árvores em toras, para atender o mercado, o qual possui a demanda de diferentes produtos.

Para a tomada de decisão, além das informações quantitativas, um fato muitas vezes ignorado são as perdas ocasionadas pela atividade da colheita florestal, podendo ser maiores ou menores dependendo da qualidade da floresta e da operação da colheita florestal.

Estando com as informações de valoração do ativo, conhecer os produtos fabricados com os diferentes sortimentos é de extrema importância para a definição de estratégias de comercialização.

A eficiência econômica dos processos de transformação da matéria-prima florestal em produtos, é fator primordial para a permanência das indústrias do setor florestal, considerando o alto nível de competitividade entre os “*players*” do setor de produção de florestas e industrialização.

Em serrarias de pequeno e médio porte, em que o grau de automação é baixo, a pesquisa da eficiência técnica e econômica dos processos é essencial, para a otimização da matéria-prima, buscando a competitividade com as grandes empresas, onde o custo fixo destas empresas, em geral, é menor devido à maior escala de produção.

Todos os processos de produção buscam a obtenção do rendimento ótimo das atividades. Em muitos casos, a aplicação de *softwares* de otimização influencia positivamente, podendo motivar alterações nos processos e práticas anteriores, resultando em sistemas de produção mais eficientes. Na indústria madeireira, assim como em todas as manufaturas em geral, a necessidade do melhor aproveitamento da matéria-prima é um fator de constante preocupação, por gerar maiores rendimentos ao material a ser beneficiado.

Devido ao setor apresentar grande dinâmica na negociação de ativos, despertou o interesse na realização dessa pesquisa, a qual busca gerar conhecimentos para subsidiar a tomada de decisão desde o produtor de florestas até o processamento industrial.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Otimizar o sortimento de um povoamento de *Pinus* spp. e da madeira serrada e seus reflexos econômicos.

2.2. Específicos

a. Avaliar o volume comercial e sortimento da floresta em pé, utilizando o sortimento padrão da empresa, com as árvores medidas no inventário completo ou a 100% (censo) e inventário florestal por amostragem;

b. Testar diferentes alternativas de sortimentos para o censo florestal, avaliando o retorno econômico das melhores alternativas, comparando-as com o sortimento padrão da empresa;

c. Analisar as perdas relativas à colheita florestal e avaliar seus reflexos econômicos;

d. Propor coeficientes de *downgrade* de sortimentos de toras acarretadas por perdas de colheita e qualidade da floresta;

e. Avaliar o rendimento da madeira serrada e seu benefício econômico para o sortimento padrão da serraria;

f. Utilizar ferramentas de otimização para o desdobro das toras levadas para a serraria e analisar o benefício econômico das melhores alternativas, comparando-as com os resultados gerados no item e.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Setor Florestal Brasileiro

As florestas existentes no mundo somam cerca de quatro bilhões de hectares (30% da superfície terrestre do globo). A Federação Russa, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China concentram mais da metade da área florestal total (FAO, 2013).

A silvicultura brasileira devido as condições de insolação intensa, abundância de recursos hídricos, qualidade dos solos, associadas às técnicas silviculturais adequadas, fizeram com que a produtividade dos plantios florestais atingisse lugar de destaque no cenário mundial (SFB, 2012).

A cadeia produtiva do setor brasileiro de base florestal, caracteriza-se pelo grande número de empresas, investidores e empreendedores que atuam desde o fornecimento de insumos e máquinas, passando pela prestação de serviços como o plantio, colheita e transporte florestal, além da obtenção dos produtos finais nos segmentos industriais (IBÁ, 2015).

A atividade de base florestal divide-se em vários segmentos, como: celulose, papel, siderurgia, carvão, móveis e madeira processada mecanicamente (madeira serrada, painéis de madeira reconstituída, compensados e laminados), além de vários produtos não-madeireiros (SBS, 2008).

O setor florestal corresponde a 1,2% do Produto Interno Bruto (PIB) e receitas de cerca de R\$ 69,1 bilhões. Do ponto de vista social, promove a geração de empregos e de renda. Em 2015, estima-se que o setor florestal manteve 3,80 milhões de postos de empregos, incluindo 0,54 milhão de empregos diretos e 3,26 milhões de empregos indiretos e empregos resultantes do efeito-renda (IBÁ, 2016).

Em 2015, os tributos arrecadados corresponderam a 11,3 bilhões (0,9% da arrecadação nacional). A receita das exportações atingiu US\$ 9 bilhões, aumento de 5,9% em comparação ao recorde de US\$ 8,49 bilhões de 2014 (IBÁ, 2016).

Entre 2000 e 2012, a rentabilidade média de ativos florestais brasileiros, medida pelo índice de rentabilidade *Timberland* “Pöyry” (IRT), foi de 7,3% a.a., um indicador superior à inflação do período e, também, superior ao retorno de outros investimentos de baixo risco, como por exemplo, a poupança (5,5% a.a.). No entanto, em 2012 a rentabilidade média do negócio florestal, no Brasil, não ultrapassou 1,0% a.a. (ABRAF, 2013).

O crescimento da indústria deverá representar consumo adicional de toras da ordem, de aproximadamente, 115 milhões de $m^3 \cdot ano^{-1}$, em 2035. Para atender ao crescimento da demanda industrial, será necessária área adicional de 2,7 milhões de hectares, totalizando cerca de 10,4 milhões de hectares (+1,5% ao ano) (CONSUFOR, 2015).

A opção de investimentos em florestas plantadas tem sido adotada por investidores nacionais e internacionais. No Brasil, o investimento pelas TIMOs (*Timberland Investment Management Organizations*) americanas iniciaram no ano 2000. Em 2015, o valor de mercado dos ativos florestais nas mãos de fundos, no Brasil, ultrapassou o patamar dos R\$ 8 bilhões, com projeção para o ano de 2020, de R\$ 16 bilhões, mostrando grande potencial de crescimento no país (CONSUFOR, 2015).

Do total de 7,8 milhões de hectares plantados no Brasil, 34% pertencem a empresas do segmento de celulose e papel. Os proprietários independentes e fomentados (pequenos e médios produtores) representam 29% e segmento de siderurgia a carvão vegetal, 14%. Investidores financeiros ou TIMOs detém 10% dos plantios florestais. O Brasil é o segundo principal destino dos investimentos em ativos florestais (29%), somente atrás dos Estados Unidos (66%). Os segmentos de painéis de madeira e pisos laminados (6%), produtos sólidos de madeira (4%) e outros (3%) completam a distribuição dos plantios florestais (IBÁ, 2016).

3.2. Gênero Pinus

O gênero *Pinus* pertence à família Pinaceae, ordem Coniferae e classe Gymnospermae (GILMAN e WATSON, 1994). É amplamente distribuído pelo Hemisfério Norte até os países tropicais e subtropicais nas Índias Ocidentais, Arquipélago das Filipinas, Antilhas, Ilhas Bahamas, México, Guatemala, Honduras e Nicarágua, com maior ocorrência nos climas temperados (ALMEIDA, 1991).

Tem sido utilizado pelo homem desde os tempos mais remotos. Theophrastus (370-285 a.C.), em seu inquérito sobre plantas, escreveu sobre a morfologia, reprodução e utilidade para o homem (MIROV, 1967).

Este gênero é composto por plantas lenhosas, em geral arbóreas, de altura que variam de 3 a 50 m. Possuem tronco reto, mais ou menos cilíndrico e copa em forma de cone. As folhas têm forma de acículas, agrupadas em fascículos (LIMA *et al.*, 1988).

3.2.1. *Pinus elliottii*

O *Pinus elliottii* é vulgarmente conhecido por *slash pine* ou pinheiro da Flórida nos Estados Unidos e pinheiro americano no Brasil. Possui como região de ocorrência natural, o Estado da Carolina do Sul até o oeste do estado da Louisiana, em uma estreita faixa próxima ao Oceano Atlântico no sudeste dos Estados Unidos (PAIT, 1991).

Como espécie heliófila de crescimento rápido, apresenta alta competitividade, atingindo alturas de 20 a 30 m e diâmetro de 60 a 90 cm. Tem preferência natural por solos ácidos e arenosos localizados, sobretudo, em baixadas e junto a cursos de água, bem como, áreas com lençol freático próximo à superfície (LAMPRECHT, 1990).

Os solos mais recomendáveis no Brasil são os podzólicos e os latossolos mais argilosos, tendo correlações positivas entre a qualidade do sítio e a soma de bases trocáveis e o teor de fósforo no solo (VAN GOOR, 1967).

A temperatura média anual na região de origem oscila de 15 a 24 °C, e os índices de precipitação variam de 650 a 2.500 mm, com período seco de, no máximo, 4 meses. É considerado bastante resistente às geadas (LAMPRECHT, 1990).

3.2.2. *Pinus taeda*

O *Pinus taeda*, conhecido empiricamente nos Estados Unidos como *loblolly pine* ou *black pine* é uma espécie subtropical, amplamente adaptada e distribuída do sul dos Estados Unidos, ocorrendo naturalmente em 15 estados. Sua ocorrência se estende ao longo da Costa Atlântica de Maryland até a Flórida no Leste e do Texas e Oklahoma no Oeste (DORMAN, 1976). É a mais importante dentre as espécies de *Pinus* plantadas comercialmente no sul e sudeste dos Estados Unidos, totalizando 11,7 milhões de hectares (AGUIAR *et al.*, 2013).

O clima da maioria das formações naturais é úmido, com temperatura variando de quentes e amenas, verões longos e quentes e invernos intermediários. A precipitação média anual varia de 1.020 a 1.520 mm. A temperatura média anual varia de 13 a 24 °C. A temperatura média do mês mais quente (julho) é de 27 °C e a temperatura média do mês mais frio (janeiro) é de 4 a 16 °C, podendo cair a -23 °C (BACKER e LANGDON, 1990).

Seu melhor crescimento nos EUA ocorre em solos moderadamente ácidos com pouca drenagem superficial e camada superficial de textura média. Esses solos são comuns nas regiões mais elevadas da Planície Costeira Atlântica e também nas planícies alagadas e terraços de rios e córregos. No ambiente natural, as árvores atingem até 45 m de altura, com diâmetros de até 1,50 m. Na Planície Costeira Atlântica, a produtividade geralmente decresce com o aumento da drenagem superficial (BACKER e LANGDON, 1990).

É uma espécie muito comum e importante economicamente nos Estados Unidos e tem sido introduzida em vários países, como Argentina, Austrália, Brasil, China, Nova Zelândia e África do Sul (HARMS *et al.*, 2000).

Possui baixa exigência nutricional, sendo que na região sul do Brasil, apresenta crescimento rápido e alta produtividade. Adapta-se aos solos ligeiramente ácidos, que constituem a grande maioria dos solos do país (KRONKA *et al.*, 2005).

3.2.3. Pinus no Brasil

O gênero *Pinus* chegou ao Brasil há mais de um século pelas mãos dos imigrantes europeus que plantavam a espécie para fins ornamentais. Todavia, a introdução do *Pinus* no Brasil ocorreu com a instalação de várias unidades experimentais em 1936 pelo atual Instituto Florestal de São Paulo (KRONKA *et al.*, 2005).

O *Pinus* foi introduzido nas regiões sul e sudeste do Brasil, por volta de 1954, com o objetivo de substituir a madeira da *Araucaria angustifolia*, cujas florestas naturais encontravam-se em rápido processo de exaustão (ELESBÃO, 2011). Os plantios de *Pinus* foram acelerados a partir de 1966 com o início dos incentivos fiscais ao reflorestamento no Brasil, os quais foram revogados em 1987 (SBS, 2008).

As áreas ocupadas por plantios florestais no Brasil em 2015 totalizaram 7,8 milhões de hectares (0,9% do território Nacional), sendo 5,63 milhões com *Eucalyptus* (72,2%), 1,58 milhão com *Pinus* (20,3%) e outras espécies com 0,59 milhões (7,5%) (IBÁ, 2016).

O gênero *Pinus* é o mais plantado no sul do Brasil, o qual representa grande importância para o setor florestal, atendendo ao mercado interno em vários segmentos socioeconômicos e também ao mercado externo (AGUIAR *et al.*, 2011).

Predominam os plantios de *P. elliottii* e *P. taeda*, os quais apresentam resistência à geada e alta produtividade nas regiões onde são plantadas (SHIMIZU, 2006; SHIMIZU e SEBBEN, 2008). *P. taeda* é a espécie mais plantada na região sul do Brasil para a produção de madeira visando o processamento industrial (AGUIAR *et al.*, 2011).

Na Tabela 1 está o histórico dos últimos 10 anos (2006 - 2015) da área de plantios florestais no Brasil com Pinus. O Paraná é o maior produtor de Pinus do Brasil (Tabela 2), possui 914.116 hectares de florestas plantadas o que corresponde a 11,8% da área plantada no Brasil, sendo 663.600 hectares de Pinus (72,6%) (IBÁ, 2015, 2016).

Tabela 1. Histórico dos plantios florestais no Brasil com Pinus, 2006 - 2015.

Ano	Área (ha)
2006	1.886.286
2007	1.874.656
2008	1.832.320
2009	1.794.720
2010	1.756.359
2011	1.641.892
2012	1.562.782
2013	1.570.146
2014	1.588.997
2015	1.580.000

Fonte: IBÁ (2014, 2015, 2016).

Tabela 2. Distribuição dos plantios com Pinus no Brasil, 2015.

Estado	Área (ha)	%
PR	663.600	42
SC	537.200	34
RS	189.600	12
SP	126.400	8
Outros	63.200	4
Total	1.580.000	100

Fonte: IBÁ (2016).

Os dados mostram que a espécie se consolidou na região sul devido às suas condições naturais de solo, clima e disponibilidade de áreas contíguas com vocação florestal (LIMA, 2014). A produtividade dos plantios de Pinus no Brasil em 2015, atingiu $31 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Nos EUA, os plantios de Pinus atingem produtividade de $14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, Austrália com $16 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, Chile e China com $18 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e África do Sul com $22 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (IBÁ, 2015, 2016).

A madeira de Pinus pela sua versatilidade está presente nas cadeias produtivas de diferentes produtos, podendo ser destinada a diferentes indústrias, para os mais diversos fins, sendo utilizada para celulose fibra longa não branqueada, pasta mecânica, molduras, painéis de madeira reconstituída (compensado, MDF, MDP, OSB e SDF), madeira serrada, móveis, palito de fósforo e papel e celulose, sendo produzida desde pequenos produtores até grandes “*players*” do setor industrial (SCHUCHOVSKI, 2003; BOGNOLA *et al.*, 2008; AGUIAR *et al.*, 2011).

Em 2015, a produção de madeira serrada atingiu 8,8 milhões de metros cúbicos, recuo de 4,3% em relação a 2014. As exportações alcançaram 1,6 milhão de metros cúbicos, com crescimento de 28% em relação a 2014 (IBÁ, 2005, 2016).

São produzidos anualmente, cerca de 660 milhões de metros cúbicos de madeira serrada no mundo, sendo 76% de coníferas e 24% de espécies folhosas. Ao longo dos últimos 10 anos, a produção cresceu em média 0,2%. Do total produzido, 20% é comercializado internacionalmente e os 80% são consumidos nos países produtores (CONSUFOR, 2015).

Rússia, Canadá, Suécia e Alemanha são os principais exportadores de serrados, responsáveis por 53% do comércio global. Os maiores importadores mundiais são China, EUA, Itália e Japão, correspondendo a 43% do total importado (CONSUFOR, 2015).

A participação do Brasil no comércio mundial de serrados é praticamente insignificante. Isso ocorre devido a infraestrutura inadequada, tributação onerosa, custos de logística interna, taxa cambial desfavorável, distância dos principais consumidores e incapacidade da indústria de se adaptar às exigências internacionais de certificação e padronização de produtos (CONSUFOR, 2015).

Os preços da madeira na forma de toras variam de acordo com o aproveitamento da matéria-prima. A madeira de primeiro desbaste (8^o ano) possui preço médio predominante para energia e celulose. No segundo desbaste (12^o ano) o preço equivale à ponderação das proporções de matéria-prima para serraria, energia e celulose, e no corte raso (18^o ao 21^o ano) as toras são de grandes dimensões e o preço é determinado pela matéria-prima para laminação e madeira serrada (DOSSA, 2008).

3.3. Censo florestal e inventário florestal por amostragem

A maneira de se obter informações de uma floresta e inferir sobre suas características é por meio da realização de um inventário florestal (SÉ, 2012). Inventário florestal é uma atividade que busca obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-definida. Com a evolução da tecnologia e da crescente necessidade de informações mais detalhadas, os inventários tornaram-se mais complexos e passaram a informar muitos detalhes adicionais, não se limitando apenas ao volume de madeira existente na floresta e um exemplo disso são as informações imprescindíveis quando se maneja a floresta para multiprodutos (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

O inventário florestal consiste no uso de levantamentos realizados por meio de censo ou por fundamentos de amostragem para determinação ou estimativa das características da floresta, sejam essas quantitativas ou qualitativas. Com o inventário é possível conhecer o estoque presente nas florestas, identificar seu potencial de crescimento e produção (SCOLFORO e MELLO, 1997).

A utilização de inventários florestais é rotina na maioria das empresas florestais, e com as informações oriundas desses, os plantios são avaliados determinando-se a qualidade e a quantidade dos produtos madeireiros a serem obtidos (CAMPOS *et al.*, 2013).

As áreas florestais são geralmente extensas e a realização do censo é uma abordagem exaustiva, demandando muito tempo e alto custo para sua realização. Uma forma de minimizar essa situação é extrair uma amostra representativa da população. As inferências obtidas para a população são confiáveis se a amostra for uma verdadeira representação da população. Dessa forma, a amostragem torna-se quase sempre uma opção, permitindo a obtenção de estimativas dos parâmetros de interesse (ROCHA *et al.*, 2013).

O censo florestal ou enumeração total é a abordagem de 100% dos indivíduos da população. Com a medição de todos os indivíduos obtêm-se os valores reais da população, ou seja, fornece os seus parâmetros sem erros amostrais (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Com uso do censo, obtêm-se os valores reais ou “parâmetros” da floresta. Existem algumas razões para realizar o censo: a exigência legal (Planos de Manejo Florestal na Floresta Amazônica, para estabelecer o Plano Operacional Anual “POA”), o valor econômico, científico ou cultural muito elevado de uma floresta ou no caso de uma área de dimensões diminutas, onde se torna difícil a aplicação das técnicas de amostragem (SANQUETTA *et al.*, 2009).

Em áreas florestais pequenas, a medição pode ser realizada em todas as árvores (inventário completo ou levantamento de 100% da floresta). Para áreas florestais grandes, o levantamento de 100% não é viável devido ao tamanho da força de trabalho, ao tempo necessário requerido e aos altos custos (HUSCH, 1971).

A enumeração completa não contém erros de amostragem e tem sido usada apenas em áreas com propósitos de pesquisa, ou em áreas com madeiras de grandes dimensões e de alto valor comercial (MACHADO, 1988). Avery e Burkhart (1983) afirmaram que, sob condições limitadas, quando árvores de alto valor ocorrem dispersas em pequenas áreas, uma contagem completa ou de 100% pode ser realizada.

Os inventários realizados por enumeração completa são importantes em termos de pesquisa. Gobbo *et al.* (2007) realizaram pesquisas utilizando o censo, com objetivo de testar a eficiência de diversos procedimentos e métodos de amostragem e intensidades amostrais na descrição de parâmetros volumétricos e comparar os valores estimados por amostragem com valores dos parâmetros obtidos no censo.

A amostragem, conforme Husch *et al.* (1982), consiste em observar uma porção da população (floresta e suas características) para obter estimativas representativas do todo. Ao passo que, o grupo de unidades amostrais escolhidas para as observações e medições constitui a amostra.

As estimativas feitas por um processo de amostragem acarretam a existência de um erro amostral, devido à medição de apenas parte da população e quanto menor for esse erro de amostragem, mais precisas são as estimativas (HOSOKAWA e SOUZA, 1987).

A amostra é definida como uma parte da população, constituída de indivíduos que representam características comuns na população. A amostra deve ser representativa, deve possuir as mesmas características básicas da população (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Os processos de amostragem nos inventários florestais referem-se à abordagem da população sobre o conjunto de unidades de amostra, podendo ser de forma aleatória, sistemática ou mista. Os métodos de amostragem utilizados podem ser de área fixa e área variável e as unidades amostrais podem possuir formas circulares, quadradas e retangulares (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

A qualidade do inventário florestal está relacionada à definição adequada do processo de amostragem e da intensidade amostral, tamanho e forma das unidades amostrais, sendo estes requisitos fundamentais para obter as informações com precisão. A escolha do processo de amostragem deve considerar as características da área, espécie, distribuição da variável estudada, tempo e recursos disponíveis (SANQUETTA *et al.*, 2009).

Os trabalhos de Mello *et al.* (2009), Costa e Regazzi (2010), Santos *et al.* (2013) e Souza *et al.* (2015) são alguns dos exemplos de pesquisa que buscam o comparativo entre a grande gama de opções de metodologias que podem ser aplicadas em um inventário florestal por amostragem.

3.4. Avaliação do sortimento de um povoamento florestal

O sortimento florestal é o termo utilizado para resumir a avaliação comercial qualitativa da floresta em pé a partir de uma lista de diferentes multiprodutos (toras) (ARCE, 2000). O sortimento é o "seccionamento" da árvore pelas dimensões diâmetro e comprimento. Quanto maior o diâmetro, mais nobre é o produto e conseqüentemente maior seu preço (SILVA, 1982).

Segundo Arce *et al.* (2004), essa etapa da operação de colheita pode ser considerada como um processo de tomada de decisões a curto prazo. Dessa forma, a utilização de técnicas de otimização aplicadas à obtenção de multiprodutos florestais, pode contribuir de forma expressiva para aumentar a utilização da matéria-prima.

O sortimento florestal consiste na determinação de um padrão de corte ótimo de um fuste a ser traçado. Este padrão pode ser variável, em função, principalmente, dos diferentes produtos que serão retirados, buscando atender aos diferentes mercados consumidores. O padrão de sortimento é a sequência de produtos (toras) que podem ser obtidos de um determinado fuste (SILVA *et al.*, 2015a).

A avaliação prévia do sortimento por classes diamétricas nos plantios florestais permite planejar os tipos de produtos a serem obtidos, de maneira a otimizar o valor econômico da madeira em pé (ARCE, 2000).

A pesquisa do sortimento dos plantios florestais é importante para o planejamento e avaliação do manejo das florestas de potencial madeireiro, observando-se aspectos do planejamento das atividades de manejo, dimensionamento das unidades de processamento mecânico da madeira, bem como da comercialização de madeira serrada (JORGE e LARA, 1993).

A definição dos sortimentos a serem produzidos em plantios florestais é uma atividade complexa, sendo influenciada pelas características e especificações do produto a ser fabricado e, principalmente, pela demanda de mercado (perfil industrial do polo consumidor). Ao buscar produzir o máximo de rendimento financeiro, faz-se necessário a utilização de técnicas de otimização (CAMPOS *et al.*, 2013).

O corte raso é a operação de uma rotação de produção florestal, na qual são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo um dos fatores que determinam a viabilidade florestal. A maneira como é conduzido o processamento dos fustes é fundamental para estabelecer as quantidades de cada um dos diferentes tipos de produtos que podem ser obtidos da floresta (ARCE *et al.*, 2004).

Preliminarmente, antes da colheita florestal, deve ser avaliado como os fustes das árvores serão divididos em toras. O objetivo é chegar aos sortimentos mais lucrativos com a venda dos produtos. A dificuldade consiste em avaliar de forma eficiente os sortimentos que atendam ao mercado regional, levando ainda em consideração a caracterização de cada árvore com seus diferentes diâmetros ao longo do fuste (d_i) e sua altura total (h) (SILVA *et al.*, 2015b).

O problema de processamento ótimo de fustes em toras pode ser associado à otimização do sortimento em função da oferta, ou seja, qual é a maneira mais lucrativa de traçar os fustes de modo a obter toras de produtos pré-estabelecidos. Já o problema da alocação ótima de diferentes produtos pode ser visto como uma otimização em função da demanda (ARCE, 2000).

A utilização de um único comprimento de tora (*pulpwood*) torna a tomada de decisão bem mais simples, porém no caso de multiprodutos florestais (*utility* e *clearwood*) a complexidade combinatória necessária para atingir o traçamento otimizado aumenta. A utilização de técnicas de otimização aplicada à obtenção de multiprodutos florestais pode contribuir de forma expressiva para aumentar a rentabilidade do negócio (ARCE *et al.*, 2004).

Muitas empresas utilizam, comumente, uma variedade de comprimentos de toras de acordo com os seus objetivos comerciais, mas procurando sempre a maximização dos lucros. Com essa intenção, apostam em comprimentos alternativos de toras, visando um melhor aproveitamento do material lenhoso (CAMPOS e TAVARES, 2010).

A pesquisa do sortimento dos plantios é importante para o planejamento do manejo florestal. O sortimento das árvores permite a obtenção de multiprodutos e esses agregam valor à madeira (ARCE, 2000). Ainda segundo Arce (2000), o número potencial de padrões de corte é a quantidade de produtos diferentes considerados, elevado ao número máximo de toras que podem ser retiradas do fuste.

Segundo Oliveira e Lopes (2009), o uso de diferentes sortimentos para toras de Pinus visa atender aos diferentes consumidores de uma região. Na Tabela 3 são apresentados os sortimentos comercializados em diferentes regiões do Paraná e Santa Catarina.

Tabela 3. Sortimentos comercializados em diferentes regiões do Paraná e Santa Catarina.

Autor	Município/Estado	Sortimentos	
		Classe de diâmetro (cm)	Comprimento (m)
Eisfeld <i>et al.</i> (2004)	Rio Negro/Paraná	8 a 16	2,60
		16 a 23	3,10
		23 a 35	3,10
		Acima de 35 cm	2,75
Menon (2005)	Correia Pinto/Santa Catarina	8 a 18	1,00 a 4,00
		18 a 24	3,10 e 3,80
		24 a 30	2,60
		30 a 40	3,10
		Acima de 40	3,80
Oliveira e Lopes (2009)	Campo do Tenente/Paraná	8 a 18	2,40 m
		18 a 23	1,85, 2,30 e 2,60
		Acima de 23	2,30 e 2,60
Drinko <i>et al.</i> (2015)	Campo do Tenente/Paraná	8 a 18	2,50
		18 a 23	1,90
		23 a 32	2,65 e 4,10
		Acima de 32	3,00
Pöyry (2014), Consufor (2014) e Seab (2016)	Estado do Paraná	8 a 18	Variável
		18 a 25	
		25 a 35	
		Acima 35	

3.5. Pesquisa Operacional

O termo Pesquisa Operacional (PO), foi adotado na Segunda Guerra Mundial para designar o conjunto de processos e métodos de análise desenvolvidos, com o objetivo de encontrar soluções para problemas de alocação de recursos de guerra. O marco definitivo da PO foi a publicação de George Dantzig, no final dos anos 1940, onde foi apresentado um caminho prático de solucionar problemas de Programação Linear (PL) por meio do método Simplex (PUCCINI, 1990). Atualmente, encontram-se aplicações da PO nas mais diversas áreas da atividade humana (SILVA *et al.*, 1998).

PO é o conjunto de conhecimentos relacionados com o processo científico de tomada de decisão, aplicados ao projeto e operação de sistemas homem-máquina, em um ambiente com recursos restritos (MENON, 2005).

Segundo Hillier e Lieberman (1995), a PO engloba técnicas que visam encontrar a solução ótima de problemas, desde os mais simples aos mais complexos, com o objetivo de auxiliar o planejador na tomada de decisões.

As principais técnicas de PO aplicadas são: Programação Linear (PL), Programação Não-Linear (PNL), Programação Inteira (PI), Programação Dinâmica (PD), Pert/cpm e Simulação (LEITE *et al.*, 1995).

A PL é, sem dúvida, a técnica de PO, mais utilizada. Isto se deve à alta eficiência de seu principal algoritmo de resolução, o Método Simplex, o qual, é uma das grandes contribuições da programação (GOLDBARG e LUNA, 2005).

Segundo Yoshida (1987), o método simplex publicado por George Dantzig determina, caso exista, a solução ótima de um problema de PL, a partir de uma solução básica (vértice) inicial, percorrendo, iterativamente, os vértices do conjunto de pontos viáveis, permitindo, ainda, concluir se o problema é ilimitado ou inviável.

A implementação de modelos de PL em florestas, originou-se no setor público e foi conduzido para florestas nativas (WEINTRAUB e BARROS, 1982). Dykstra (1984) apresentou a aplicação da PL no planejamento da produção de laminados, onde se busca a otimização da matéria-prima.

A PD é útil em um número substancial de aplicações no setor florestal. Trata-se de uma técnica para a otimização de funções lineares ou não lineares que se baseia na decomposição do problema original em subproblemas, podendo ser utilizada para resolver problemas que envolvem uma sequência de intervenções ao longo do tempo (DREYFUS e LAW, 1986). Não possui um algoritmo definido para a solução de diferentes problemas, e os únicos pontos comuns entre os diversos algoritmos são as relações recursivas ou funções de recorrência e o princípio de otimalidade (BRIGGS, 1980; HILLIER e LIEBERMAN, 1995).

A principal vantagem da PD, refere-se à análise marginal tradicional para a solução de dificuldades de gestão em plantios equiâneos, e que ela apresenta grande flexibilidade do modelo e alta eficiência na análise da sensibilidade da solução ótima (AMIDON e AKIN, 1968).

Cortar unidades maiores em unidades menores e empacotar unidades menores dentro de unidades maiores são problemas idênticos, considerando que um item cortado de uma certa posição poderia ser realocado àquela posição. Por isso, problemas dessa classe são referidos como “Problemas de Corte e Empacotamento” (PCE) (ARENALES e MORABITO, 1995).

O trabalho pioneiro que descreve a classe dos PCE foi desenvolvido pelo matemático e economista soviético Leonid Vitaliyevich Kantorovich e foi publicado em 1939, mas só ficou conhecido no Ocidente na década de 1960, após sua publicação em inglês.

As pesquisas sobre os PCE foram intensificadas nos anos 1960, a partir do trabalho de Gilmore e Gomory (1961). Desde então, os PCE têm sido extensivamente tratados na literatura. Isso se deve à sua importância econômica, aliada à dificuldade de resolução desses problemas. Nas últimas duas décadas, vários artigos de revisão bibliográfica, relacionados ao PCE, foram publicados, sendo relevante citar os devidos a Dyckhoff (1990), Sweeney e Parternoster (1992), Dowsland e Dowsland (1992) e Wäscher *et al.* (2006).

As mais variadas formas de resolver um PCE podem ser utilizadas, dentre elas metaheurísticas baseadas em construção e busca local, algoritmos evolutivos e meméticos, *Variable Neighborhood Search* (VNS) e *Variable Neighborhood Descent* (VND), algoritmos exatos como PI e PL, *Branch and Bound*, PD, Geração de Colunas, dentre outros, como mostra Puchinger (2011).

Os PCE são amplamente estudados devido ao grande interesse prático e teórico (Dyckhoff *et al.*, 1997 e Lodi *et al.*, 2002). Geralmente, a pesquisa de soluções para o PCE se baseia na obtenção de peças retangulares obtidas a partir de objetos maiores (GHIDINI, 2008).

Dependendo dos itens solicitados, seria possível combiná-los dentro de um objeto de inúmeras maneiras, respeitando-se um conjunto de restrições no processo de corte. Estas combinações são denominadas de “padrões de corte”. O padrão de corte ótimo é aquele que produz, por exemplo, a menor perda. O número de padrões de corte possíveis pode ser, na prática, muito elevado, exigindo que técnicas bem elaboradas sejam desenvolvidas para determinar o padrão ótimo (ARENALES e MORABITO, 1995).

O problema de corte é bidimensional quando duas dimensões (comprimento e largura) do objeto a ser cortado são relevantes no processo de corte. Esse tipo de problema é encontrado nas indústrias de móveis, metalúrgica, de esquadrias de alumínio, entre outras, em que chapas retangulares grandes são cortadas em peças retangulares menores (itens), as quais, geralmente, compõem produtos demandados (GHIDINI, 2008).

Os problemas de otimização de toras podem ser enquadrados dentro de uma categoria específica de problemas de otimização, denominados PCE, os quais apresentam uma série de técnicas matemáticas para sua solução (ARCE, 2000).

Os chamados PCE são encontrados em PO, sendo muito utilizados no setor madeireiro. Segundo Katsurayama (2002), o problema de corte consiste, basicamente, na determinação de padrões de corte de unidades de material de maneira a produzir um conjunto de unidades menores, satisfazendo determinadas restrições. A PO é uma ferramenta valiosa para a otimização de sortimentos de toras e do desdobro de toras (MENON, 2005).

3.6. Otimização do sortimento de uma floresta em pé

O investimento em florestas para produção de madeira, com possibilidade de usos múltiplos demanda a realização de inventários florestais, capazes de informar as quantidades de madeira em classes específicas de qualidade de fuste (MENDONÇA, 2006).

A otimização do processamento de árvores, descreve a geração de um conjunto de estratégias de corte por unidade de colheita, que permite prover o valor máximo que pode ser obtido de uma floresta (ARCE, 2000).

Segundo Mitchell (2004), a otimização do processamento de árvores (*bucking optimization*) é considerada um caso especial de dificuldade de planejamento operacional de colheita. *Bucking* é o processo de cortar o fuste (tronco) de uma árvore em toras comercializáveis.

Os métodos de otimização são naturalmente flexíveis o suficiente para resolver problemas de natureza variada, podendo ser aplicados no planejamento florestal, colheita florestal, regulação florestal, alocação de pátios e desdobro de toras (SILVA *et al.*, 2015a).

Devido à complexidade e quantidade de variáveis envolvidas nesses modelos, as ferramentas da PO foram introduzidas no setor florestal, possibilitando a minimização de riscos e incertezas na tomada de decisão (RODRIGUES, 2001).

A otimização do processamento de fustes foi criada porque os primeiros métodos aplicados para solucionar estes tipos de problemas otimizavam o valor de cada árvore sem considerar as demandas de mercado (SANTANA, 2013).

A conversão de fustes em toras e destas em produtos finais envolvem vários processos inter-relacionados. Devido a isso, têm-se empregado modelos de PO, em que algoritmos são codificados para o uso em computadores e/ou sistemas automatizados (MENDONÇA, 2006).

Alguns sistemas de inventário florestal e prognose do crescimento e da produção existentes no mercado possuem módulos de sortimento que informam a quantidade de cada tipo de produto que o talhão possui. Esses sistemas consideram a otimização da floresta em pé. Dentre esses sistemas podem ser mencionados o sistema de inventário MARVL (*Method for assessment of recoverable volume by log types*) (ARCE *et al.*, 2004).

O *software* OPTICORT faz parte de um conjunto de sistemas de PO aplicados ao planejamento e desenvolvimento do setor florestal. É formado por um sistema de planejamento florestal de longo prazo (PLANEX), um sistema de otimização do sortimento (OPTICORT) e um sistema de programação do transporte florestal (ASICAM). O OPTICORT consiste em um módulo de PL combinado com um algoritmo de geração de colunas. Este algoritmo é um gerador de padrões de corte tipo *branch and bound*, acrescentando, a partir da ramificação e avaliação iterativa de uma árvore de alternativas, opções às soluções ótimas encontradas pelo módulo de PL (EPSTEIN *et al.*, 1999).

Reinders (1989) construiu o *software* “Ideas” para avaliação completa da conversão de árvores e de toras, bem como a otimização na comercialização de produtos florestais. Nesta abordagem de subalgoritmos hierárquicos de PD, foram utilizados para conversão ótima de árvores em peças serradas. Essa conversão foi descrita em três níveis: árvores em toras, toras em peças “fatias”, obtidas por cortes paralelos realizados nas toras e peças menores, obtidas por cortes paralelos entre si e perpendiculares aos cortes anteriores.

Os problemas de otimização do sortimento surgem ao nível do fuste e do povoamento. Ao nível do fuste, o problema consiste em determinar o padrão de corte que maximiza o valor comercial do fuste, dados os preços dos produtos e as limitações de produção. Ao nível do povoamento, o problema consiste em associar padrões de corte para cada classe de fuste, de modo a maximizar o valor agregado, dadas as restrições de comercialização e as características do povoamento, principalmente diâmetros, alturas e qualidades (LAROZE, 1999).

Maness e Adams (1991) utilizaram um modelo de PL com estratégias de traçamento de árvores em toras e de toras em peças serradas, por meio de um procedimento de resolução de três estágios. O volume dos produtos elaborados foi controlado por meio de relações preço-volume, simulando curvas de demanda.

Pnevmaticos e Mann (1972) publicaram um algoritmo para conversão ótima de fuste de árvores em toras. Posteriormente, surgiram algoritmos e sistemas para a obtenção de diagramas de corte em toras de madeira. Briggs (1977) pesquisou a utilização de PD para transformar toras em peças de madeira.

A geração dos padrões de corte ótimos foi utilizada por meio de dois módulos: um algoritmo heurístico que identifica os cortes potenciais (números úteis), que devem ser avaliados ao longo do fuste, e um algoritmo com base na PD que determina a combinação ótima de produtos a serem retirados do fuste, com o objetivo de maximizar o seu valor (GILMORE e GOMORY, 1961, 1963, 1965).

Faaland e Briggs (1984) utilizaram a PD para resolver o problema do corte ótimo das árvores em produtos serrados. Esse problema possui duas etapas: o traçamento do fuste em toras e a transformação das toras em produtos obtidos no desdobro. Essas duas atividades foram consideradas como um sistema único de produção. Briggs (1980) pesquisou o uso de algoritmos para a conversão de árvores em toras e de toras em madeira serrada.

Eng *et al.* (1986) modelaram um problema de traçamento de árvores e alocação ótima de toras para fontes consumidoras, associando a PL a um algoritmo de PD. O objetivo foi enfatizar a eficiência no sortimento global para os recursos em pé que são cortados durante um horizonte de planejamento, ao invés de prescrever padrões de corte otimizados para cada unidade de colheita ou árvores individuais.

Segundo Dowsland e Dowsland (1992), o problema de geração de padrões de corte consiste em cortar objetos em estoque de tamanhos e quantidades conhecidos, para atender uma demanda de itens de tamanhos e quantidades especificados pelos clientes. Ainda, o corte deve ser feito de forma a otimizar algum critério. Os objetos são cortados de acordo com padrões de corte que definem maneiras diferentes de arranjar itens dentro de objetos.

Mendoza e Bare (1986) concentraram esforços em problemas de utilização econômica e eficiente de florestas em empresas de produção e industrialização de madeira. Identificaram dois problemas: o de traçamento ótimo de fustes (*log bucking problem*) e o de alocação ótima de toras para as indústrias de transformação (*log allocation problem*).

Arce *et al.* (2004), em pesquisa de geração de padrões ótimos de corte com algoritmos de traçamento, aplicados a fustes individuais, afirmaram que o uso de algoritmos permitiu a redução nos resíduos reais, equivalentes a 16% do comprimento total utilizado, para 5%, considerando os resíduos teóricos.

Mendonça (2006), em avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* spp. em função da qualidade do fuste, comparou o volume estimado pelo inventário e volume obtido na colheita e verificou o *downgrade* de sortimentos nas classes de toras. Na mesma pesquisa foi avaliada a exatidão do inventário florestal, comparando o volume estimado por meio de parcelas aleatórias e volume efetivamente colhido.

Mesmo com pesquisas de otimização, devem ser feitas análises extras, observando questões de logística, transporte e a compatibilidade do tipo de madeira, as quais podem alterar os valores encontrados (CAMPOS *et al.*, 2013).

3.7. Simulação do sortimento de uma floresta em pé

A aplicação da tecnologia da informação no processamento de dados dos inventários florestais é uma realidade inegável, tanto na academia, como nas empresas florestais. *Softwares* para o processamento de inventários florestais são utilizados para ajustes de equações hipsométricas, equações volumétricas e funções de afilamento, bem como para estimativa de volume total, volume comercial e volume por classes de sortimentos (WANDRESEN, 2014).

O *software* Florexel, foi desenvolvido pela Optimber para processamento de inventários florestais (florestas nativas ou plantadas), sobre a plataforma *Windows* (programa Microsoft Excel). Utilizado para estimar volumes e sortimentos, podendo gerenciar até 40 sortimentos diferentes, considerando, além das características clássicas de diâmetro na ponta fina (DPF) e comprimento, a posição da tora no fuste (1ª tora, 2ª tora, etc.), tora podada ou não podada. Possui, opções de otimização dos sortimentos, considerando venda empilhada ou venda de florestas em pé, além de estimar perdas volumétrica nas operações de colheita (ARCE, 2008).

Desenvolvido pela Brisa Consulting, o *software* Fsign, é uma ferramenta de ajuste de equações hipsométricas, volumétricas e funções de afilamento, bem como para estimativa de volumes e sortimentos. Podem ser simulados diferentes grupos de sortimentos a partir do cadastro de diâmetros e comprimentos de toras, os quais são simulados individualmente, não sendo possível a simulação de diferentes grupos de sortimentos simultaneamente (BRISA CONSULTING, 2016).

Lazaretti (2007) e Figueiredo Filho *et al.* (2015) fizeram o uso do *software* FlorExel para estimar os volumes totais e por sortimentos, a partir da função de afilamento ajustada. A função de afilamento (polinômio de quinto grau), foi ajustada com o auxílio do *software* FlorExel permitindo estimar o volume total das árvores em cada idade e os volumes absolutos e relativos por sortimento. As classes de sortimentos foram definidas de acordo com o diâmetro mínimo na ponta fina (com casca) e comprimento das toras, comercialmente adotados para toras de *Pinus* spp. (TONIOLO JUNIOR *et al.*, 2015).

3.8. Perdas na colheita florestal

Os desperdícios ocorridos durante a colheita florestal, promovem a necessidade de se realizar avaliações para a determinação dessas perdas em termos volumétricos e econômicos, de forma a subsidiar a tomada de decisão das empresas. As perdas ocorrem em função de falhas dentro do processo produtivo, e essas falhas têm relação com os investimentos que a empresa faz em qualidade, quer seja na prevenção ou avaliação (JACOVINE *et al.*, 1999).

O volume de perdas na colheita florestal é a diferença entre o volume potencial a ser retirado em um sistema de colheita “ideal” e o real volume retirado. O volume potencial é definido como o volume real retirado no talhão, somado ao volume perdido nas seguintes categorias: cepa acima da altura especificada, quebra do fuste e destopo devido ao corte fora do padrão. Os desperdícios podem estar associados ao corte, derrubada, arraste e operações nos pátios (BARRETO, *et al.*, 1998).

Pelo fato das árvores estarem ainda em pé, não são conhecidas as perdas de madeira na colheita florestal. Dificilmente o volume de madeira estimado pelo inventário florestal serão atingidos, devido as árvores terem sido abatidas e traçadas incorrendo em perdas de colheita florestal (FOELKEL, 2015).

A madeira perdida na colheita florestal pode estar na forma de: tocos altos, galhos grossos das copas, ponteiros de fuste abaixo de um dado diâmetro pré-estabelecido, árvores finas descartadas pelo operador da máquina de colheita, toras perdidas, esquecidas ou largadas indevidamente no campo e serragem gerada no abate da árvore e seccionamento das toras (FOELKEL, 2007).

Um dos grandes desafios da colheita florestal, é fazer com as cepas fiquem o mais próximo do solo, principalmente devido a base da árvore ser a mais grossa, e, conseqüentemente a mais valiosa, gerando perdas financeiras consideráveis (FOELKEL, 2014).

O volume de madeira deixado no campo durante a etapa de colheita representa um problema operacional. Desta forma, tornou-se imprescindível o conhecimento detalhado de cada etapa da colheita florestal, sua eficiência, rendimento e de suas perdas operacionais (FINK, *et al.*, 2008).

De acordo com Juran e Gryna (1991), um programa de gerenciamento, proporciona melhorias relevantes em termos de eficiência, segurança, controle de qualidade e desempenho. Algumas ferramentas de qualidade são essenciais para a execução do programa de gerenciamento, conforme proposto por Bonduelle (2007): diagrama de Pareto, diagrama de causa-efeito ou diagrama de Ishikawa, histogramas, folhas de verificação, gráficos de dispersão, cartas de controle, fluxograma, *Brainstorming*, *Benchmarking*, 5W2H, 5S e PDCA.

3.9. *Downgrade*

A estimativa do volume por classes de sortimentos, pressupõe que não existem defeitos nas árvores e toda a madeira é comercializável. No entanto, em qualquer floresta existem particularidades do fuste, que podem ser consideradas para estimativa do volume por classe de sortimento mais próximo do real (FOREST SERVICE, 2007).

Fatores biológicos (bifurcação e retidão do fuste), danos causados por fatores bióticos (veados), abióticos (vento) ou por fatores mecânicos (máquinas florestais), podem proporcionar redução no volume de madeira comercializável e/ou *downgrade* de sortimentos e consequentemente perdas econômicas (FOREST SERVICE, 2007).

O termo “*downgrade*” foi utilizado por Mello (2004), em pesquisa de utilização da madeira sobressalente do sortimento do torno grande para torno pequeno ou para serraria e do sortimento do torno pequeno para serraria.

McCurdy *et al.* (2005), em pesquisa de determinação da cor em tábuas de *Pinus radiata*, verificaram que os defeitos de descoloração reduzem o valor dos produtos, que um acabamento natural para uso final, resultando em perdas relevantes de madeira. Isso também induz ao *downgrade*, ou seja, que o produto seja rebaixado ou reclassificado como resíduo. Hébert *et al.* (2016) citam que a quantidade e tamanho dos nós podem ocasionar o *downgrade*, rebaixando a qualidade da madeira para uso na construção civil.

Nieuwenhuis e Fitzpatrick (2002) verificaram o *downgrade* do volume em toras provocado por tempestade em florestas, quantificando as perdas de volume e receita, ocasionados pelo *downgrade* de sortimentos. O volume potencial estimado para a amostra sem danos, quando comparada ao volume da floresta com danos ocasionados pela tempestade é reduzido em 27,0%. As quebras dos fustes, resultaram em perdas de volume nos sortimentos, sendo que, a classe de sortimento para madeira serrada apresentou perda percentual de volume de 47,1%, por outro lado, a classe de sortimentos para paletes sofreu uma perda de 5,0%.

3.10. Otimização no desdobro de toras

Em praticamente todos os processos de produção são utilizados modelos matemáticos para a obtenção de rendimento ótimo das atividades envolvidas. Em muitos casos, a construção dessas abstrações e sua utilização sistemática influenciam positivamente, podendo motivar alterações nos processos, resultando em sistemas de produção mais eficientes. Geralmente esses modelos racionalizam o uso da matéria-prima (WAGNER, 1986).

O aproveitamento racional do recurso florestal passa fundamentalmente pela transformação na base industrial de toras em produtos acabados. A serraria é uma das principais indústrias florestais, transformadora da madeira bruta para a obtenção de madeira maciça transformada (ABIMCI, 2007).

O processamento de madeira no Brasil está diretamente relacionado com a espécie florestal utilizada. No sul do Brasil, o parque industrial é aprimorado no processamento do Pinus em produtos serrados, compensados e painéis de madeira reconstituída. O processamento para produção de compensados e painéis reconstituídos tem se desenvolvido muito nos últimos anos, entretanto, a produção de madeira serrada ainda é realizada de forma empírica, com resultados inadequados e ineficientes (FAGUNDES, 2003).

O processo de transformação de uma tora de seção circular em peças de seções quadradas e retangulares é chamado sistema de desdobro. Existem vários sistemas de desdobro que podem ser adaptados às mais diversas necessidades, variedades de espécies e formas das toras (VIANNA NETO, 1984).

O desdobro é o processo de redução da tora inteira, por meio do corte longitudinal, em peças menores de seção retangular ou quadrada, geralmente realizado em serrarias (FAGUNDES, 2003). A metodologia de desdobro utilizada irá determinar um maior ou menor rendimento da matéria-prima. A determinação dos rendimentos obtidos em uma serraria, para as variadas classes diamétricas e os variados produtos, é fator economicamente importante (MURARA JUNIOR *et al.*, 2013).

Segundo Haygreen e Bowyer (1982), uma vez realizado o primeiro corte na tora, a localização dos cortes subsequentes para a retirada de peças de madeira é facilitada. Sendo assim, os autores comentam que o volume da madeira serrada é determinado pelo primeiro corte na tora. Vianna Neto (1984), Denig (1993) e Vital (2008) relataram que a localização não adequada do primeiro corte na tora afeta significativamente o rendimento em madeira serrada.

A metodologia de desdobro de toras pode ser realizada de duas maneiras: desdobro convencional e desdobro programado. No desdobro convencional, na maioria das vezes, o sistema de corte tangencial é utilizado, tentando obter o maior número de peças. O desdobro programado utiliza um sistema de corte previamente examinado, objetivando a máxima utilização da tora (LEITE, 1994).

O desdobro tangencial consiste na obtenção de peças tangenciais aos anéis de crescimento (FERREIRA *et al.*, 2004). De acordo com Vermaas (1995), o desdobro tangencial é o preferido na Austrália por apresentar melhor desenho, maior rendimento em madeira serrada, menor limitação de largura das tábuas e maior rapidez de secagem. Também possui a vantagem de permitir que o empenamento apresentado pelas tábuas seja mais facilmente corrigido do que o apresentado pelas tábuas produzidas no sentido radial.

As serrarias buscam maior rendimento de madeira serrada. Para se chegar a esses resultados, muitas técnicas têm sido empregadas, as quais vão desde a melhoria da matéria-prima, busca de diâmetros adequados para o processo industrial, classificação em classes de diâmetros e usos de *softwares* para otimizar o desdobro. Desse modo, *softwares* têm sido desenvolvidos visando otimizar a operação de desdobro das toras, simulando modelos de corte de acordo com as características da madeira, dos equipamentos usados no corte e das dimensões desejadas para as peças produzidas (CARDOSO JUNIOR, 2008).

Um modelo de corte estabelece uma sequência de cortes da tora cuja finalidade é desdobrá-la de modo a obter maior rendimento, melhor qualidade da madeira serrada e produtividade em um tempo relativamente menor. Os modelos de corte dependem da espécie utilizada, do produto que se deseja obter e dos equipamentos usados nas operações (ROCHA, 2002).

A otimização dos processos de transformação do recurso florestal em produtos é fator fundamental para a sobrevivência da indústria madeireira. A indústria que não estiver preocupada em melhorar seus rendimentos assume o risco de perder em competitividade no setor (BIASI, 2005).

Segundo Rocha (2004), é comum nas serrarias o estabelecimento de diagrama de corte para uma determinada classe diamétrica e um determinado grupo de produtos, com base nos conhecimentos técnicos e práticos das pessoas envolvidas nas atividades de administração e operação da serraria. Mas a grande variação dos diâmetros e produtos pedidos pode acarretar em um aproveitamento inadequado das toras, afetando a produção.

A informática tornou-se aliada das serrarias na otimização dos processos de desdobro de toras. Para ser eficiente, um *software* precisa ser desenvolvido dentro de critérios específicos, levando em conta, principalmente, as características da espécie, fazendo com que se tenha maior eficiência na otimização do desdobro de madeira (ROCHA, 2004).

Harberl *et al.* (1991) apresentaram um modelo de programação matemática para maximizar o benefício no processo de serrado de madeira em uma serraria. O problema é formulado como um modelo de PL com explícitos *bound* sobre as variáveis. Na etapa inicial, foi utilizada PD para a obtenção de todos os planos de corte factíveis. Posteriormente, foi executado o método numérico *branch and bound* para o processo de otimização dos planos de corte.

Reinders (1992) trabalhou com o problema de corte e estoque acoplado ao problema de planejamento e programação da produção de uma companhia alemã de processamento de madeira. Os troncos de árvores devem ser cortados em toras que, posteriormente, são transformadas em chapas de diversos tamanhos para serem vendidas.

Costa (2001) propôs a minimização de resíduos no corte de toras e produção de tábuas de eucalipto. Todoroki e Rönnqvist (2002) apresentaram padrões de cortes utilizados em serrarias, chamados “*Live Sawing*”, “*Cant Sawing*”, “*Quarter Sawing*” e “*Grade Sawing*”.

Heinrich (2010) apresentou um exemplo de padrão de corte “*Cant Sawing*”, que é amplamente utilizado nas serrarias da região sul do Brasil e nas serrarias chilenas. Neste tipo de padrão, são cortadas peças de madeira retangulares, chamadas de laterais e centrais. As peças laterais, pela qualidade da madeira, possuem um valor econômico maior do que o das peças centrais. Esse corte, caso não otimizado, pode levar a grandes perdas de matéria-prima, gerando ineficiências de mais de 60%. Gálvez (2014) desenvolveu uma modelagem matemática para o PCE para serrarias, considerando o padrão de corte “*Cant Sawing*”.

Dusberger (2015) utilizou *Variable Neighborhood Search* (VNS) juntamente com a PD para gerar padrões de corte ótimos quando aplicado ao PCE de duas dimensões. Os padrões de corte foram representados por uma árvore de corte e ao final, dados os resultados experimentais, foi observado que o método híbrido teve um desempenho melhor para determinadas instâncias quando comparado puramente ao VNS.

A heurística Busca Tabu (BT) pode ser descrita como uma meta-heurística para resolver problemas de otimização que podem ser sobrepostos a outros procedimentos para evitar ótimos locais. Foi desenvolvida para gerar padrões de corte facilmente implementáveis a talhões inteiros (ao invés de classes de fustes). Conduz a resultados próximos (97,6%) às soluções obtidas pelo modelo de PI projetado para selecionar o conjunto ótimo de padrões de corte para fustes específicos (LAROZE e GREBER, 1997).

Segundo Linhares e Yanasse (2002) em alguns processos industriais de corte, os padrões de corte não podem ser processados em qualquer ordem. Nessas circunstâncias é preciso definir uma sequência na qual os padrões são processados a fim de otimizar algum critério, ou seja, é preciso resolver um problema de sequenciamento de padrões de corte.

Softwares capazes de avaliar automaticamente as características da tora (diâmetro, forma e comprimento), permitindo a visualização das condições de desdobro, já são uma realidade. Esses *softwares*, associados a *scanners* que fazem a varredura do perfil da tora providenciando informações no formato tridimensional, fornecem o modelo de corte, contribuindo para o aumento da produtividade na serraria. Contudo, são *softwares* ainda não acessíveis às serrarias de pequeno porte, devido ao seu alto custo, não justificando a sua aquisição (MANHIÇA, 2010).

O grande avanço para aumentar os níveis da eficiência em serrarias está relacionado com a aplicação de *scanners* eletrônicos acoplados a um computador para a varredura do perfil da tora (diâmetro, comprimento e forma) e posicionamento da mesma em relação à serra principal para a localização do corte de abertura (HAYGREEN e BOWYER, 1982).

Williston (1978) fez referência que os *scanners* permitem avaliar a geometria da tábua e definem a melhor posição da mesma, de modo que, ao passar pela refiladeira, alcançam o máximo aproveitamento. A inclusão dos *scanners* no *layout*, combinados ao computador, resulta, também, em um aumento surpreendente dos rendimentos em madeira serrada.

O *software* Saatech calculator é citado para a simulação rápida de desdobro da tora em serrarias. Permite a simulação de modelos de corte definidos na seção transversal e a retirada de peças no sentido longitudinal, possibilitando a visualização dos modelos de corte simulados incluindo os volumes e rendimentos (CARDOSO JUNIOR, 2008).

Nunes (2013), em pesquisa de algoritmos para geração de padrões de corte paralelo e radial no processamento de toras de madeira, propôs um algoritmo que reúne características dos algoritmos utilizados nos *softwares* MaxiTora e SawModel, gerando resultados consistentes e eficientes. Para a otimização do desdobro de toras podem ser mencionados o aplicativo computacional SawCAM e o *software* MaxiTora.

O MaxiTora é um *software* desenvolvido para uso na indústria de processamento de madeira serrada. Auxilia na definição do padrão de corte, possibilitando maior precisão e permitindo visualização prévia de produtos e rendimentos obtidos para as várias classes diamétricas processadas (NOVAK, 2007).

Com um cadastro de produtos, é possível definir a classe diamétrica mais adequada, em termos de rendimento e capacidade produtiva dos equipamentos da indústria. O processo matemático para otimização do *software* utiliza algoritmo baseado na PD (NOVAK, 2007).

Os modelos de otimização possibilitam a tomada de decisões, tanto no planejamento quanto na operação, que em algum sentido mensurável são ótimas. Um problema de otimização envolve a escolha de valores para um conjunto de variáveis inter-relacionadas, com o intuito de alcançar um determinado objetivo (MINOUX, 1986).

A simulação de sistemas pode ser utilizada no planejamento da produção de serrarias, na busca de melhorias de processos e contribuindo para a competitividade das empresas no mercado (HEINRICH, 2010). É uma poderosa ferramenta para o apoio à tomada de decisão, estando, cada vez mais, presente nas organizações, em diversos campos de atuação (HOLLOCKS, 2006).

3.11. Rendimento do desdobro de toras

As indústrias madeireiras possuem como um dos seus principais objetivos a obtenção do maior rendimento na sua matéria-prima. Esse rendimento procura ser o máximo compatível com as especificações da matéria-prima, o sistema de desdobro e as limitações impostas pelo mercado madeireiro, levando em consideração maior aproveitamento para um menor preço (NOVAK, 2007).

A madeira serrada é produzida em unidades industriais (serrarias), onde as toras são processadas mecanicamente, transformando a peça originalmente cilíndrica em peças quadrangulares ou retangulares, de menor dimensão (IPT, 2003).

Segundo Steele (1984), o rendimento em madeira serrada ou porcentagem de aproveitamento é a relação entre o volume de madeira serrada produzido e o volume da tora antes do desdobro, expresso em porcentagem. O rendimento de uma indústria de transformação de madeira é a relação entre o volume de madeira serrada e o volume de toras desdobradas (ROCHA, 2002).

O rendimento de desdobro é afetado pela interação de diversos fatores, sendo os mais importantes, o diâmetro, o comprimento, a conicidade, a qualidade das toras e o número de produtos alternativos (STEELE, 1984). Existem vários fatores que podem afetar expressivamente o rendimento volumétrico de madeira serrada e dentre eles, destacam-se o diâmetro da tora, qualidade da tora, técnicas de desdobro e operação dos equipamentos (MANHIÇA, 2010).

O rendimento é baseado no aproveitamento da tora (volume serrado em relação ao volume da tora), sendo que depende do diâmetro da tora (maiores diâmetros resultam em maiores rendimentos) (IPT, 2003).

O diâmetro das toras é o principal fator que influencia o rendimento em madeira serrada (VIANNA NETO, 1984; FREITAS, 1986), juntamente com o tipo de produto desdobrado e o maquinário utilizado (MURARA JUNIOR *et al.*, 2005). Hillis e Brown (1978) afirmaram que diâmetros maiores produzem volumes de madeira serrada proporcionalmente mais elevados, em comparação aos diâmetros menores.

A seleção de toras por classes diamétricas e o estabelecimento de modelos de corte são fatores importantes, sendo possível melhorar o rendimento em madeira serrada para cada classe diamétrica (LEITE, 1994).

Wade *et al.* (1992) constataram que, geralmente, o rendimento em madeira serrada aumenta com o incremento do diâmetro das toras, porque o volume de toras perdido com costaneiras e aparas é menor em porcentagem em relação ao volume das toras.

Steele (1984), afirma que, pela aplicação da simulação, é possível a tomada de decisão sobre o melhor aproveitamento de toras no desdobro em serraria. As melhorias advindas podem proporcionar acréscimo de 10 a 25% no rendimento da madeira processada.

Pinto *et al.* (2002) verificaram grande variação no rendimento mesmo dentro de um mesmo sortimento de toras, como resultado de diferenças na qualidade das mesmas, como conicidade e tortuosidade, sendo esse problema intensificado em toras mais finas.

Manhiça (2010) desenvolveu uma pesquisa visando avaliar o rendimento no desdobro de *Pinus* spp., utilizando o desdobro aleatório e programado. Os resultados mostraram variação no rendimento para o desdobro aleatório, de 44,96 a 52,47%, enquanto que, para o desdobro programado a variação no rendimento foi de 49,93 a 55,25%. O desdobro de toras de menor diâmetro resulta em maiores perdas de madeira na forma de costaneiras, afetando o rendimento, e sendo essa perda reduzida com a utilização de toras de maior diâmetro.

Em pesquisa do rendimento em serraria de toras de *P. taeda*, Dobner Júnior *et al.* (2012) verificaram que o rendimento do desdobro convencional variou de 37 a 78%, para os sortimentos de 20 a 57 cm de diâmetro, com tendência de aumento para diâmetros maiores na ponta fina da tora (Figura 1).

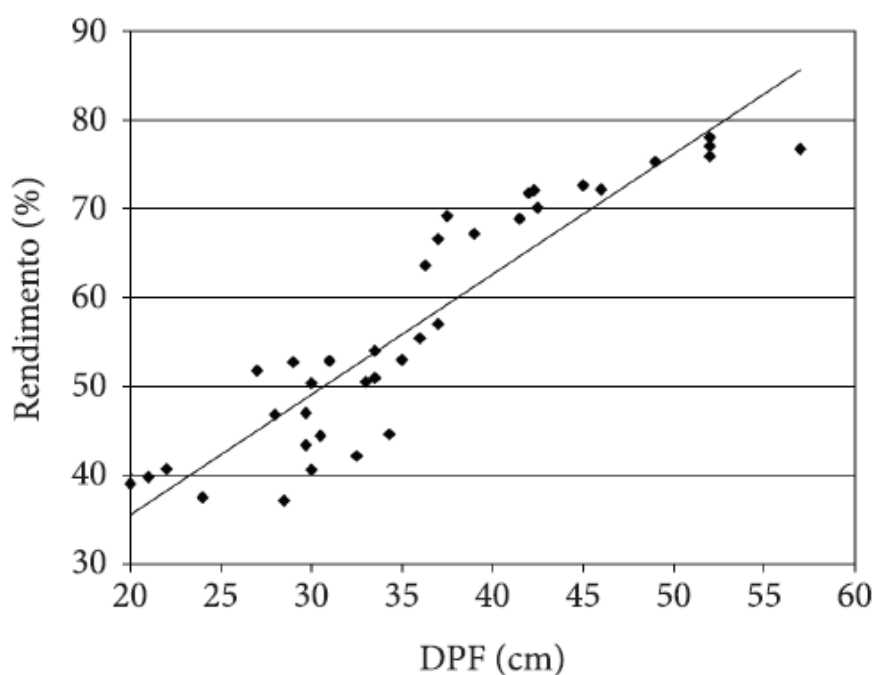


Figura 1. Rendimento percentual do desdobro em função do DPF (diâmetro da tora na ponta fina).

Fonte: Dobner Júnior *et al.* (2012).

Dobner Júnior *et al.* (2013), em pesquisa do desdobro de toras de *P. taeda* em classes diamétricas de 25 a 65 cm obtiveram rendimento de 46,5%, utilizando sistema de desdobro convencional.

Murara Junior *et al.* (2013), em pesquisa de estimativa do rendimento em madeira serrada de *P. taeda*, utilizando classes diamétricas variando de 18 a 40 cm de diâmetro, obtiveram rendimento de 37,03 a 46,62% e de 44,93 a 63,58% nos desdobros convencional e programado, respectivamente. Na Figura 2 são apresentados os ajustes para estimativa de rendimento em madeira serrada para toras de *Pinus* desdobradas sem programação e com programação.

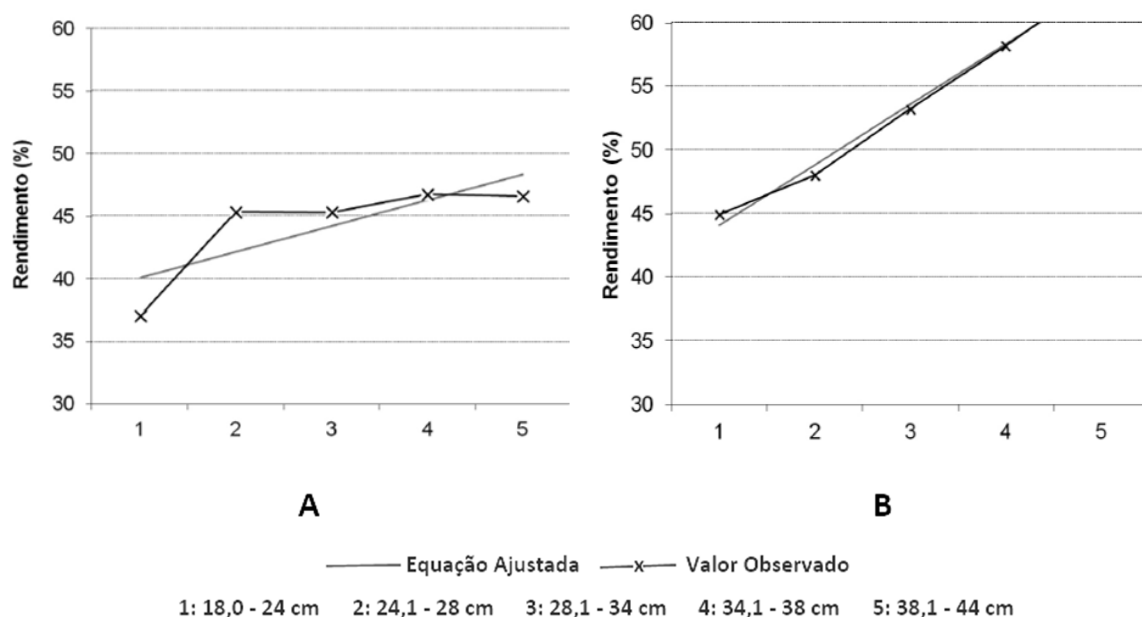


Figura 2. Rendimento de desdobro de toras sem programação (A) e com programação (B).

Fonte: Adaptado de Murara Junior *et al.* (2013).

Em avaliação de rendimento em madeira serrada de *P. elliottii* com toras de diâmetro entre de 8 a 45 cm, os rendimentos variaram de 40,58 a 46,61% (BIASI e ROCHA, 2003). Na pesquisa da influência do diâmetro e do comprimento das toras de *P. elliottii* na produção de madeira serrada, os rendimentos obtidos variaram de 44,10 a 47,70% e a utilização de novas tecnologias de desdobro pode proporcionar ganhos relevantes no aproveitamento das toras (RIBAS *et al.*, 1989). Pinto *et al.* (2002), em pesquisa de simulação do desdobro de *Pinus pinaster* em Portugal, observaram rendimentos de 40 a 59%.

Os rendimentos no desdobro de toras de 15 a 30 cm de diâmetro de *P. elliottii* variaram entre 38,60 e 53,77% (CADEMARTORI, 2010). Barbosa *et al.* (2014) comparando toras com classes diamétricas de 17 a 21 cm e toras de 29 a 43 cm, obtiveram rendimento de 41,18 e 44,07%, respectivamente, em *P. elliottii* utilizando sistema de desdobro convencional.

O rendimento de 44,86% foi encontrado no desdobro de *Eucalyptus* spp. em avaliação do desempenho operacional de uma serraria por meio de estudo do tempo, rendimento e eficiência de uma serraria de pequeno porte (BATISTA e CARVALHO, 2007). Em pesquisa da influência de métodos de desdobro tangencial no rendimento e na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp., foi encontrado o rendimento de 51,50% (FERREIRA *et al.*, 2004).

Em *Eucalyptus grandis*, o rendimento do desdobro de toras em serra de fita vertical variou entre 45 e 60% nas serrarias argentinas (ACOSTA, 1999). O rendimento médio de 43,09% foi observado no desdobro de *Eucalyptus urophylla* (SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2003).

O rendimento do desdobro de toras de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina, em três diferentes classes diamétricas: 14 a 19,9 cm, 20 a 25 cm e acima de 25 cm, foi, respectivamente de 47,07 a 57,27%, 37,59 a 59,12% e 48,37 a 64,37% (HORNBERG *et al.*, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na fazenda Mato Queimado I, município de Bituruna, região sul do estado do Paraná, nas coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) 431.383,731 m E e 7.104.262,170 m N (Datum Sirgas 2000, Zona 22J), em uma altitude média de 1.216 m.s.n.m, pertencente a empresa Remasa Reflorestadora S.A (Figura 3).

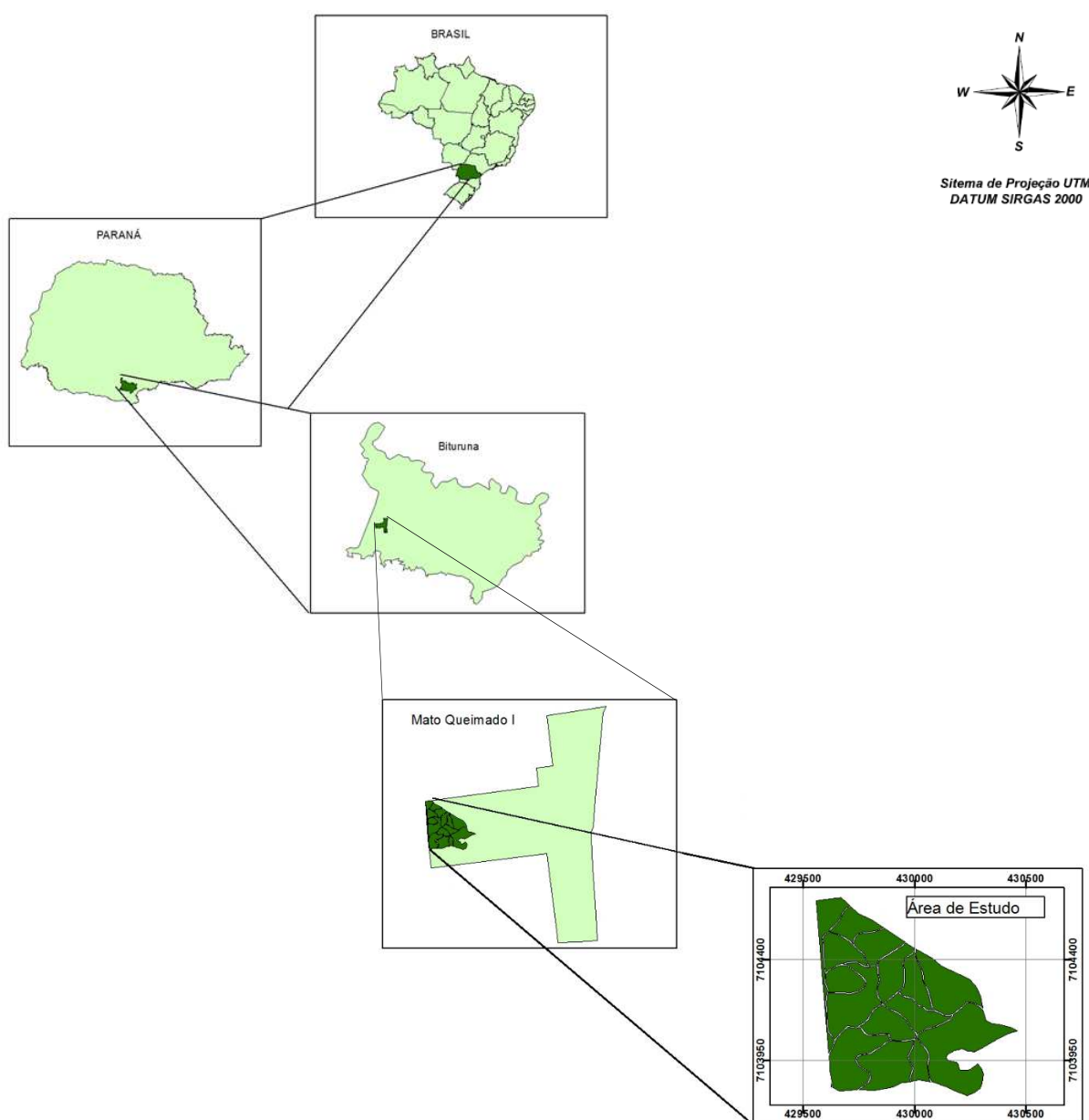


Figura 3. Localização do talhão na área de estudo.

4.2. Dados meteorológicos

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região onde a pesquisa foi realizada é caracterizado como clima temperado Cfb. Os dados históricos (2007 a 2013) da estação meteorológica localizada a 19 km da área da pesquisa apresentam temperaturas médias máxima e mínima de 22,9 e 11,7 °C, respectivamente. A temperatura média no mês mais frio (junho) é de 6,8 °C e no mês mais quente (fevereiro) é de 27,0 °C. A precipitação média anual é de 1.776 mm.

4.3. Fonte de dados

Os dados foram coletados em 43,579 hectares de plantio misto de *P. elliottii* e *P. taeda* implantado em relevo suave ondulado de primeira rotação florestal em 1998, com espaçamento de 3 x 3 m. Predominam solos denominados neossolos litólicos, cambissolos e argissolos (EMBRAPA, 2003).

O povoamento foi conduzido com manejo *clearwood*, sendo realizado o primeiro desbaste seletivo (colheita de árvores suprimidas ou com problemas de qualidade como: tortuosidades, bifurcadas ou com danos causados pelo ataque de pragas) em 2007 (9 anos de idade, remanescendo 667 árvores.ha⁻¹), o segundo desbaste seletivo em 2010 (12 anos de idade, remanescendo 440 árvores.ha⁻¹) e o corte raso a partir de setembro de 2014 (aos 16 anos de idade), bem como podas até 6 m de altura.

4.4. Coleta e análise de dados

4.4.1. Censo florestal e inventário florestal por amostragem

Nesta pesquisa, o censo ou inventário a 100% foi realizado no ano de 2014, quando o plantio tinha 16 anos de idade, na área de 43,579 hectares, caracterizada no item 4.3, tendo sido mensurados o diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) com uso de suta e a altura total com o uso de hipsômetro Vertex, de todas as 19.329 árvores.

No inventário florestal por amostragem, foram utilizadas unidades amostrais instaladas em três diferentes sistemas de amostragem:

- a) Inventário florestal adotado pela empresa, que aplica o método de área fixa, processo de amostragem aleatório, com parcelas de 600 m² na forma circular (13,82 m de raio);
- b) Utilização do método de área fixa, processo de amostragem sistemático, com parcelas de 600 m² na forma circular (13,82 m de raio);
- c) Utilização do método de área fixa, processo de amostragem sistemático, com parcelas de 600 m² e forma retangular (20 x 30 m).

Foram utilizadas três intensidades amostrais: 1, 2 e 5%, totalizando nove tratamentos, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Inventário florestal por amostragem com diferentes intensidades amostrais.

Tratamentos			Número de Parcelas
AC1	SC1	SR1	8
AC2	SC2	SR2	15
AC5	SC5	SR5	37

Nomenclatura dos tratamentos: **A**: Processo de amostragem aleatório; **S**: Processo de amostragem sistemático; **C**: parcelas circulares; **R**: parcelas retangulares; 1, 2 e 5: intensidade amostral (%).

4.4.1.1. Estimativa do volume e sortimentos no censo e inventário por amostragem

No censo florestal todas as árvores tiveram a altura total mensurada. Todavia, no inventário por amostragem, apenas uma parte das árvores de cada parcela teve a altura total medida (10 primeiras árvores mais a altura das seis árvores dominantes). As alturas das demais árvores foram estimadas pela equação hipsométrica ajustada por Kohler (2017), equação 1, com dados coletados na área de estudo.

$$\ln(h) = 2,1411 + 0,2319 \ln(\text{DAP}) \quad (1)$$

$$R^2_{aj} = 0,210 \quad S_{yx} = 7,8\%$$

Em que: \ln = logaritmo natural; h = altura total (m); DAP = diâmetro a 1,3 m do solo; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão de estimativa em %.

Os volumes total e comercial (diâmetro mínimo ≥ 8 cm com casca) e os sortimentos do censo e do inventário por amostragem foram estimados com a integral do polinômio de potências, ajustado por Kohler (2017), equação 2, com árvores cubadas na área de estudo.

$$\frac{d_i}{DAP} = 1,4028 + 0,4226 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{0,005} - 0,2691 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{0,7} - 1,0098 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{0,1} - 4,2462 \left(\frac{h_i}{h}\right)^6 + 3,8063 \left(\frac{h_i}{h}\right)^7 \quad (2)$$

$$R^2_{aj} = 0,974 \qquad S_{yx} = 9,6\%$$

Em que: d_i = diâmetro (cm) com casca na altura h_i (m); DAP = diâmetro com casca a 1,3 m do solo; h_i = altura (m) até um diâmetro d_i (cm); h = altura (m).

Os sortimentos foram definidos de acordo com os praticados pela empresa e também para os praticados pelo mercado regional. As estimativas do volume total e comercial (diâmetro ≥ 8 cm com casca), sortimentos e respectivas simulações descritas no próximo item, foram realizadas no *software* Fsign, desenvolvido pela Brisa Consulting.

4.4.1.2. Simulação de diferentes grupos de sortimentos de toras

Apesar de ser possível matematicamente a realização de inúmeros sortimentos que poderiam proporcionar melhores rentabilidades, o polo regional consumidor de madeira direciona a especificação dos tipos de produtos a serem produzidos pela floresta. Os trabalhos de Eisfeld *et al.* (2004), Menon (2005), Lazaretti (2007), Oliveira e Lopes (2009), Sponholz (2012), Rosa e Oliveira (2014) e Drinko *et al.* (2015) relataram os sortimentos utilizados em polos regionais consumidores de multiprodutos do Paraná e Santa Catarina.

Além dos sortimentos utilizados nos polos regionais citados, a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná (SEAB), por meio do Departamento de Economia Rural, publica semestralmente o levantamento de preços de produtos florestais com os sortimentos praticados pelos diversos polos regionais consumidores de madeira do estado do Paraná.

Assim, diferentes grupos de sortimentos de toras para a floresta foram estimados com dados do censo florestal, a fim de comparar as classes de sortimentos praticadas pela empresa em estudo (testemunha) e os sortimentos praticados pelo mercado de toras na região sul, sendo cadastrados e simulados 10 grupos de sortimentos no *software* Fsign (Tabela 5).

Tabela 5. Grupos de sortimentos.

Classe	Classe de Diâmetro (cm)	Grupos de sortimentos									
		Testemunha*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Celulose	≥ 8	2,30**	2,30	-	-	-	-	-	-	-	-
Celulose	≥ 8	-	-	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,60
Serraria 2	≥ 16	2,65	2,65	-	-	-	-	-	-	-	-
Serraria 2	≥ 18	-	-	1,90	2,35	-	-	-	-	-	-
Serraria 2	≥ 18	-	-	-	-	1,90	1,90	2,35	2,65	2,65	2,65
Serraria 1	≥ 23	2,65	3,05	2,65	2,65	-	-	-	-	-	-
Serraria 1	≥ 25	-	-	-	-	2,35	3,05	2,35	2,65	3,05	3,05

*: Sortimentos produzidos pela empresa na área de estudo; **: Comprimento da tora (m).

4.4.1.3. Análise estatística

Para a análise estatística do volume comercial (diâmetro mínimo ≥ 8 cm com casca) e sortimentos foi aplicado utilizado o teste t de Student, ao nível de 5% de significância, buscando verificar a existência de diferença de médias entre os diferentes sistemas de amostragem (tratamentos) e o censo florestal.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com diferentes números de repetições, totalizando nove tratamentos (Tabela 4), para a análise estatística do volume comercial (diâmetro mínimo ≥ 8 cm com casca) e sortimentos, nos diferentes sistemas de amostragem (tratamentos).

Foi realizado o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias para todos os tratamentos e para cada classe de sortimento (“Serraria 1” diâmetro ≥ 23 cm com 2,65 m de comprimento, “Serraria 2” diâmetro ≥ 16 com 2,65 m de comprimento e “Celulose” diâmetro ≥ 8 cm com 2,30 m de comprimento).

Após verificado que as variâncias dos tratamentos são homogêneas, foi realizada a análise de variância (ANOVA) a qual testa a existência de diferença significativa nas médias de pelo menos dois tratamentos para os volumes comerciais com casca e para as classes de sortimentos.

Finalmente, se o teste F de ANOVA rejeitar a hipótese de nulidade, o teste de Tukey, foi aplicado a fim de verificar as diferenças entre as médias dos tratamentos. Para todos os testes citados, considerou-se um nível de 5% de significância, tendo sido utilizado o *software R*.

4.4.1.4. Análise econômica para diferentes grupos de sortimentos

Para a simulação da maximização da receita bruta de diferentes grupos de sortimentos, foi utilizado os dados do censo florestal. Foi calculado o volume comercial por grupo de sortimentos utilizando o padrão da empresa em estudo e o volume por grupo de sortimentos para os sortimentos praticados pelo mercado regional de madeira (Tabela 5), sendo esses comparados.

A avaliação econômica considerou os preços de madeira carregada no caminhão praticados pela empresa na região de União da Vitória, estado do Paraná, no ano de 2016 (Tabela 6).

Tabela 6. Preço de toras praticados na região de União da Vitória, estado do Paraná, 2016.

Classe	Classe de diâmetro (cm)	R\$/m ³
Serraria 1*	≥ 23	122,40
Serraria 1**	≥ 25	127,42
Serraria 2*	≥ 16	73,69
Serraria 2**	≥ 18 < 23	79,78
Serraria 2**	≥ 18 < 25	85,87
Celulose*	≥ 8	32,53
Celulose**	≥ 8	37,68

*: Sortimentos considerados pela empresa; **: Sortimentos considerados pelo mercado regional.

4.4.2. Determinação das perdas na colheita florestal

Comumente, nos inventários florestais visando à estimativa de volumes comerciais, são considerados como perdas em volume: a altura do toco e o volume de madeira abaixo do diâmetro mínimo de aproveitamento (resíduo).

No entanto, durante a colheita florestal, além dessas perdas, existem aquelas causadas pelo traçamento das toras (serragem), perdas pelo destopamento da base da árvore, perdas no volume e número de toras devido à quebra do fuste.

A colheita florestal foi realizada de forma mecanizada, utilizando o sistema de árvores inteiras (*Full tree*). Segundo Machado (1989), nesse sistema, as árvores são derrubadas no interior do talhão, arrastadas para a beira da estrada, carreador ou pátio intermediário, onde é realizado o processamento completo da madeira (desgalhamento, destopamento e traçamento).

O sistema de árvores inteiras é composto, basicamente, pelas máquinas: *Feller buncher* ou *Feller* direcional (derrubada das árvores), *Skidder* (extração das árvores por arraste até a margem do talhão ou pátio intermediário) e Processador (processamento da madeira) (MACHADO, 1989).

A vantagem operacional nesse sistema é a produção de vários sortimentos com especificações semelhantes (principalmente no comprimento) com maior facilidade de identificação, minimizando a possibilidade de mistura de diferentes produtos.

Nesta pesquisa, as perdas ocasionadas pela colheita florestal foram avaliadas no momento do corte final do talhão, com a identificação prévia de 100 árvores-amostra, conforme a distribuição de frequência por classe diamétrica do censo florestal. O número de árvores por classe diamétrica foi definida proporcionalmente a frequência encontrada no censo florestal.

As árvores foram derrubadas utilizando-se de escavadeira equipada com cabeçote *Feller* direcional com corrente de passo ¾” (espessura do filete de serragem de 1,5 cm). Logo após a derrubada foi realizada a medição da altura do toco com trena retrátil, sendo realizado o acompanhamento individual para as árvores selecionadas.

Foi realizada a cubagem antes do seccionamento, com a medição dos diâmetros ao longo do fuste de acordo com os sortimentos comercializados pela empresa. Além disto, foram medidos durante a cubagem, os diâmetros e comprimentos de todas as perdas ocasionadas pela colheita florestal (Tabela 7).

Tabela 7. Perdas volumétricas na colheita florestal.

Perdas volumétricas	
Resíduo*	Volume de madeira inferior a 8 cm de diâmetro
Toco conforme*	Altura máxima de 10 cm
Serragem de derrubada*	Espessura de 1,5 cm
Serragem de processamento*	Espessura de 1,0 cm
Toco não conforme**	Altura acima de 10 cm
Quebra do fuste**	Quebra do fuste na derrubada, arraste ou formação do estaleiro

*: Perdas inerentes ao processo; **: Perdas de colheita florestal.

A estimativa do volume das perdas volumétricas na colheita florestal, foi realizada conforme:

Resíduo: foi estimado, medindo-se o diâmetro com suta após o diâmetro mínimo com casca inferior a 8 cm, de metro em metro até a altura total da árvore, sendo o volume calculado pela fórmula de Smalian e a última seção pela fórmula do cone.

Toco conforme: estimado considerando-o como um cilindro, com base no diâmetro à 0,1 m.

Serragem de derrubada: estimado logo após a altura do toco, sendo utilizada a fórmula do cilindro considerando o diâmetro do toco e a espessura de 1,5 cm (espessura do sabre).

Serragem de processamento: estimado logo após a medição do comprimento da tora, considerando o diâmetro da tora na ponta fina e a espessura de 1,0 cm (espessura do sabre) sendo esses volumes calculados pela fórmula do cilindro.

Toco não conforme: estimado considerando-o como um cilindro, com base no diâmetro e altura medida, além do diâmetro à 0,1 m.

Quebra de fuste: seu volume foi estimado pela fórmula de Smalian sendo considerado o diâmetro e comprimento de um em um metro.

O volume total foi encontrado somando-se o volume dos sortimentos e das perdas, sendo posteriormente separado o volume dos sortimentos e diferentes perdas. Os volumes individuais dos sortimentos e perdas foram transformados em percentual e, posteriormente, aplicados ponderadamente de acordo com o diâmetro no volume por hectare determinado no censo florestal, tendo-se, portanto, todos os volumes calculados ao longo do tronco expressos por hectare.

Após a coleta dos dados (diâmetros ao longo do fuste e perdas), os fustes foram extraídos por arraste com *Skidder* até a borda do talhão para serem processados.

4.4.2.1. Perdas econômicas na colheita florestal

Para análise das perdas econômicas resultante da colheita florestal, foi realizada a valoração dos sortimentos por classes de diâmetro, considerando o volume comercial e volume das perdas na colheita florestal, sendo o volume multiplicado pelos preços de madeira praticados pela empresa, no ano de 2016 (Tabela 6).

4.4.2.2. *Downgrade* de sortimentos e suas perdas econômicas

As estimativas de sortimentos produzidas por funções de afilamento não levam em consideração que as árvores do povoamento não são perfeitas. Apesar do elevado padrão de melhoramento genético existente para as florestas de Pinus, as árvores podem apresentar defeitos que propiciem o *downgrade* de um sortimento para outro.

O *downgrade* de um sortimento é definido como o rebaixamento, reclassificação ou migração de uma tora com diâmetro superior “Serraria 1 \geq 23 cm” para a classe de sortimento com toras de diâmetro inferior “Serraria 2 \geq 16 cm”, reduzindo seu potencial econômico. Isto pode ocorrer devido fatores biológicos, como: tortuosidades e bifurcações do tronco, fatores bióticos, como: danos no tronco por pragas (danos por macaco-prego), dentre outros (Figura 4). Além desses fatores, o *downgrade* de sortimentos pode ainda ser resultante de fatores mecânicos da colheita florestal, devido a imprecisão dos cabeçotes processadores que podem gerar erros no diâmetro e comprimento das toras.

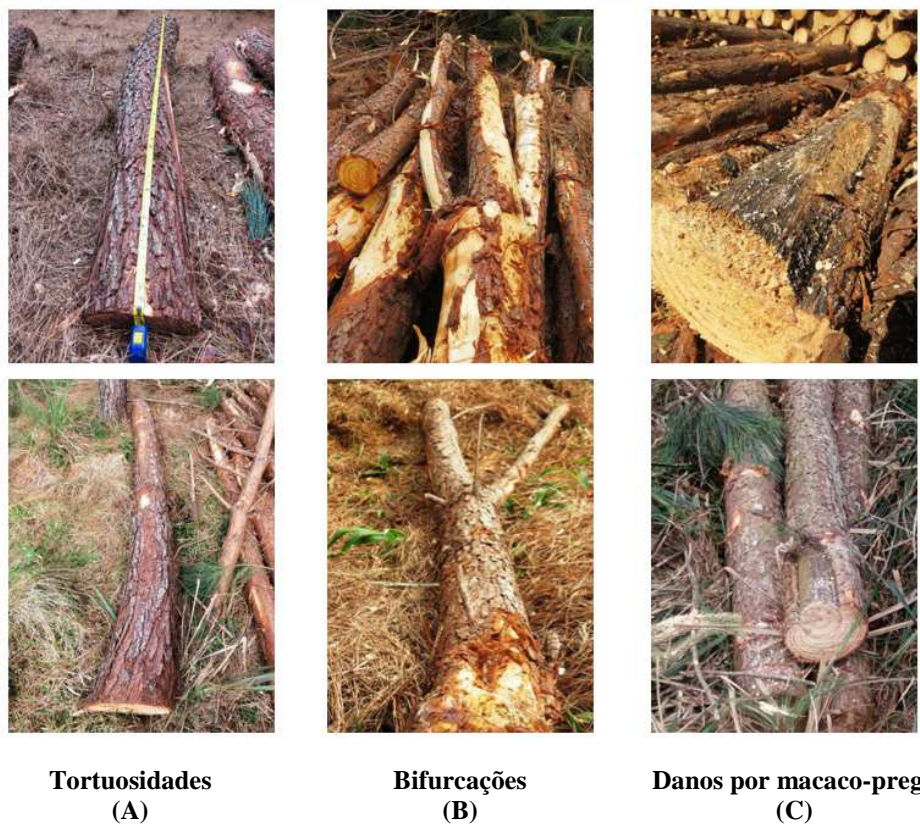


Figura 4. *Downgrade* de sortimentos “*Downgrade* Serraria 1 para Serraria 2 (A), *Downgrade* Serraria 2 para Celulose (B), *Downgrade* Serraria 2 para Celulose (C)”.

Na literatura, vários artigos estão disponíveis para estimar os sortimentos em classes de diâmetros e comprimentos. Porém, são raros os trabalhos que estudaram o *downgrade* de sortimento de uma classe economicamente maior para uma menor.

Nesta pesquisa foi estudada essa migração, rebaixamento ou reclassificação determinando-se coeficientes *downgrade* de sortimentos. Para isso foram utilizadas 100 árvores-amostra, selecionadas conforme a distribuição de frequência por classe diamétrica do censo florestal. O número de árvores por classe diamétrica foi definida proporcionalmente a frequência encontrada no censo florestal.

Após derrubadas, as árvores foram arrastadas até a beira do talhão, sendo processadas por escavadeira hidráulica com cabeçote *harvester* com sabre e corrente com passo 0,404”.

Foi realizada a estimativa do volume por sortimento das toras traçadas, sendo coletadas as medidas do diâmetro na ponta fina e ponta grossa de cada tora, além do comprimento, e aplicando a fórmula de Smalian, este volume é considerado o volume real dos sortimentos.

Utilizando-se o percentual do volume estimado por sortimento no censo florestal, e o percentual do volume por sortimento real, foi definido o coeficiente de *downgrade* para sortimentos, com a divisão entre o volume real e volume estimado.

As perdas econômicas geradas pelo *downgrade* de sortimentos na colheita florestal, foram encontradas com a multiplicação dos volumes estimados no censo e volumes reais por sortimento, pelos preços de madeira carregada no caminhão praticados pela empresa, no ano de 2016 (Tabela 6).

4.4.3. Industrialização das toras

A transformação das toras em madeira serrada foi realizada na Madsul Comercial Exportadora de Madeiras Ltda, serraria localizada no município de General Carneiro, estado do Paraná, a qual representa o perfil das indústrias deste setor na região.

4.4.3.1. Obtenção do volume de toras e seu custo de aquisição

Para a industrialização foram utilizadas 478 toras, as quais foram separadas por classes de diâmetro “Serraria 1” e “Serraria 2” (Tabela 8).

Tabela 8. Sortimentos e número de toras utilizadas para industrialização.

Classe	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Número de toras
Serraria 1	≥ 23	2,65	176
Serraria 2	≥ 16	2,65	302

O volume das toras foi calculado pela fórmula de Smalian e o custo da matéria-prima (toras) foi calculado multiplicando-se o volume das toras por classe pelo preço de madeira carregada no caminhão praticados pela empresa, no ano de 2016 (Tabela 6).

4.4.3.2. Sistema de desdobro das toras

A operação de desdobro foi realizada em serraria convencional, com cortes tangenciais (*live saw*), semelhante ao perfil das serrarias no Rio Grande do Sul, evidenciado em pesquisa de Fagundes (2003).

O método de corte tangencial (Figura 5), também conhecido como cortes paralelos é o mais utilizado no Brasil, principalmente nas serrarias de pequeno porte. Nesse método, os cortes são realizados em uma mesma direção, utilizando uma repetição de passagens. Apesar da facilidade e da precisão, esse método pode apresentar grande perda de madeira, reduzindo o rendimento (SILVA, 2001).

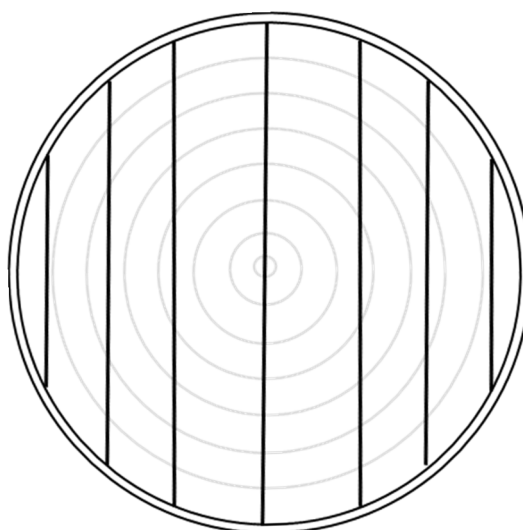


Figura 5. Esquema de corte tangencial (*live saw*).

O desdobro principal foi realizado em serra fita com lâmina de 2 mm de espessura e para o ajuste da largura das peças, foi utilizada a serra circular com lâmina de 4 mm. Para o desdobro, utilizou-se a metodologia empregada pela serraria, em que as toras são classificadas por sortimento e o processamento é definido pelo operador (método empírico ou convencional), o qual verifica a melhor opção entre todos os produtos cadastrados, buscando atingir o melhor rendimento.

Para a industrialização, as toras passaram pela primeira etapa de fabricação, sendo serradas, retirando as costaneiras e definindo a espessura da peça (1, 2 ou 3 polegadas) e, posteriormente, passando pela segunda etapa para dimensionar a largura da peça (1 a 12 polegadas). Na Tabela 9 estão os diferentes produtos e preços de madeira serrada praticados, no ano de 2016 pela serraria.

Tabela 9. Lista de produtos e preços de madeira serrada praticados, 2016.

Largura	Espessura		
	1"	2"	3"
2"	R\$ 480,00	R\$ 550,00	-
3"	R\$ 480,00	R\$ 550,00	R\$ 550,00
4"	R\$ 550,00	R\$ 550,00	R\$ 550,00
5"	R\$ 550,00	R\$ 550,00	R\$ 550,00
6"	R\$ 550,00	R\$ 550,00	R\$ 550,00
7"	R\$ 550,00	R\$ 550,00	R\$ 550,00
8"	R\$ 630,00	R\$ 630,00	R\$ 630,00
9"	R\$ 630,00	R\$ 630,00	R\$ 630,00
10"	R\$ 630,00	R\$ 630,00	R\$ 630,00
11"	R\$ 630,00	R\$ 630,00	R\$ 630,00
12"	R\$ 630,00	R\$ 630,00	R\$ 630,00

": Polegada = 2,54 cm.

4.4.3.3. Determinação do volume de madeira serrada

Para o cálculo do volume em madeira serrada, os produtos obtidos em cada classe diamétrica foram separados e empilhados pela sua espessura e largura. O volume de cada produto foi determinado pela equação:

$$V_p = E \times L \times C$$

em que: V_p = Volume do produto (m^3); E = altura da pilha (m); L = largura da pilha (m); C = comprimento do produto (2,65 m).

O volume total foi calculado pelo somatório dos volumes agrupados dos produtos por classes de diâmetro.

4.4.3.4. Rendimento em madeira serrada

Após o processo de desdobro e a determinação do volume serrado para cada classe diamétrica, foi determinado o rendimento volumétrico por classe de diâmetro, utilizando a relação entre o volume dos produtos obtidos e o volume total gerados pela fórmula de Smalian da respectiva tora, com a equação seguinte (ROCHA, 2000).

$$R\% = \frac{\sum V_p}{\sum V_t} \times 100$$

em que: $R\%$ = Rendimento em madeira serrada (%); $\sum V_p$ = Somatório do volume dos produtos (m^3); $\sum V_t$ = Somatório dos volumes de toras (m^3).

4.4.3.5. Simulação de otimização no desdobro utilizando o *software* MaxiTora

A simulação de otimização no desdobro foi realizada com o *software* MaxiTora. De acordo com Optimber (2016), o MaxiTora permite a visualização prévia de produtos e rendimentos obtidos para as várias classes diamétricas.

Na tela de cadastro de produtos (Figura 6), foram cadastrados 32 produtos, os quais se constituem como fonte de dados para a definição dos diagramas de corte específicos para as simulações.

Cadastro de Produtos

Id	Nome	Espessura	Largura	Valor	Virar	Livre	SemiBloco	Costane
1	1 x 2	25,0	50,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1 x 3	25,0	75,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1 x 4	25,0	100,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1 x 5	25,0	125,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1 x 6	25,0	150,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	1 x 7	25,0	175,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	1 x 8	25,0	200,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	1 x 9	25,0	225,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	1 x 10	25,0	250,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	1 x 11	25,0	275,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	1 x 12	25,0	300,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2 x 2	50,0	50,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	2 x 3	50,0	75,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	2 x 4	50,0	100,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	2 x 5	50,0	125,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2 x 6	50,0	150,0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Opcoes

Espessura Serra Vertical

Espessura Serra Horizontal

Percentual Casca

Otimizar por Volume Valor

Ir para a Tela de Processamento

Figura 6. Tela de cadastro de produtos de madeira serrada no *software* MaxiTora.

Em cada coluna dessa tela, foram definidos os critérios de desdobro:

1ª coluna - “Id”, definiu-se uma identificação rápida para o produto.

2ª coluna - “Nome”, identificou-se mais especificamente o produto (1” x 2”).

3ª e 4ª colunas - “Espessura” e “Largura” do produto são digitados em milímetros (25 x 50 mm).

A segunda coluna foi assinalada de acordo com o sistema de desdobro utilizado “sistema convencional”, a qual determina as condições do uso do produto, nas diferentes possibilidades de otimização.

Ainda nessa tela definiu-se a espessura da serra vertical (2 mm) e serras horizontais (4 mm) e a espessura de casca em porcentagem, além do tipo de otimização: por volume. Na tela de otimização de desdobro (Figura 7), o *software* gera diversas opções de diagramas, de acordo com as necessidades e ferramentas disponíveis na tela.

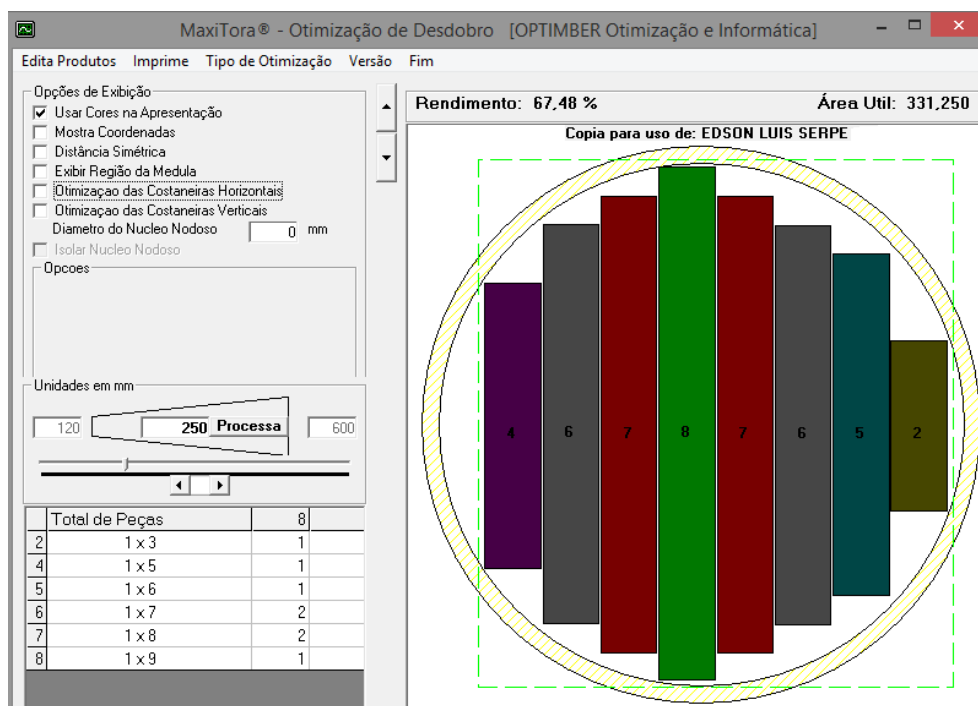


Figura 7. Tela de otimização do desdobro de toras no *software* MaxiTora.

Nesta tela selecionou-se o tipo de otimização, “livre”, buscando, dentre todos os produtos cadastrados, definir o diagrama que proporcione o melhor rendimento possível.

Para a comparação dos rendimentos gerados na indústria com diferentes simulações, foram definidos os comparativos apresentados na Tabela 10. Para a análise estatística foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com diferentes números de repetições, aplicado o teste de Bartlett, a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, considerando o nível de 5% de significância.

Tabela 10. Produtos de madeira serrada simulados no *software* MaxiTora.

Simulação	Produto		
	1” x 2” a 1” x 12”	2” x 2” a 2” x 12”	3” x 3” a 3” x 12”
MS	✓	✓	✓
A	✓	✗	✗
B	✗	✓	✗
C	✗	✗	✓
D	✓	✓	✗
E	✓	✗	✓
F	✗	✓	✓
G	✓	✓	✓

”: Polegada = 2,54 cm; MS: Madeira serrada no padrão da serraria; ✓: Produtos Simulados; ✗: Produtos não simulados.

4.4.3.6. Análise econômica com diferentes simulações para madeira serrada

A valoração da receita bruta da madeira serrada por sortimento de toras e a receita bruta simulada otimizada pelo *software* MaxiTora, foi calculada multiplicando-se o volume encontrado pelos valores de madeira serrada praticados pela serraria na região de União da Vitória, estado do Paraná, no ano de 2016 (Tabela 9).

A análise econômica foi análoga à descrita por Dobner Júnior *et al.* (2012), considerando o benefício econômico, onde a receita parcial da madeira serrada (valor de aquisição das toras subtraída da receita bruta) é dividida pelo valor de aquisição das toras, não sendo considerados os demais custos de produção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Volume comercial e sortimentos para o inventário por amostragem e censo

O teste t de Student, indicou que há existência diferença de médias do volume comercial entre o tratamento AC1 e o censo florestal, não indicando diferenças entre as médias para os demais tratamentos e censo florestal, considerando o nível de 5% de significância. Para as classes de sortimentos o teste t não indicou existência entre os tratamentos e o censo florestal, considerando o nível de 5% de significância.

Para a comparação entre os tratamentos (DIC), o teste de Bartlett indicou que as variâncias para os tratamentos no volume comercial com casca e classes de sortimentos foram homogêneas para o p-valor $\leq 0,05$. O teste F da análise de variância (ANOVA) rejeitou a hipótese de nulidade para os tratamentos, indicando que a média de pelo menos dois tratamentos foram diferentes. O teste de Tukey apontou diferença significativa para o volume comercial com casca, considerando o nível de 5% de significância.

O volume comercial (diâmetro mínimo ≥ 8 cm com casca) por hectare, nos nove tratamentos, assim como do censo florestal, estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Volume comercial para os tratamentos do inventário por amostragem e censo florestal.

Tratamento	Volume Comercial Médio (m ³ .ha ⁻¹)	Erro amostral (%)	Erro real (%)
AC1	288,84a	±17,8	18,3
AC2	260,29ab	±10,9	6,6
AC5	254,10ab	±5,4	4,1
SC1	244,49ab	±12,1	0,1
SC2	233,04ab	±7,8	-4,6
SC5	246,42ab	±5,1	0,9
SR1	236,96ab	±12,1	-3,0
SR2	228,53b	±9,5	-6,4
SR5	242,64ab	±4,8	-0,7
CENSO	244,22	-	-

Nomenclatura dos tratamentos: **A**: Processo de amostragem aleatório; **S**: Processo de amostragem sistemático; **C**: parcelas circulares; **R**: parcelas retangulares; 1, 2 e 5: intensidade amostral (%); Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, considerando o nível de 5% de significância.

O desenho amostral testado que apresentou o volume comercial com casca mais próximo do volume comercial determinado no censo florestal ($244,22 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$) foi o SC1 ($244,49 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$) e o que apresentou maior diferença foi o AC1 ($288,84 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$).

Os desenhos amostrais aleatórios circulares apresentaram tendência de superestimar o volume comercial quando comparados ao censo florestal; os sistemáticos retangulares apresentaram tendência de subestimar e os sistemáticos circulares a tendência de manter o volume comercial próximo ao volume do censo, exceto o SC2.

Comparando o volume comercial com casca do censo florestal com o volume dos desenhos amostrais testados, verificou-se que o erro amostral foi menor para frações amostrais de 5%, variando de 4,8 a 5,4%. A amostragem que apresentou menor erro amostral (4,8%) foi a amostragem sistemática retangular (SR5). As frações amostrais de 1% apresentaram erro amostral variando de 12,1 a 17,8% e as frações de 2% variando de 7,8 a 10,9%.

Ao analisar o erro real, a amostragem sistemática circular com 1% (SC1) de intensidade amostral foi a que apresentou a estimativa mais próxima do censo florestal, entretanto, o erro real variou de -6,4 a 18,3%. Verificou-se que o erro real foi menor que 5% para frações amostrais de 5%, variando de -0,7 a 4,1%.

Comparando os erros amostrais relativos de cada sortimento, verificou-se que a menor variação foi encontrada no sortimento “Serraria 2” (8,1 a 9,6%), seguindo-se o sortimento “Serraria 1” (6,0 a 14,7%) e “Celulose” (4,7 a 13,8%). Ao comparar os erros reais a maior variação ocorreu em “Serraria 1” (-9,0 a 23,2%), “Celulose” (-4,4 a 15,3%) e “Serraria 2” (-2,3 a 10,2%).

Os desenhos amostrais aleatórios circulares apresentaram tendência de superestimar o volume do sortimento “Serraria 1” quando comparado ao censo florestal, com erros amostrais e reais acima de 10%, exceto o SC5, entretanto, os desenhos amostrais sistemáticos apresentaram erros amostrais e reais abaixo de 10%. O menor erro amostral foi observado no desenho amostral SC2 e SC1, respectivamente.

Para o sortimento “Serraria 2”, todos os desenhos amostrais apresentaram erro amostral inferior a 10%, todavia, no erro real o menor valor foi observado no desenho amostral SC2.

Os menores erros amostrais no sortimento “Celulose” foram encontrados nos desenhos amostrais sistemáticos retangulares, em que os desenhos amostrais aleatórios e sistemáticos circulares apresentaram valores superiores a 10%. Os menores erros reais foram obtidos nos desenhos amostrais circulares.

Os volumes comerciais médios por sortimentos e por tratamento e os erros amostral e real das 10 alternativas utilizadas são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Volume comercial e volume por sortimentos para os sistemas de amostragem, com respectivos erros amostral e real.

Tratamento	Sortimento								
	Serraria 1			Serraria 2			Celulose		
	m ³ .ha ⁻¹	Erro (%)		m ³ .ha ⁻¹	Erro (%)		m ³ .ha ⁻¹	Erro (%)	
		Amostral	Real		Amostral	Real		Amostral	Real
AC1	176,00a	±14,7	23,2	87,12a	±8,5	10,2	25,71a	±13,8	15,3
AC2	152,44b	±13,8	6,7	84,46ab	±8,1	6,9	23,39ab	±12,6	4,9
AC5	150,67b	±9,9	5,4	80,36ab	±9,5	1,7	23,07ab	±11,9	3,5
SC1	141,16bc	±6,4	-1,2	80,96ab	±8,2	2,4	22,37b	±7,3	0,3
SC2	132,21c	±6,0	-7,5	78,96ab	±9,0	-0,1	21,87b	±11,1	-1,9
SC5	136,06bc	±7,4	-4,8	86,84ab	±9,6	9,9	23,52ab	±10,5	5,5
SR1	137,52bc	±7,2	-3,8	77,93ab	±8,6	-1,4	21,51b	±4,7	-3,5
SR2	130,01c	±8,4	-9,0	77,21b	±9,3	-2,3	21,32b	±8,7	-4,4
SR5	133,01c	±8,2	-6,9	86,20ab	±9,4	9,1	23,43ab	±9,7	5,1
CENSO	142,89	-	-	79,03	-	-	22,30	-	-

Nomenclatura dos tratamentos: **A**: Processo de amostragem aleatório; **S**: Processo de amostragem sistemático; **C**: parcelas circulares; **R**: parcelas retangulares; 1, 2 e 5: intensidade amostral (%); Serraria 1: ≥ 23 cm; Serraria 2: ≥ 16 cm; Celulose: ≥ 8 cm; Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, considerando o nível de 5% de significância.

5.2. Simulação para diferentes grupos de sortimentos

A simulação do volume comercial e volume por sortimentos nos diferentes grupos de sortimentos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Volume comercial, variação percentual por grupos de sortimentos e volume por sortimentos.

Simulação	Volume Comercial (m ³ .ha ⁻¹)	Variação em relação a testemunha (%)	Sortimento (m ³ .ha ⁻¹)		
			Serraria 1	Serraria 2	Celulose
1	227,17	-6,98	138,41	69,06	19,70
2	215,54	-11,74	142,90	44,16	28,47
3	235,63	-3,52	142,89	55,94	36,81
4	221,16	-9,44	111,58	77,05	32,53
5	191,68	-21,51	103,43	61,26	26,99
6	248,97	1,94	111,59	96,38	41,01
7	242,49	-0,71	108,17	97,58	36,74
8	223,83	-8,35	103,43	87,11	33,28
9	246,38	0,88	108,19	97,57	40,63
Testemunha	244,22	-	142,89	79,03	22,30

Serraria 1: ≥ 23 cm; Serraria 2: ≥ 16 cm; Celulose: ≥ 8 cm. Testemunha: Classe de diâmetro ≥ 8 cm com comprimento 2,30 m, ≥ 16 cm com 2,65 m e ≥ 23 cm com 2,65 m; **1:** ≥ 8 cm com 2,30 m, ≥ 16 cm com 2,65 m e ≥ 23 cm com 3,05 m; **2:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 1,90 m e ≥ 23 cm com 2,65 m; **3:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,35 m e ≥ 23 cm com 2,65 m; **4:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 1,90 m e ≥ 25 cm com 2,35 m; **5:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 1,90 m e ≥ 25 cm com 3,05 m; **6:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,35 m e ≥ 25 cm com 2,35 m; **7:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,65 m e ≥ 25 cm com 2,65 m; **8:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,65 m e ≥ 25 cm com 3,05 m; **9:** ≥ 8 cm com 2,60 m, ≥ 18 cm com 2,65 m e ≥ 25 cm com 3,05 m.

Os resultados do volume comercial por hectare foram relacionados diretamente aos diferentes sortimentos simulados, ou seja, o volume variou dependendo do sortimento utilizado, em que a variação em relação à testemunha foi de -21,51 a 1,94%.

O volume comercial da simulação 7, quando comparado à testemunha, considerando as classes de sortimentos utilizadas pela empresa, identificou um percentual inferior em -0,7%.

Silva *et al.* (2015a), em pesquisa de calibração de uma heurística de construção por partes para otimizar o sortimento florestal em plantios de *P. taeda*, verificaram, que em função dos diferentes sortimentos, o volume comercial foi subestimado entre 0,06 e 0,39%.

A pesquisa de otimização de multiprodutos em plantios de *E. grandis*, considerando produtos individualizados (celulose, energia e serraria) com diferentes sortimentos, apresentou o volume comercial inferior, variando em celulose (6,85%), energia (0,55%) e serraria (9,82%) quando comparado à utilização da combinação dos produtos individualizados e multiprodutos (SOARES *et al.*, 2003).

Campos e Tavares (2010), em pesquisa da influência do comprimento e otimização de toras em *P. pinaster*, verificaram que o volume colhido foi inferior em 3,81% ao volume simulado na otimização.

Comparando a pesquisa atual com Soares *et al.* (2003), Campos e Tavares (2010) e Silva *et al.* (2015a), observou-se que, nessas pesquisas, a utilização de diferentes sortimentos refletiu diretamente no volume, com tendência de subestimação.

5.2.1. Receita bruta para diferentes grupos de sortimentos

A determinação da receita bruta levou em consideração o volume estimado nas diferentes simulações e o volume por sortimento. Na Tabela 14 são apresentadas as receitas brutas por hectare para os diferentes grupos de sortimentos.

Tabela 14. Receita bruta para diferentes grupos de sortimentos.

Simulação	Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	Variação em relação à Testemunha (%)
Testemunha	24.039,14	-
6	24.039,51	0,00
9	23.693,89	-1,44
7	23.546,91	-2,05
3	23.338,86	-2,91
1	22.671,65	-5,69
2	22.087,61	-8,12
4	22.059,20	-8,24
8	21.913,95	-8,84
5	19.456,53	-19,06

Testemunha: Classe de diâmetro ≥ 8 cm com comprimento 2,30 m, ≥ 16 cm com 2,65 m e ≥ 23 cm com 2,65 m; **1:** ≥ 8 cm com 2,30 m, ≥ 16 cm com 2,65 m e ≥ 23 cm com 3,05 m; **2:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 1,90 m e ≥ 23 cm com 2,65 m; **3:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,35 m e ≥ 23 cm com 2,65 m; **4:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 1,90 m e ≥ 25 cm com 2,35 m; **5:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 1,90 m e ≥ 25 cm com 3,05 m; **6:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,35 m e ≥ 25 cm com 2,35 m; **7:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,65 m e ≥ 25 cm com 2,65 m; **8:** ≥ 8 cm com 2,40 m, ≥ 18 cm com 2,65 m e ≥ 25 cm com 3,05 m; **9:** ≥ 8 cm com 2,60 m, ≥ 18 cm com 2,65 m e ≥ 25 cm com 3,05 m.

Verificou-se que o grupo de sortimento 6 apresentou a maior receita bruta, por apresentar maior volume comercial e adequada otimização para o fuste nas classes de sortimento. Ao serem definidos os grupos de sortimentos, a receita bruta pode ser alterada drasticamente e o impacto negativo pode variar de 0 a 19,1%. Os grupos de sortimentos simulados apresentaram a tendência de subestimar a receita bruta quando comparado com a testemunha, no entanto, poderia ocorrer superestimativa no uso de diferentes grupos de sortimentos, mas não retratariam o perfil do polo consumidor regional de atuação da empresa.

Silva *et al.* (2015^a) constataram que a calibração de uma heurística de construção por partes para otimizar o sortimento florestal em plantios de *P. taeda*, em função dos diferentes sortimentos, a receita bruta é impactada negativamente entre 0,45 e 1,28%, dependendo do sortimento definido para o processamento de fuste.

Menon (2005), em pesquisa de meta-heurísticas na otimização do sortimento florestal de *P. taeda*, observou que a receita bruta, quando comparada com a dos sortimentos utilizados pela empresa com os mesmos sortimentos utilizando a meta-heurística, os cenários otimizados a subestimaram entre 7,48 e 9,55%.

Em proposta de otimização de eucalipto utilizando multiprodutos, constatou-se que ao comparar o cenário ótimo de sortimento a diferentes opções de classes de sortimentos, a receita bruta é alterada podendo variar negativamente entre 0,90 e 12,50% (SARTORI, 2013).

Comparando os resultados obtidos por Menon (2005) e Sartori (2013) a pesquisa atual, verificou-se que o uso de diferentes grupos de sortimentos pode subestimar a receita bruta.

5.3. Perdas volumétricas na colheita florestal

O percentual de perdas volumétricas geradas pela colheita florestal sobre o volume comercial com casca é impactado diretamente pelo volume de madeira abaixo do aproveitável (resíduo), quebra do fuste em decorrência dos impactos da árvore no solo na derrubada e arraste até o local de processamento. As perdas volumétricas na colheita florestal somaram 11,92% (Tabela 15).

Tabela 15. Percentual de volume comercial e perdas volumétricas na colheita florestal.

Volume	Classe	m³.ha⁻¹	%	% Acumulado
Comercial	Serraria 1	142,64	53,52	88,08
	Serraria 2	79,03	29,65	
	Celulose	13,07	4,90	
Perdas inerentes ao processo	Resíduo	17,37	6,52	8,37
	Toco conforme	3,59	1,35	
	Serragem de derrubada	0,50	0,19	
	Serragem de processamento	0,84	0,32	
Perdas de colheita florestal	Toco não conforme	0,25	0,09	3,55
	Quebra de fuste	9,23	3,46	
Total		266,52	100,00	100,00

Serraria 1: ≥ 23 cm; Serraria 2: ≥ 16 cm; Celulose: ≥ 8 cm; Resíduo: < 8 cm.

Constatou-se que o volume de resíduo possível de aproveitamento após a colheita florestal foi de 9,98% considerando o volume previsto de madeira abaixo do sortimento (6,52%) e o volume de perdas operacionais (3,46%).

Esse volume poderia ser utilizado para outros usos como: geração de calor para secagem de grãos, energia em termoelétricas (na forma de toretes ou cavacos), produção de carvão, produção de cavacos (briquetes, pellets e maravalha para aviários), dentre outros.

Ressalta-se que o valor de mercado desse material é atualmente impraticável economicamente devido à grande oferta na região de madeira de “Celulose”, inviabilizando o manuseio para disponibilizar esse material em condições de ser carregado, ou seja, o custo de produção é superior ao valor de venda.

Verificou-se que o volume de madeira não passível de aproveitamento (toco) foi de 1,35% do volume total. O volume de toco acima do padrão foi de 0,25 m³.ha⁻¹, onde 41,8% das cepas estavam com altura fora da especificação (maior que 10 cm).

Na Tabela 16 apresenta-se a quantidade de madeira retida nas cepas, acima do máximo recomendado e o percentual de cepas que estiveram com altura fora da especificação encontradas na literatura.

Tabela 16. Volume de madeira retido nas cepas e percentual fora da especificação.

Autor	m³.ha⁻¹ retido nas cepas	Fora da especificação (%)	Método de colheita	Máquina
Atual pesquisa	0,25	41,8	Mecanizado	<i>Feller</i> direcional
Jacovine <i>et al.</i> (1999)	1,09	-	Semimecanizado	Motosserra
Jacovine <i>et al.</i> (2005)	-	58,8	Mecanizado	<i>Harvester</i>
Jacovine <i>et al.</i> (2005)	-	13,0	Mecanizado	<i>Slingshot</i>
Jacovine <i>et al.</i> (2005)	-	21,2	Semimecanizado	Motosserra
Fink <i>et al.</i> (2008)	0,07	-	Semimecanizado	Motosserra
Pereira <i>et al.</i> (2012)	2,43	30,0	Semimecanizado	Motosserra
Fiedler <i>et al.</i> (2013)	0,21 a 0,30	-	Semimecanizado	Motosserra
Stroher <i>et al.</i> (2014)	0,30	57,7	Mecanizado	<i>Feller buncher</i>
Stroher <i>et al.</i> (2014)	1,45	42,9	Mecanizado	<i>Harvester</i>
Luz <i>et al.</i> (2016)	1,17	53,1	Semimecanizado	Motosserra

Ao comparar a presente pesquisa com colheita mecanizada e a pesquisa de Pereira *et al.* (2012) com colheita semimecanizada, observou-se que, independente do sistema de colheita florestal, a falta de monitoramento das atividades pode levar a perdas volumétricas e, consequentemente, financeiras para a empresa.

Stroher *et al.* (2014) constataram que, além das perdas por altura das cepas fora da especificação, esses autores avaliaram o volume perdido das toras em forma de discos da base, foi de 4,79 m³.ha⁻¹. Esses autores consideraram o volume de madeira perdido devido à linha de corte do disco do *feller buncher*, que foi de 4,25 m³.ha⁻¹.

Em pesquisa de mudança no sistema de colheita florestal buscando a redução de perdas de volume de madeira retida nas cepas, foi evidenciado que a altura média das cepas no sistema *cut to length* utilizando *harvester* é de 15 cm e com o uso do sistema de colheita *full tree* utilizando *feller buncher* reduziu para 10 cm (VERACEL, 2014).

A literatura pesquisada indicou que o volume de perdas de madeira retido nas cepas pode variar de 0,07 a 2,43 m³.ha⁻¹, a qual, comparada a atual pesquisa (0,25 m³.ha⁻¹), demonstra a necessidade de melhoria na qualidade das atividades de colheita florestal. Observa-se, ainda, a alta frequência de cepas com altura fora da especificação, a qual variou entre 13,0 a 58,8% na literatura pesquisada e de 41,8% na atual pesquisa.

5.3.1. Perdas econômicas na colheita florestal

Tendo-se determinado as perdas volumétricas na atividade de colheita florestal, seus efeitos econômicos são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Efeitos econômicos das perdas na colheita florestal.

Volume	Volume.ha⁻¹	R\$.ha⁻¹	(%)
Comercial	234,74	23.708,29	98,62
Toco não conforme	0,25	30,60	0,13
Quebra de Fuste	9,23	300,25	1,25
Total	244,22	24.039,14	100,00

A perda econômica na atividade de colheita foi de 1,38% e representou R\$ 330,85 ha⁻¹. Considerando o volume retido no toco acima do padrão (acima 10 cm), a perda econômica foi de R\$ 30,60 ha⁻¹ e a perda por quebra de fuste foi de R\$ 300,25 ha⁻¹.

Luz *et al.* (2016), em análise da perda de rentabilidade da madeira remanescente em cepas de *E. urophylla*, verificaram que a perda econômica foi de R\$ 43,29 ha⁻¹ (preço da madeira na região (R\$ 37,00/m³)).

Pereira *et al.* (2012), em avaliação da qualidade do corte florestal com motosserra em *E. grandis*, verificaram perda econômica por hectare de R\$ 172,53, sendo considerado o preço da madeira de R\$ 70,98/m³.

Em análise da qualidade da colheita florestal de eucalipto em diferentes declividades, Fiedler *et al.* (2013) constataram que a perda de volume de madeira retido nas cepas proporciona, em termos monetários, valores entre R\$ 14,92 a R\$ 21,82 por hectare em relação ao valor médio da madeira de R\$ 71,89/m³.

Jacovine *et al.* (1999), no uso de uma metodologia para avaliação dos custos da qualidade na colheita florestal semimecanizada em eucalipto, constataram que a quantidade de madeira retida nas cepas resulta, em termos monetários, perda de R\$ 7,78 por hectare, considerando o valor da madeira de R\$ 7,14/m³.

5.4. *Downgrade* de sortimentos

Os percentuais de volume por sortimentos observados no censo florestal são diferentes dos percentuais encontrados após o processamento, caracterizando a existência de *downgrade* provocado pela colheita florestal.

A presente pesquisa indica que o *downgrade* de sortimentos em uma floresta de Pinus de dezesseis anos em regime de manejo com desbaste, deve considerar os coeficientes de conversão por sortimento, como os apresentados na Tabela 18, buscando gerar informações mais próximas dos volumes que realmente são comercializáveis. Assim, os sortimentos com casca de cada classe deveriam ser multiplicados por coeficientes como os verificados na atual pesquisa.

Tabela 18. Coeficientes “*downgrade*” de sortimentos.

Classe	% Sortimento		Coeficiente <i>Downgrade</i>
	Censo	Real	
Serraria 1	58,51	49,34	0,8433
Serraria 2	32,36	39,44	1,2188
Celulose	9,13	11,22	1,2289

Serraria 1: ≥ 23 cm; Serraria 2: ≥ 16 cm; Celulose: ≥ 8 cm.

Verifica-se o maior *downgrade* do volume dos sortimentos “Serraria 1” para os sortimentos “Serraria 2” e “Celulose”, onde se pode concluir que isso é decorrente de vários fatores biológicos como, tortuosidades e bifurcações do tronco, fatores bióticos como, danos no tronco por pragas (danos por macaco-prego), fatores mecânicos da colheita florestal, devido a imprecisão dos cabeçotes processadores (erros no diâmetro e comprimento das toras) e fatores de operação (falta de treinamento para o operador, cansaço físico ao final do turno por “movimento repetitivo” e dificuldade de operação no horário noturno).

Mendonça (2006), em avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* spp. Em função da qualidade do fuste, comparou o volume estimado pelo inventário e volume obtido na colheita, verificando o *downgrade* de sortimentos das classes de toras.

Campos e Tavares (2010), em pesquisa da influência do comprimento e otimização de toras em *P. pinaster*, verificaram o *downgrade* de sortimentos considerando os volumes por sortimento otimizados e os volumes colhidos.

As pesquisas de Campos e Tavares (2010) e Mendonça (2006) demonstram o *downgrade* de sortimento quando comparado o volume estimado e o volume comercializado, e tal fato foi observado na atual pesquisa, produzindo subsídios para a utilização de fatores de conversão para sortimentos.

Considerando que o *downgrade* de sortimentos pode ocorrer pela falha na colheita florestal, seja ela semimecanizada ou mecanizada, os autores Rosa e Oliveira (2014), em análise da qualidade do processamento de madeira em dois sistemas de colheita florestal (*full tree* e *cut to length*) de plantios de *Pinus* utilizando três classes de sortimento, verificaram que, de modo geral, o processamento com cabeçote processador não apresentou precisão para as variáveis diâmetro e comprimento, quando comparados com a programação no computador de bordo. Os erros correspondem a problemas operacionais em função de defeitos na madeira (como galhos grossos, bifurcações e tortuosidades), além de problemas de ordem mecânica (aferição do cabeçote) e relacionados à forma de operar a máquina (falta de treinamento do operador).

Segundo os mesmos autores, no sistema de colheita *full tree*, 10% dos diâmetros encontravam-se não conformes e 30% do comprimento, em comparação dos valores reais e valores definidos no computador de bordo da máquina. Em relação à margem de tolerância para diâmetro, o percentual se manteve, e para o comprimento houve uma redução para 23%. Para o sistema de colheita *cut to length*, o percentual não conforme para o diâmetro foi de 8% e para comprimento foi de 27%. Considerando a margem de tolerância, o percentual dos diâmetros não se alterou e para comprimento foi reduzido para 3%.

A pesquisa sobre a avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal apontou o percentual de toras com comprimento acima da especificação entre 7,0 a 26,4% e com comprimento abaixo da especificação entre de 8,0 a 25,6% (JACOVINE *et al.*, 2005).

Fiedler *et al.* (2013), em análise da qualidade da colheita florestal de eucalipto em diferentes declividades, verificaram que os comprimentos das toras fora do padrão determinado esteve entre 20,42 a 35,80%.

Os autores Jacovine *et al.* (2005), Fiedler *et al.* (2013) e Rosa e Oliveira (2014) observaram que as falhas operacionais ocorrem, ocasionando o *downgrade* de sortimentos para classes com menor valor de mercado.

5.4.1. Perdas econômicas por *downgrade* de sortimentos

As perdas econômicas considerando o *downgrade* de sortimentos na atividade de colheita florestal são apresentadas na Tabela 19. O *downgrade* de sortimentos impactou diretamente na receita do sortimento “Serraria 1”, o qual apresentou redução de 15,67%. Com a reclassificação, ocorreu a redução da receita bruta em R\$ 1.300,95.ha⁻¹ (5,41%).

Tabela 19. Efeitos econômicos das perdas por *downgrade* de sortimentos.

Classe	Receita bruta (R\$.ha ⁻¹)		<i>Downgrade</i> (R\$.ha ⁻¹)
	Censo	Real	
Serraria 1	17.490,12	14.748,97	-2.741,15
Serraria 2	5.823,69	7.097,85	1.274,16
Celulose	725,33	891,37	166,04
Total	24.039,14	22.738,19	-1.300,95

Serraria 1: ≥ 23 cm; Serraria 2: ≥ 16 cm; Celulose: ≥ 8 cm.

5.5. Rendimento de madeira serrada

O volume das 478 toras utilizadas para desdobro foi de 33,06 m³ (176 toras) e 25,42 m³ (302 toras), respectivamente para o sortimento “Serraria 1” e “Serraria 2”. Os rendimentos da madeira serrada produzida na serraria pelo sistema de desdobro convencional e as simulações realizadas, buscando a maximização da receita bruta, são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Rendimento da madeira serrada.

Simulação	Rendimento (%)	
	Serraria 1	Serraria 2
MS	45,09	35,79
A	53,82a	53,71a
B	47,24a	44,87a
C	41,68a	36,81a
D	54,04a	55,13a
E	53,91a	55,13a
F	49,00a	48,50a
G	54,04a	55,15a

MS: Madeira serrada no padrão comercializado pela Serraria: 1” x 2” a 1” x 12”, 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; A: 1” x 2” a 1” x 12”; B: 2” x 2” a 2” x 12”; C: 3” x 3” a 3” x 12”; D: 1” x 2” a 1” x 12” e 2” x 2” a 2” x 12”; E: 1” x 2” a 1” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; F: 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; G: 1” x 2” a 1” x 12”, 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; ≥ 23 cm; Serraria 2: ≥ 16 cm; Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, considerando o nível de 5% de significância.

A madeira serrada, considerando a opção de processamento livre, na qual o operador verificou a melhor opção entre todos os produtos cadastrados, obteve rendimento de 45,09% no sortimento “Serraria 1” e de 35,79% no sortimento “Serraria 2”, em relação ao volume total das toras. A produção de madeira serrada apresentou maior rendimento no sortimento “Serraria 1” quando comparado ao sortimento “Serraria 2” (25,98%).

O melhor rendimento dentre as simulações com otimização do desdobro foi o processamento considerando todas as opções de sortimento G, ou seja, a mesma opção realizada pela serraria.

As simulações E, D e A, que incluíram a opção de produção de peças com uma polegada de espessura geraram rendimentos variando de 53,71 a 55,13%, resultando em menor rendimento quando comparado à utilização de outras espessuras de produtos, entretanto, as simulações F, B e C, em que peças com espessura de duas ou três polegadas foram priorizadas, apresentaram menor rendimento, variando de 36,81 a 49,00%.

Na Tabela 21 são apresentados os rendimentos de madeira serrada nos sistemas de desdobro convencional e programado encontrados na literatura e observados na atual pesquisa.

Tabela 21. Rendimento de madeira serrada em desdobro convencional e programado.

Autor	Sistema de desdobro	Classe de diâmetro (cm)	Espécie	Rendimento (%)
Atual pesquisa	Convencional	≥ 16	<i>Pinus</i> spp.	35,79
Atual pesquisa	Convencional	≥ 23	<i>Pinus</i> spp.	45,09
Ribas <i>et al.</i> (1989)	Convencional	-	<i>P. elliottii</i>	44,10 a 47,70
Biasi e Rocha (2003)	Convencional	8 a 45	<i>P. elliottii</i>	40,58 a 46,61
Cademartori (2010)	Convencional	15 a 30	<i>P. elliottii</i>	38,60 e 53,77
Manhiça (2010)	Convencional	-	<i>Pinus</i> sp.	44,96 a 52,47
Manhiça (2010)	Programado	-	<i>Pinus</i> sp.	49,93 a 55,25
Dobner Júnior <i>et al.</i> (2012)	Convencional	20 a 57	<i>P. taeda</i>	37,00 a 78,00
Murara Junior <i>et al.</i> (2013)	Convencional	18 a 40	<i>P. taeda</i>	37,03
Dobner Júnior <i>et al.</i> (2013)	Convencional	25 a 65	<i>P. taeda</i>	46,50
Barbosa <i>et al.</i> (2014)	Convencional	17 a 21	<i>P. elliottii</i>	41,18
Barbosa <i>et al.</i> (2014)	Convencional	29 a 43	<i>P. elliottii</i>	44,07
Atual pesquisa	Programado	≥ 16	<i>Pinus</i> spp.	36,81 a 55,15
Atual pesquisa	Programado	≥ 23	<i>Pinus</i> spp.	41,68 a 54,04
Murara Junior <i>et al.</i> (2013)	Programado	18 a 40	<i>P. taeda</i>	46,62

Ao comparar a atual pesquisa a literatura recente, verificou-se que o rendimento do desdobro de madeira de *Pinus* variou entre 35,00 a 78,00%, podendo ser maximizado utilizando ferramentas de otimização.

O rendimento médio da madeira serrada (“Serraria 1” e Serraria 2”) na presente pesquisa foi de 40,44%, superior ao encontrado por Fontes (1994) (30,00%). O rendimento médio do desdobro simulado foi de 50,22%, sendo superior ao observado por Ribas *et al.* (1989) (48,50%), semelhante ao relatado por Olandoski *et al.* (1998) (50,00%) e inferior aos valores encontrados Manhiça (2010) (52,00%), Murara Junior *et al.* (2005) (53,60%), Pinto *et al.* (2006) e Dobner Júnior *et al.* (2012) 57,00%. Todavia, estando dentro do intervalo relatado por Cardoso Junior (2008) de 32,60 a 61,70%.

5.5.1. Análise econômica da madeira serrada

O benefício econômico do desdobro e as simulações testadas, buscando a maximização da receita para a madeira serrada, são apresentados nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22. Benefício econômico da madeira serrada para o sortimento “Serraria 1” e por simulação.

Simulação	Custo matéria-prima	Receita bruta	Receita parcial	Benefício econômico (%)
MS		R\$ 8.620,16	R\$ 4.573,39	113,01
A		R\$ 10.557,36	R\$ 6.510,59	160,88
B		R\$ 7.902,46	R\$ 3.855,69	95,28
C	R\$ 4.046,76	R\$ 8.077,65	R\$ 4.030,88	99,61
D		R\$ 10.614,55	R\$ 6.567,78	162,30
E		R\$ 10.615,64	R\$ 6.568,88	162,32
F		R\$ 9.725,67	R\$ 5.678,90	140,33
G		R\$ 10.656,74	R\$ 6.609,98	163,34

MS: Madeira serrada no padrão da serraria: 1” x 2” a 1” x 12”, 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; A: 1” x 2” a 1” x 12”; B: 2” x 2” a 2” x 12”; C: 3” x 3” a 3” x 12”; D: 1” x 2” a 1” x 12” e 2” x 2” a 2” x 12”; E: 1” x 2” a 1” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; F: 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; G: 1” x 2” a 1” x 12”, 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”.

Tabela 23. Benefício econômico da madeira serrada para sortimento “Serraria 2” e por simulação.

Simulação	Custo matéria-prima	Receita bruta	Receita Parcial	Benefício Econômico (%)
MS		R\$ 4.982,64	R\$ 3.109,77	166,04
A		R\$ 7.527,34	R\$ 5.654,47	301,91
B		R\$ 6.333,21	R\$ 4.460,35	238,16
C	R\$ 1.872,87	R\$ 5.166,77	R\$ 3.293,90	175,87
D		R\$ 7.729,33	R\$ 5.856,47	312,70
E		R\$ 7.756,38	R\$ 5.883,51	314,14
F		R\$ 6.854,80	R\$ 4.981,93	266,01
G		R\$ 7.760,36	R\$ 5.887,50	314,36

MS: Madeira serrada no padrão da serraria: 1” x 2” a 1” x 12”, 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; A: 1” x 2” a 1” x 12”; B: 2” x 2” a 2” x 12”; C: 3” x 3” a 3” x 12”; D: 1” x 2” a 1” x 12” e 2” x 2” a 2” x 12”; E: 1” x 2” a 1” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; F: 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”; G: 1” x 2” a 1” x 12”, 2” x 2” a 2” x 12” e 3” x 3” a 3” x 12”.

O benefício econômico da madeira serrada no sortimento “Serraria 1” variou de 113,01% e no sortimento “Serraria 2” variou de 166,04% e, em ambos, os sortimentos da simulação G apresentou o maior benefício econômico (163,34 e 314,36%).

As simulações E, D e A, em que existe a opção de produção de peças com uma polegada de espessura geraram benefícios econômicos melhores quando comparadas às simulações F, B e C, em que peças com espessura de duas ou três polegadas foram priorizadas.

Analisando os resultados do benefício econômico das toras no sortimento “Serraria 1” e “Serraria 2”, verificou-se que atualmente o investimento em toras no sortimento “Serraria 2” proporcionam maior benefício econômico às indústrias.

Em análise desse fato, verificou-se que o preço da madeira serrada produzida com toras de maior diâmetro está inferior quando comparado ao preço da madeira serrada produzida com toras finas, apesar destas não conseguirem produzir alguns tipos de produtos o mercado apresenta tendência ao seu uso.

Segundo Vital (2008), as serrarias de desdobro de toras de Pinus utilizam, em sua grande maioria, sortimentos com diâmetros menores. Isso se dá em função da redução dos diâmetros utilizados para a produção de compensados e, conseqüente, diminuição na demanda de toras para esse segmento.

Dobner Júnior *et al.* (2012), estudando o rendimento de toras de Pinus em serraria na região de Campo Belo do Sul, estado de Santa Catarina, verificaram que o abastecimento da indústria madeireira com toras de menores diâmetros, tem sido uma prática comum, remetendo a questionamentos tanto sobre o processo industrial de desdobro como em relação à qualidade do produto final.

Os mesmos autores verificaram que o benefício econômico é similar para toras nas classes de sortimento entre 20 e 25 cm e classes acima de 45 cm de diâmetro, entretanto para a classe de 25 a 45 cm o benefício custo é reduzido em aproximadamente 50%.

6. CONCLUSÕES

Inventários florestais por amostragem com intensidades amostrais de 5% apresentaram menor erro amostral para estimar o volume comercial.

Os erros amostrais e reais para os sortimentos permaneceram abaixo de 10% em todas as intensidades amostrais testadas (1, 2 e 5%) para o processo de amostragem sistemático com parcelas retangulares.

As classes de sortimento utilizadas para a estimativa de volume comercial impactaram em maior ou menor volume, proporcionando distintos resultados na receita bruta.

As classes de sortimento de toras utilizadas pela empresa proporcionaram resultados econômicos lucrativos, quando comparadas com os sortimentos simulados.

O volume de madeira inferior ao diâmetro limite aproveitável (< 8 cm de diâmetro) (perda inerente ao processo) e a quebra de fuste na atividade de derrubada e arraste (perda de colheita florestal) foram as perdas que acarretaram o maior impacto no volume comercializado.

As perdas econômicas devido ao *downgrade* de sortimentos, relacionados a fatores biológicos (tortuosidades e bifurcações), fatores bióticos (danos causados por macaco-prego) e fatores mecânicos da colheita florestal (imprecisão do cabeçote processador ou falha de operação do equipamento), impactaram expressivamente na receita do ativo florestal.

O rendimento de madeira serrada de forma não programada (convencional) apresentou grande variação quando comparado às classes de sortimento otimizadas (simulação de desdobro programado).

As classes de sortimento com menores diâmetros apresentaram maior benefício econômico, quando comparadas às classes de sortimento com maiores diâmetros, considerando os valores atuais da matéria-prima e da madeira serrada.

7. RECOMENDAÇÕES

A definição das classes de sortimentos de madeira para a comercialização no mercado, necessitam passar pelo planejamento florestal de maneira a realizar simulações volumétricas e análise da receita gerada, buscando maximizar os resultados.

As perdas de colheita florestal necessitam ser consideradas na estimativa do volume comercial de forma a compor a formação do preço das toras.

Os coeficientes *downgrade* de sortimentos são uma opção para a redução nas diferenças estimadas do volume comercializável por classe de sortimento.

Ampliar a pesquisa com diferentes espécies, idades e manejos (corte raso e desbastes), buscando propor novos coeficientes *downgrade* de sortimentos.

Desenvolver pesquisa de otimização do traçamento com múltiplos comprimentos, fixos e/ou variáveis.

Ferramentas de gestão da qualidade para análise de defeitos ou não conformidades (diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, 5W2H, PDCA e 6 Sigma), ferramentas de análise do modo e efeitos de falhas (FMEA) e ferramentas de análise do resultado (FCA), podem ser implementadas buscando a minimização de perdas.

A classe de sortimento acima de 23 cm, devido apresentar atualmente menor benefício econômico quando utilizada para a produção de madeira serrada, poderia ter sua venda prospectada para outro mercado com maior rentabilidade.

Propor pesquisa para a implantação e operacionalização de *softwares* de otimização de madeira serrada nas serrarias de pequeno porte.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA, 2007, **Estudo setorial 2007**: indústria de madeira processada mecanicamente. Curitiba, 40p. 2007.

ABRAF. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, **Anuário estatístico ABRAF, ano 2013, ano base 2012**. Brasília, 148p. 2013.

ACOSTA, M. S. Experiencia Argentina en la producción y utilización de la madera de eucalipto, panorama a 1999. In: Workshop: Técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto, Viçosa, 1999. **Anais...** Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Florestal, SIF, IEF, 1999. p.1-27.

AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; PINTO JUNIOR, J. E. **Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 81p. (Embrapa Florestas. Documentos, 233).

AGUIAR, A. V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Espécies de pínus mais plantadas no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/index.htm>. Acesso em: 12 set. 2016.

ALMEIDA, C. V. **Avaliação do comportamento morfogenético de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis Barr. & Golf, "in vitro"**.74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

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

ARCE, J. E. Treinamento em cálculos florestais diversos por meio do *software* FlorExcel. In: Anais da X Semana de Estudos Florestais e I Seminário de Atualização Florestal: Florestas de Produção, 2008, **Anais ...** Irati. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste; 2008.

ARCE, J. E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. 125f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.207-217, 2004.

ARENALES, M. N.; MORABITO, R. N. An and/or-graph approach to the solution of two-dimensional non-guillotine cutting problems. **European Journal of Operational Research**, v. 84, n.1, p.599-617, 1995.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. New York: McGraw-Hill Book Company, p.330,1983.

BACKER, J. B.; LANGDON, O. G. *Pinus taeda* L. Loblolly pine. In: BIRNS, R. M.; HONKALA, B. H. (Eds.) **Silviculture of North America**, Washington, v.1. p.497-512, 1990.

BARBOSA, L. C.; PEDRAZZI, C.; FERREIRA, E. S.; SCHNEID, G. N.; WILLE, V. K. D. Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.2, p.491-500, 2014.

BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.108, p.9-26, 1998.

BATISTA, D.; CARVALHO, A. M. Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através do estudo do tempo, rendimento e eficiência. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.75, p.31-38, 2007.

BIASI, C. P. **Rendimento em madeira serrada, geração de resíduos e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BIASI, C. P.; ROCHA, M. P. Rendimento em serraria de *Pinus elliottii*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2003.

BOGNOLA, I. A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.2, p.373-385, 2008.

BONDUELLE, G. **Qualidade total na gestão florestal. Material didático do curso de especialização à distância em gestão florestal**. Universidade Federal do Paraná, PECCA, Curitiba, 2007. 205p.

BRIGGS, D. G. **A dynamic programming approach to optimizing stem conversion**. Tese de Phd, University of Washington. Seattle, 1980.

BRIGGS, D. G. Tropical forest utilization systems: A dynamic programming model for bucking tree stems into logs. **College of Forest Resources**, Seattle, 1977.

BRISA CONSULTING. **Módulos florestais**. 2016. Disponível em: <<http://www.brisaconsulting.com.br>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

CADEMARTORI, P. H. G. de. **Qualidade da madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm procedente de florestas resinadas da região sul do Rio Grande do Sul**. 82f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, M. S. Conversão de árvores em multiprodutos da madeira utilizando programação inteira. **Árvore**, Viçosa, v.37, n.5, p.881-887, 2013.

CAMPOS, C.; TAVARES, M. Influência do comprimento e origem do toro na otimização do aproveitamento e do valor de rolos de pinho bravo. **Silva Lusitana**, Oeiras, v.18, n.1, p.123-132, 2010.

CARDOSO JUNIOR, A. A. **Inovação tecnológica na obtenção de madeira serrada de pinus com uso de programa otimizador de desdobro**. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CONSUFOR. Perspectivas para os próximos 20 anos do setor florestal. **Floresta S/A**, Curitiba, n.1, p.5-17, 2015.

CONSUFOR. **Preço madeira de pinus**: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Curitiba, p.22, 2014.

COSTA, L. V. **Uma proposta matemática para o corte de toras de Eucalyptus**. 30f. Monografia (Graduação em Ciências da Computação) - Universidade de Lavras, Lavras, 2001.

COSTA, T. C. C.; REGAZZI, A. J. Amostragem para inventário florestal com probabilidade de superposição de parcelas circulares. **Árvore**, Viçosa, v.34, n.1, p.137-145, 2010.

DENIG, J. **Small sawmill handbook**: Doing it right and making Money. San Francisco. Miller Freeman inc. 1993. 182p.

DOBNER JÚNIOR, M.; HIGA, A. R.; ROCHA, M. P. Rendimento em serraria de toras de *Pinus taeda*: Sortimentos de grandes dimensões. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.3, p.385-392, 2012.

DOBNER JÚNIOR, M.; NUTTO L.; HIGA, A. R. Rendimento de laminação por faca de toras de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.100, p.469-475, 2013.

DORMAN, K. W. **The genetics and breeding of southern pines**. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook, 1976, 407p.

DOSSA, D. **Cultivo do pinus**: importância sócio-econômica e ambiental. 2008. Disponível em:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/11_importancia_socio_economica.htm> Acesso em: 17 jul. 2008.

DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B. Packing problems. **European Journal of Operational Research**, v.56, p.2-14, 1992.

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

DRINKO, C. H.; LOPES, E. S.; OLIVEIRA, F. M. Produtividade e custos do corte de pinus com harvester de pneus e esteiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.22, p.3672, 2015.

DUSBERGER, F.; RAIDL, G. R. Solving the 3-staged 2-dimensional cutting stock problem by dynamic programming and variable neighborhood search. **Electronic Notes in Discrete Mathematics**, v.47, p.133-140, 2015.

DYCKHOFF, H, SCHEITHAUER, G., TERNO, J., Cutting and Packing. **Annotated Bibliographies in Combinatorial Optimization** [edited by M. Amico, F.Maffioli and S. Martello], John Wiley & Sons, New York, 393-414, 1997.

DYCKHOFF, H. A topology of cutting and packing problems. **European Journal of Operational Research**, v.44, p.145-159, 1990.

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

EISFELD, R. de L.; MELLO, A. A.; SANQUETTA, C. R.; WEBER, K. S. Avaliação de modelos polinomiais na estimativa de volume total e por sortimento de *Pinus taeda*. **Brasil Florestal**, Brasília, n.79, p.9-17, 2004.

ELESBÃO, L. E. G. **Performance do *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. em áreas arenizadas e degradadas no oeste do Rio Grande do Sul**. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos, Rio de Janeiro, RJ. **Propostas de revisão e atualização do sistema brasileiro de classificação de solos**, por Humberto Gonçalves dos Santos...[*et al.*], Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 2003, 56p. (EMBRAPA Solos. Documento, 53).

ENG, G.; DAELLENBACH H. G.; WHYTE A. G. D. Bucking tree-length stems optimally. **Can. J. For. Res.** v.16, p.1030-1035, 1986.

EPSTEIN, R.; MORALES, R.; SERÓN, J.; WEINTRAUB, A. Use of or systems in the Chilean forest industries. **Interfaces**, v.29, n.1, p.7-29, 1999.

FAALAND, B.; BRIGGS, D. Log bucking and lumber manufacturing using dynamic programming. **Management Science**, v.30, n.2, p.245-257, 1984.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2013. **FAO Statistical yearbook 2013: World food and agriculture**. Rome, Italy. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF>>. Acesso em: 19 out. 2015.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Influência de métodos de desdobro tangencial no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras. v.10, n.1, p.10-21, 2004.

FIEDLER, N. C.; CARMO, F. C. A.; SÃO TEAGO, G. B.; CAMPOS, A. A.; SILVA, E. N. Análise da qualidade da colheita florestal de eucalipto em diferentes declividades. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v.22, n.1, p.1-8, 2013.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RESTSLAFL, F, A, S.; KOHLER, S. V.; BECKER, M.; BRANDES, D. Efeito da Idade no Afilamento e Sortimento em Povoamentos de *Araucaria angustifolia*, **Floresta e Ambiente**, v.22, n.1, p.50-59, 2015.

FINK, J. L.; VALÉRIO, A. V.; WATZLAWICK, A. F. LISBOA. G. S.; SILVESTRE, R. **Caracterização da altura de corte em desbaste de *Pinus elliottii* com 6 anos**. 2008. Disponível em: <http://www.unicentro.br/pesquisa/anais/seminario/pesquisa2008/pdf/artigo_731.doc>. Acesso em: 18 set. 2016.

FOELKEL, C. O. Gestão ecoeficiente dos resíduos florestais lenhosos da eucaliptocultura. **Eucalyptus OnLine Book e Newsletter**. 2007. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT07_residuoslenhosos.pdf> Acesso em: 21 ago. 2017.

FOELKEL, C. O. Medição da madeira na forma de toras empilhadas. **Eucalyptus Newsletter**, n.48, 2015.

FOELKEL, C. O. Problema das cepas residuais das florestas plantadas de eucaliptos. **Eucalyptus Newsletter**, n.45, 2014.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos**. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

FOREST SERVICE. **National Forest Inventory - Republic of Ireland - Methodology**, 2007. Department of Agriculture Fisheries and Food. Disponível em: <<https://www.agriculture.gov.ie/media/migration/forestry/nationalforestinventory/nationalforestinventorypublications/4350NFIMethodology.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

FREITAS, A. R. Alternativas tecnológicas para melhor aproveitamento dos recursos florestais brasileiros. In: Anais do Congresso Florestal Brasileiro, 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1986. p.176-178.

GÁLVEZ, J. L. A. P. **Abordagem do problema de cutting stock na indústria florestal**. 93f. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GHIDINI, C. T. L. S. **Otimização de processos acoplados: programação da produção e corte de estoques**. 131f. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

GILMAN, E. F.; WATSON, D. G. *Pinus elliottii*: Fact Sheet ST-463. [Gainesville]: **United States Forest Service-Environmental Horticulture Department**, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Oct. 1994. 4p.

GILMORE, P. C.; GOMORY R. E. A linear programming approach to the cutting stock problem. **Operations Research**, v.9, p.848-859, 1961.

GILMORE, P. C.; GOMORY R. E. A linear programming approach to the cutting stock problem, Part II. **Operations Research**, v.11, p.863-888, 1963.

GILMORE, P. C.; GOMORY R. E. Multi-stage stock cutting problems of two or more dimensions. **Operations Research**, v.13, p.94-120, 1965.

GOBBO, E. P.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E. Inventário dos povoamentos florestais da estação experimental de Tupi - Instituto Florestal - SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v.5, n.6, 2007.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2º Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

HARBERL, J.; NOWAK, C. H. R.; STETTNER, H.; STOISER, G.; WOSCHITZ, H. A. Branch and bound algorithm for solving a fixed charge problem in the profit optimisation of sawn timber production. *ZOR - Mathematical methods of operations research*, v.35, n.2, p.151-166, 1991.

HARMS, W. R.; WHITESELL, C. D.; DEBELL, D. S. Growth and development of loblolly pine in a spacing trial planted in Hawaii. *Forest Ecology and Management*, v.126, p.13-14, 2000.

HAYGREEN, J. G.; BOWER, J. L. **Forest products and wood science**: Na introduction. Iowa State University Press. 1ª ed. 1982. 495p.

HÉBERT, F.; KRAUSE, C.; PLOURDE, P.; ACHIM, A.; PRÉGENT, G.; MÉNÉTRIER, J. Effect of Tree Spacing on Tree Level Volume Growth, Morphology, and Wood Properties in a 25-Year-Old *Pinus banksiana* Plantation in the Boreal Forest of Quebec. *Forests*, 7, 2016, 276p.

HEINRICH, D. **Simulação da produção de madeira serrada**. 157f. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

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

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalypts of wood production**. Austrália: CSIRO, 1978. 434p.

HOLLOCKS, B. W. Forty years of discrete-event simulations - a personal reflection. *Journal of the Operational Research Society*, p.1299 -1883, 2006.

HORNBURG, K. F.; ELEOTÉRIO, J. R.; BAGATTOLI, T. R.; NICOLETTI, A. L. Qualidade das toras e da madeira serrada de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.40, n.96, p.463-471, 2012.

HOSOKAWA, R. T.; SOUZA, A. L. **Amostragem para fins de manejo**. Curso de Manejo Florestal. Brasília, 1987, v.5, 25p.

HUSCH, B. **Planing a forest inventory**. Rome: FAO, 1971, n.17, 120p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, 1982. 402p.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual da IBÁ, ano 2014, ano base 2013**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2015.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual da IBÁ, ano 2015, ano base 2014**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2015.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual da IBÁ, ano 2016, ano base 2015**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2017.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A. **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil**. São Paulo, 59p. 2003.

JACOVINE, L. A. G.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; MINETTI, L. J. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal, **Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.391-400, 2005.

JACOVINE, L. A. G.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. E.; TRINDADE, C. Descrição de uma metodologia para avaliação dos custos da qualidade na colheita florestal semimecanizada, **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p.143-160, 1999.

JORGE, L. A. B.; LARA, H. A. Programa de sortimento de madeira serrada de povoamentos de *Pinus elliottii* com alternativas de produtos padronizados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v.2, p.539-544.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle de qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1991. 360p.

KATSURAYAMA, D. M. **Estudo sobre o efeito da utilização de padrões tabuleiros na produtividade do equipamento de cortes**. 121f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

KOHLER, S. V. **Erros amostrais e não amostrais em inventários de florestas plantadas**. 173f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: Ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Rossdorf: TZ-Verl.-Ges, 1990, 343p.

LAROZE A. J. A linear programming, tabu search method for solving forest-level bucking optimization problems. **Scientia Forestalis** v.45, n.1, p.108-116, 1999.

LAROZE A. J.; GREBER B. J. Using tabu search to generate stand-level, rulebased bucking patterns. **Forest-Science**, v.43, n.2, p.157-169, 1997.

LAZARETTI, D. S. **Qualidade da madeira e rentabilidade na produção de *Pinus taeda* L. visando múltiplos mercados**. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

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

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

LIMA, A. F.; E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**, São Paulo, p.129-167, 1988.

LIMA, R. **Crescimento, biomassa e carbono de *Pinus taeda* L. em função do espaço vital**. 104f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2014.

LINHARES, A.; YANASSE, H. H. Connections between cutting-pattern sequencing, VLSI Design, and flexible machines. **Computers e Operations Research**, v.29, n.12, p.1759-1772, 2002.

LODI, A., MARTELLO, S., MONACI, M. **Two-dimensional packing problems: A survey**, 2002.

LUZ, D. S.; FREITAS, L. C.; ROCHA, I, P. SOUSA, M. M.; LOPES, T. S. Análise da perda de rentabilidade da madeira remanescente em cepas de *Eucalyptus urophylla*. In: IV Semana de Engenharia Florestal da Bahia e I Mostra da Pós-Graduação em Ciências Florestais da UESB, 2016, Vitória da Conquista. **Anais...** Bahia: UESB, 2016.

MACHADO, C. C. **Exploração florestal**. 6.ed. Viçosa: UFV, 1989. 34p.

MACHADO, S. A. Complete enumeration forest inventory versus cluster sampling method applied in the Amazonian rain forest. **Floresta**, Curitiba, v.17, n.1/2, p.122-130, 1988.

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

MANHIÇA A. A. **Rendimento e eficiência no desdobro de *Pinus* sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte**. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MCCURDY, M.; PANG, S.; KEEY, R. (2005). Measurement of colour development in *Pinus radiata* sapwood boards during drying at various schedules. *Wood Technology*. **Research Centre**, University of Canterbury, New Zealand. 7(2):79-85.

MELLO, A. A. **planejamento de uma empresa florestal considerando a manutenção do estoque de carbono**. 115f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MELLO, J. M.; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, W.; THIERSCH, C. R. Métodos de amostragem e geoestatística para estimativa do número de fustes e volume em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.1, p.157-166, 2009.

MENDONÇA, A. R. **Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* sp. em função da qualidade do fuste**. 90f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

MENDOZA G. A; BARE B. B. A two-stage decision model for log bucking and allocation. **For. Prod. J.** v.36, n.10, 70-74, 1986.

MENON, M. U. **Meta-heurísticas na otimização do sortimento florestal**. 119f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MINOUX, M. **Mathematical programming: Theory and algorithms**. Wiley, Chichester. 1986.

MIROV, N. T. **The genus pinus**. New York: Ronald Press Company, 1967. 602p.

MITCHEL, S. A. **Operational forest harvest scheduling optimization: a mathematical model and solution strategy**. 278f. Tesis (Engineering Science) - University de Auckland, Auckland, 2004.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TIMOFEIKCZYK JUNIOR, R. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, v.5, n.3, p.473-483, 2005.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento em madeira serrada de Pinus para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.4, p.556-563, 2013.

NIEUWENHUIS, M; FITZPATRICK, P. J. An assessment of stem breakage and the reduction in timber volume and value recovery resulting from a catastrophic storm: an Irish case study. **Forestry**, v.75, n.5, 2002.

NOVAK, R. S. **Um sistema de otimização aplicada ao desdobro de madeira**. 126f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2007.

NUNES, G. V. P. **Algoritmos para geração de padrões de corte paralelo e radial no processamento de toras de madeira**. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade de Viçosa, Viçosa, 2013.

OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A.; ROCHA, M. P. Avaliação do rendimento em madeira serrada, qualidade e quantidade de resíduos no desdobro de *Pinus* spp. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v.17, n.1/2, p.177-184, 1998.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S. Análise da influência das dimensões das toras de pinus na produtividade e custo da extração florestal. Anais do XVIII Encontro Anual de Iniciação Científica, 2009. Curitiba. **Anais...** Londrina: UEL, 2009. p.4-14.

OPTIMBER. **Guia de instruções do usuário: MaxiTora - Software** de otimização de desdobro de toras, da empresa OpTimber, ambiente Windows. Versão 1.4, Brasil, 2016.

PAIT, J. A.; FLINCHUM, D. M.; LANTZ, C. W. Species variation, allocation, and tree improvement. In: Forest Regeneration Manual, 1991. London. **Anais...** London: Kluwer Academic Publishers, 1991. p.207-231.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba, 1997. 316p.

PEREIRA, D. P.; FIEDLER, N. C.; GUIMARÃES, P. P.; MÔRA, R.; BOLZAN, H. M. R.; PLASTER, O. B. Avaliação da qualidade do corte florestal com motosserra. **Cerne**, Lavras, v.18, n.2, p.197-203, 2012.

PINTO, I.; KNAPIC, S.; PEREIRA, H.; USENIUS, A. Simulated and realised industrial yields in sawing of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait). **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.64, p.30-36. 2006.

PINTO, I.; PEREIRA, H.; USENIUS, A. Sawing simulation of *Pinus pinaster* Ait. In: Proceedings of the Fourth Workshop of IUFRO "Connection between forest resources and wood quality: modelling approaches and simulation software"; 2002; British Columbia. **Anais...** Nancy: Ed G.vNepveu; INRA; 2002. p.429-438.

PNEVMATICOS, S. M.; MANN, S. H. Dynamic programming in tree bucking. **Forest Products Journal**, v.22, n.2, 1972.

PÖYRY. **Radar**: Mercado brasileiro de base florestal. Curitiba, Ano 6, 1.ed., 2014.

PUCCINI, A. L. **Programação linear**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1990. 250p.

PUCHINGER, J. **Combining metaheuristics and integer programming for solving cutting and packing problems**. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - University of Technology, Viena, 2011.

REINDERS, M. P. Cutting stock optimization and integral production planning for centralized wood processing. **Mathematical Computational Modeling**, v.16, n.1, p.37-55, 1992.

REINDERS, M. P. **Ideas, for integral logistics in centralized wood processing**. Netherlands: Thesis (Ph.D.). Wageningen Agricultural University, 1989.

RIBAS, C.; ASSINI, J. L.; YAMAZO; E. G.; GARRIDO, L. M. A. G. Estudo da influência do diâmetro e do comprimento das toras de *Pinus elliottii* na produção de madeira serrada e de resíduos de serraria. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.1, n.1, p.51-65, 1989.

ROCHA, M. B.; SOUSA, T. B. SILVA, J. G; BARRETO, P. A. B. Comparação do censo com processos de amostragem para estimar o volume em povoamento de *Pinus caribaea*. IV Congresso Nordestino de Engenharia Florestal e III Semana Acadêmica de Engenharia Florestal, 2013, Vitória da Conquista. **Anais...** Vitória da Conquista, [s.n.], 2013, p.306-309.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROCHA, M. P. **Otimização no desdobro de toras de Pinus**. Revista da Madeira, n.83, 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/ed/Especies_Pinus_taeda.html> Acesso em: 12 set. 2013.

ROCHA, M. P. **Técnicas de planejamento em serrarias**. FUPEF, Curitiba, n.02/01, 121p., 2002.

RODRIGUES, F. L. **Metaheurística e sistema de suporte à decisão no gerenciamento de recursos florestais**. 225f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ROSA, M. O.; OLIVEIRA, F. M. Análise da qualidade do processamento de madeira em dois sistemas mecanizados de colheita florestal. **Revista da União Latino-Americana de Tecnologia**, Jaguariaíva, n.2, p.19-37, 2014.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. de A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2.ed. Curitiba, 2009. 316p.

SANTANA, C. J. O. **Traçamento e alocação ótima de toras de eucalipto por geração de colunas e programação dinâmica**. 79f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SANTOS, F. E. V.; ARAÚJO, J. M.; ANDRADE, W. C. Comparação dos métodos de amostragem parcela de área fixa e strand em floresta de eucalipto. **Verde**, Mossoró, v.8, n.1, p.174-177, 2013.

SARTORI, M. S. **Proposta de otimização para reflorestamento de eucalipto utilizando multiprodutos**. 70f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SBS. SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal 2008**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2011.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.32-43, 2003.

SCHUCHOVSKI, M. S. **Diagnóstico e planejamento do consumo de madeira e da produção em plantações florestais no estado do Paraná**. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 341p.

SÉ, D. C. **Efeito da correlação entre parcelas sobre a precisão em amostragem sistemática**. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SEAB. SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. 2016. **Preços:** Preços Florestais. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=129>>. Acesso em: 03 set. 2016.

SFB. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Brasil com florestas:** Oportunidades para o desenvolvimento de uma economia florestal e a reestruturação necessária do setor. Brasília: MMA, 2012.

SHIMIZU, J. H. Pinus na silvicultura brasileira. **Madeira**, Curitiba, n.99, p.4-14, 2006.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. **Espécies de pínus na silvicultura brasileira.** In: SHIMIZU, J. Y. (Ed.). Pinus na silvicultura brasileira. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa operacional.** 3º ed. São Paulo: Atlas, 184p. 1998.

SILVA, J. A. A. **Estatística experimental aplicada à ciência florestal.** Universidade Federal do Pernambuco. Recife. 292p. 1982.

SILVA, J. C. Eucalipto a madeira do futuro. **Madeira**, Curitiba. 2001.

SILVA, R. F.; MONTES, D. P.; SIVA, G. F. Calibração de uma heurística de construção por partes para otimizar o sortimento florestal em plantios de *Pinus taeda* L. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 47., 2015b, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: UEPE, 2015b, p.592-602.

SILVA, R. F.; MONTES, D. P.; SIVA, G. F. Meta-heurística *Iterated Local Search* aplicada ao particionamento de fustes no agronegócio florestal. In: X Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2015a, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBPO, 2015a. p.4-14.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Árvore**, Viçosa, n.27, p.811-820, 2003.

SOUZA, H. S.; CHAVES, A. G. S.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA; R. S.; MOTTA. A. S. Processos de amostragem para estimativa de produção em plantio de teca. **Agrarian Academy**, Goiânia, v.2, n.3, p.81-89, 2015.

SPONHOLZ, I. K. **Especialização da produção *Pinus taeda* por sortimento de madeira.** 51f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

STEELE, P.H. Factors determining lumber recovery in sawmilling. USDA. **Forest Service**. FPL general technical report, n.34, p.1-8, 1984.

STROHER, R. R.; NIKKEL, A.; NODARI, A. N.; SANTOS, A. S.; ROBERT, R. C. G. Avaliação da perda de madeira em dois sistemas de colheita florestal mecanizada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p.238-249, 2014.

SWEENEY, P.; PARTERNOSTER, E. Cutting and packing problems: A categorized. Application. **Oriented Research Bibliography**, n.43, p.691-706, 1992.

TODOROKI, C.; RÖNNQVIST, M. Dynamic control of timber production at a saw-mill with log sawing optimization. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v.17, n.1, p.79-89. 2002.

TONIOLO JUNIOR, L.; CARDOSO, D. J.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZÚ, M. C.; OLIVEIRA, E. B.; GOMES, J. V. B.; ARCE, J. E.; ROSOT, N. C.; FRANCISCON, L. **Evolução da forma do tronco e do volume por sortimento em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze plantada em espaçamento amplo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 53p. (Embrapa Florestas. Documentos, 285).

VAN GOOR, C. P. Reflorestamento com coníferas no Brasil, aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia* no estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v.4, n.4/5, p.349-366, 1967.

VERACEL. Mudança no processo de colheita florestal com interação na silvicultura. In: 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2014, Campinas. **Anais...** Curitiba: Embrapa Florestas, 2014. p.47-57.

VERMAAS, H. F. Drying eucalypts for quality: material characteristics and optimization of drying quality. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.119-132.

VIANNA NETO, J. A. Considerações básicas sobre o desdobro de *Pinus* spp. **Silvicultura**, Curitiba, n.34, p.15-19,1984.

VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias**. Viçosa: Editora UFV; 2008. 211p.

WADE, M.W.; BULLARD, S.H.; STEELE, P.H.; ARAMAN, P. A. Estimating hardwood sawmill conversion efficiency based on sawing machine and log characteristics. **Forest products journal**, v.42, n.11/12, p.21-26, 1992.

WAGNER, H. M. **Pesquisa operacional**. Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro. 1986.

WANDRESEN, R. R. **Software educacional para o ensino de inventário florestal**. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

WÄSCHER, G.; HAUBNER, H.; SCHUMANN, H. An improved typology of cutting and packing problems. **European Journal of Operational Research**, v.4, p.44-454, 2006.

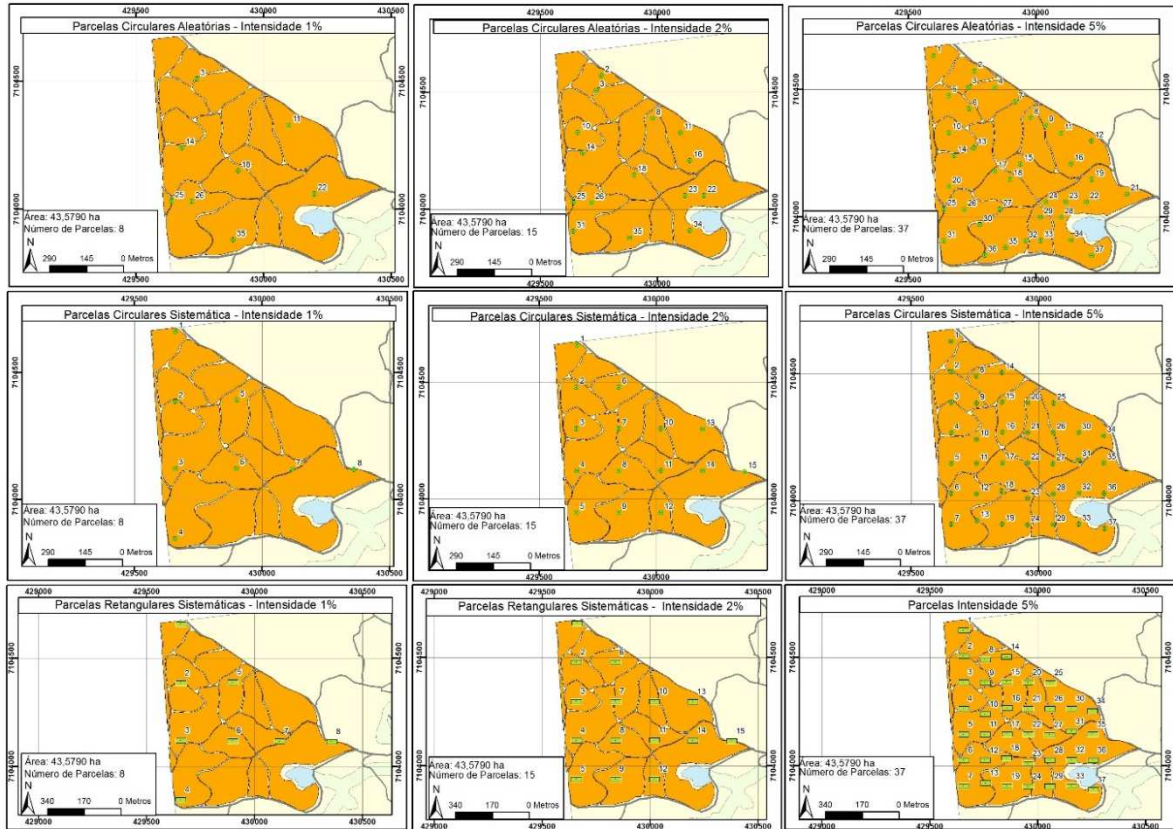
WEINTRAUB, A.; BARROS, O. Planning for a vertically integrated forest industry. **Operations Research**, v.30, n.6, p.1168-1182. 1982.

WILLISTON, M. **Lumber manufacturing**: the design and operation of sawmills and planer mills. San Francisco: M. Freeman, 1978.

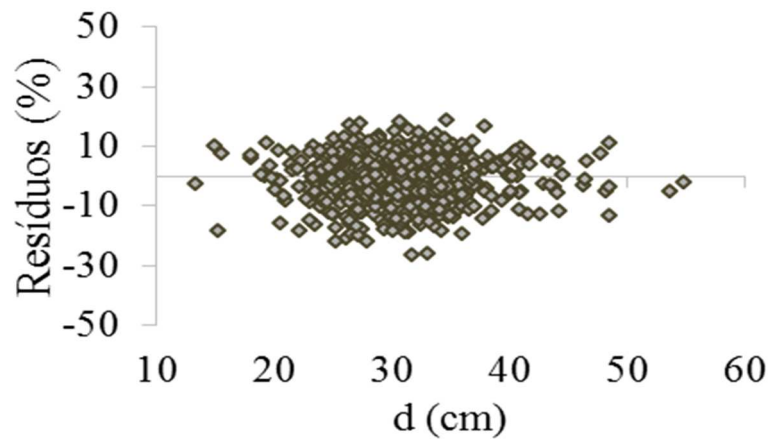
YOSHIDA, L. K. **Métodos quantitativos**: programação linear. São Paulo. Atual. 1987. 168p.

ANEXOS

ANEXO 1. Distribuição das parcelas amostradas para intensidades amostrais de 1, 2 e 5%

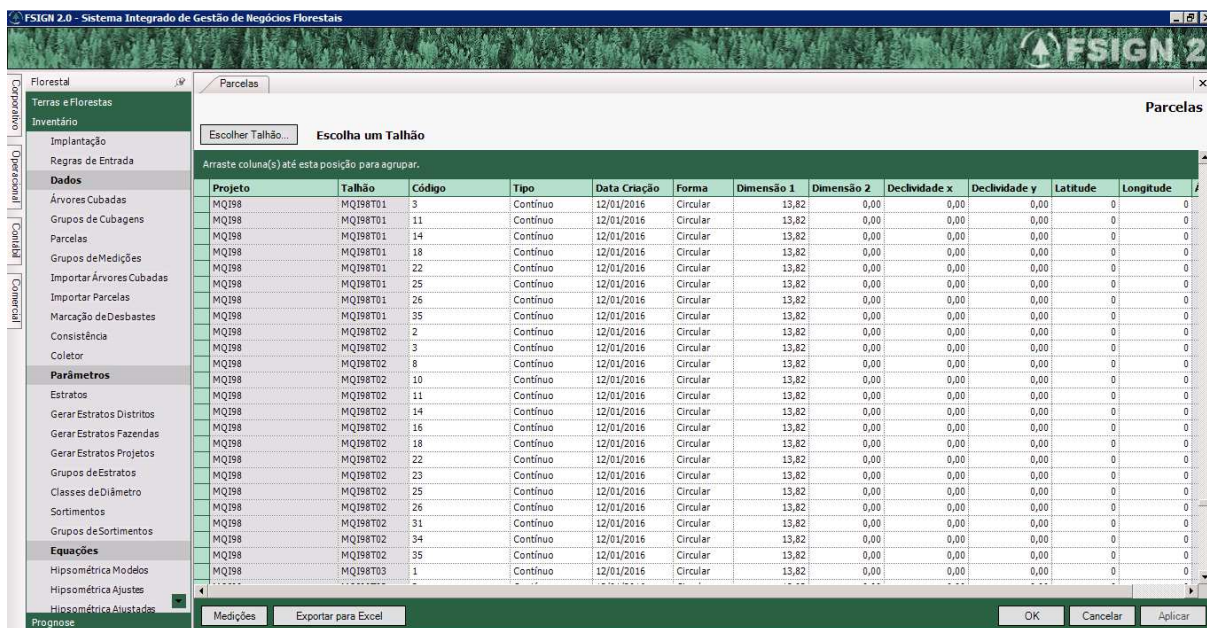


ANEXO 2. Distribuição dos resíduos da equação hipsométrica

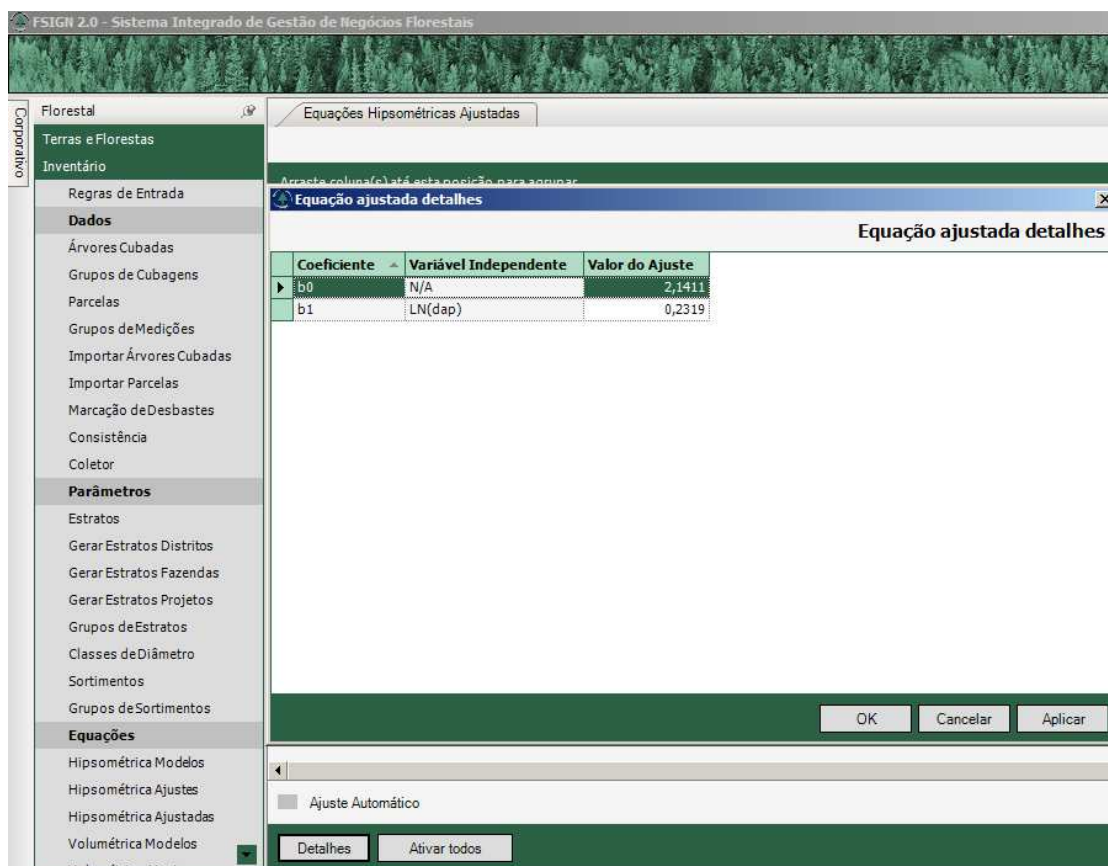


Fonte: Kohler (2017).

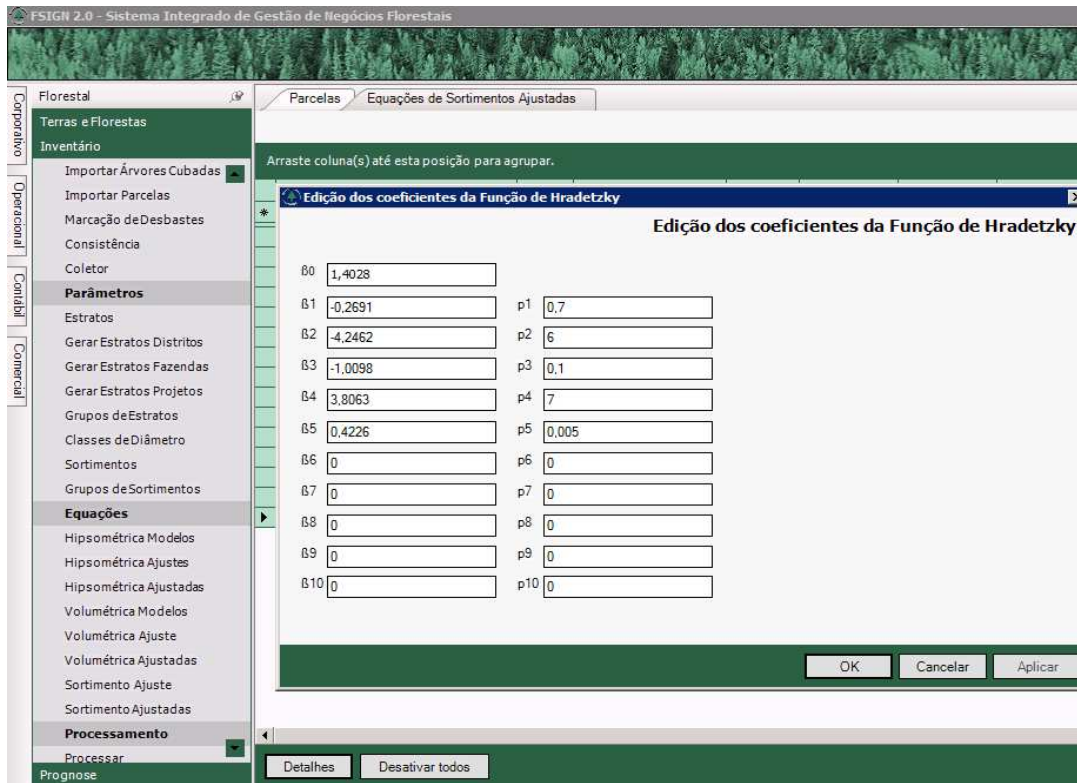
ANEXO 3. Tela de *input* de dados no *software* Fsign



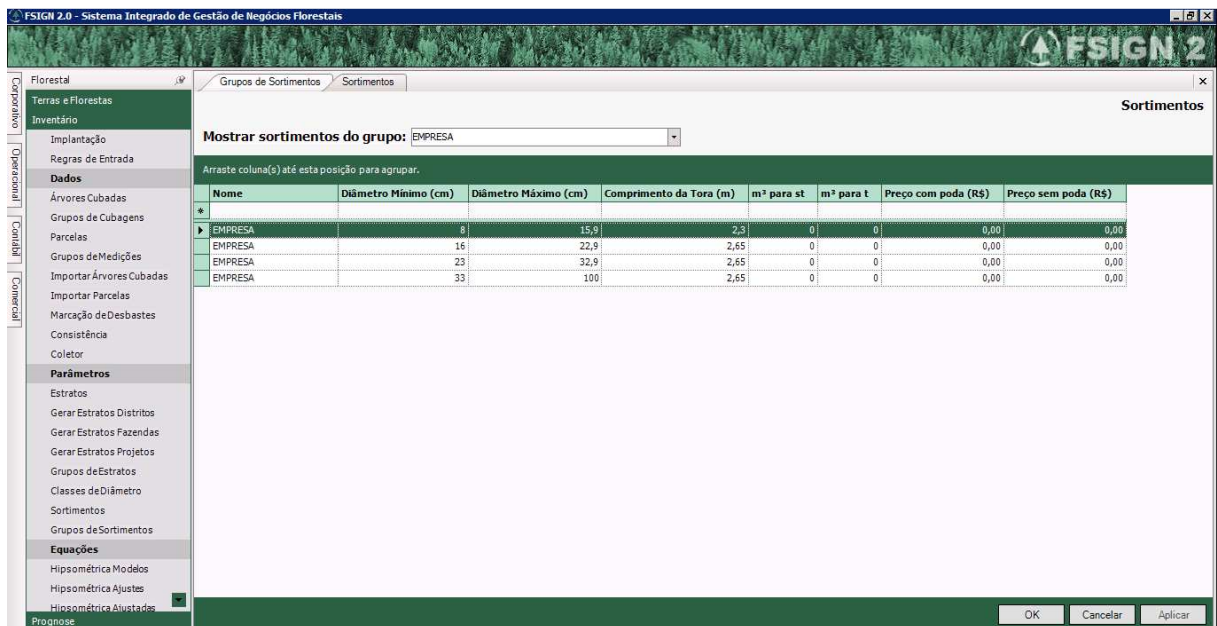
ANEXO 4. Tela de *input* dos coeficientes da equação hipsométrica no *software* Fsign



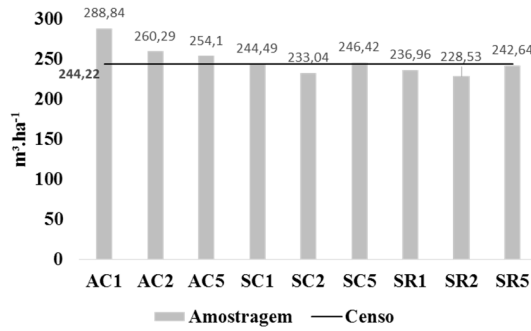
ANEXO 5. Tela de *input* dos coeficientes da função de afilamento no *software* Fsign



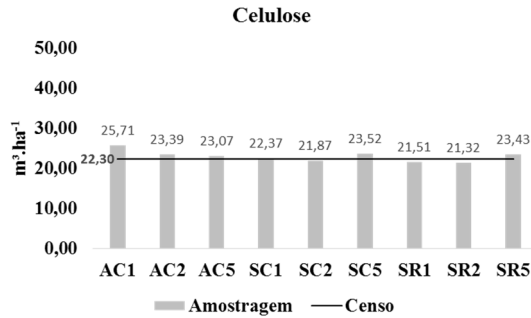
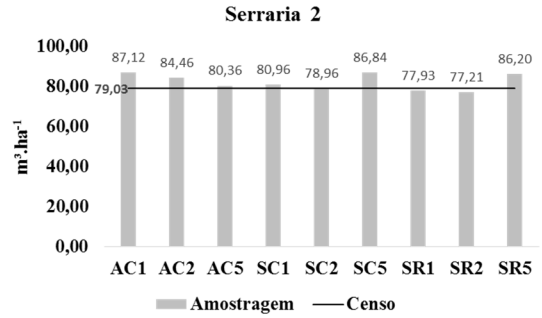
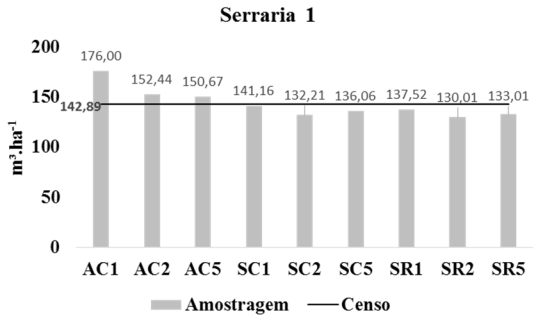
ANEXO 6. Tela de *input* das classes e grupos de sortimentos no *software* Fsign



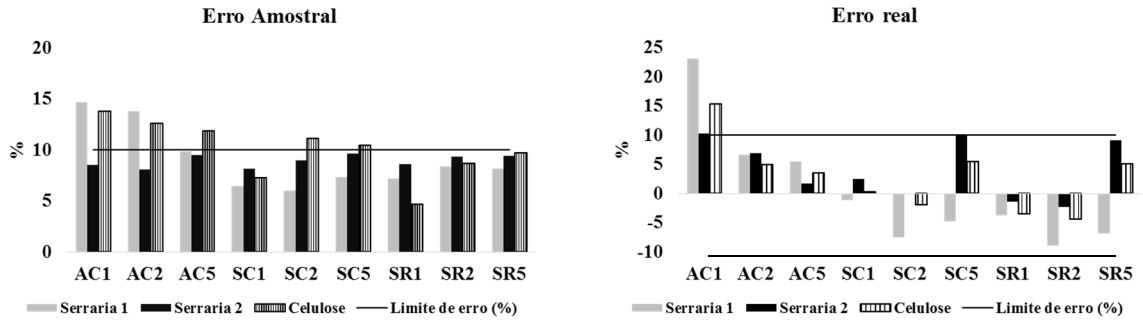
ANEXO 7. Volume comercial para os tratamentos do inventário por amostragem e censo



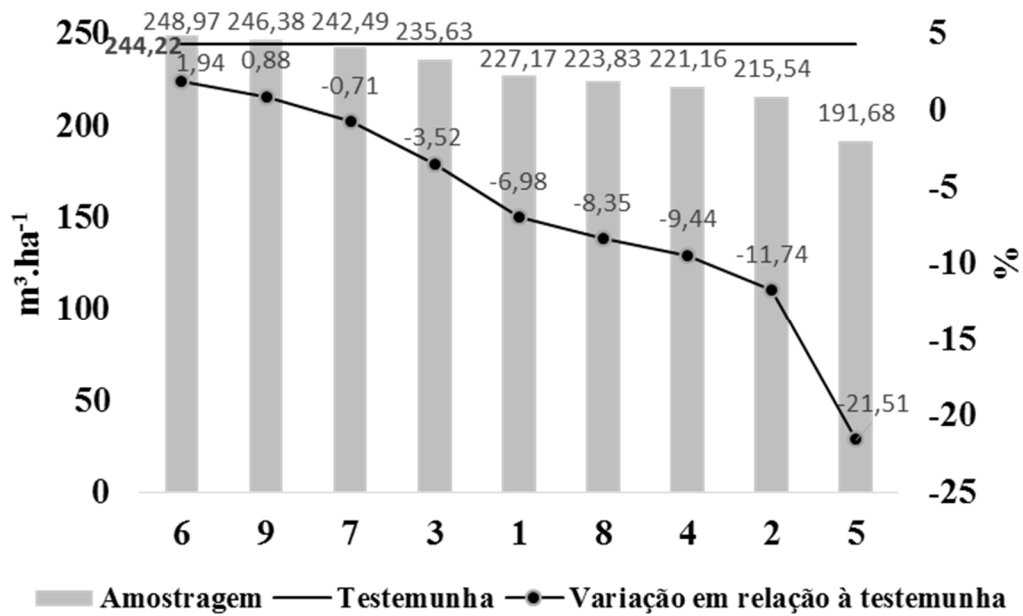
ANEXO 8. Volume comercial médio por sortimento e por tratamento



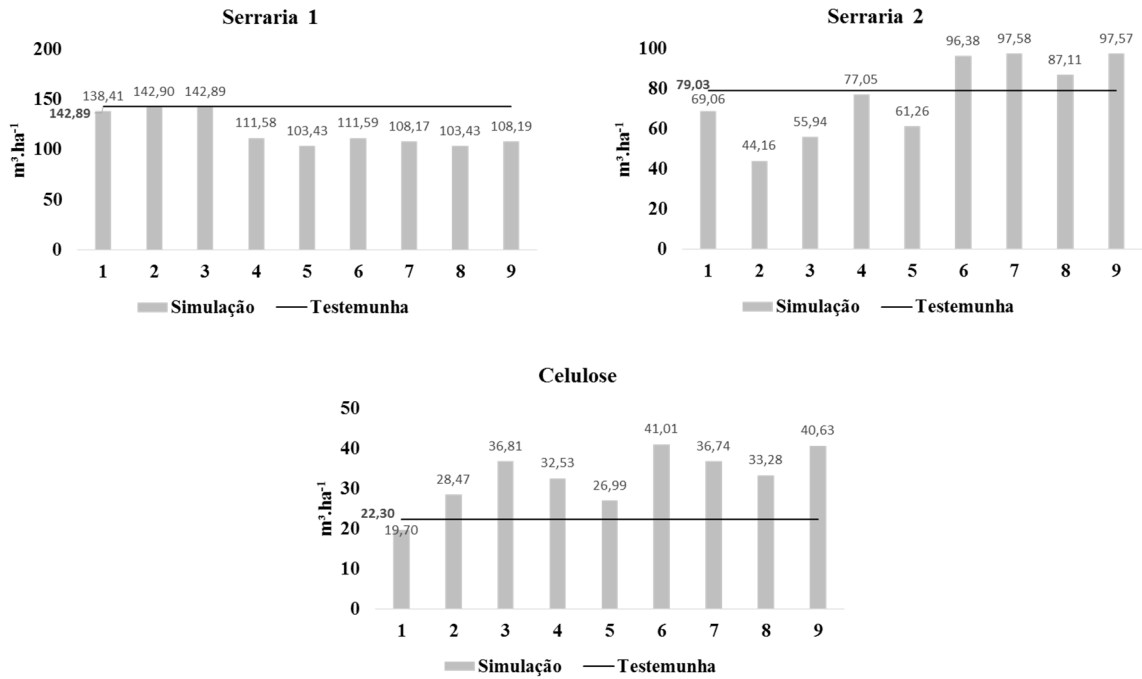
ANEXO 9. Erro amostral e erro real para os sortimentos



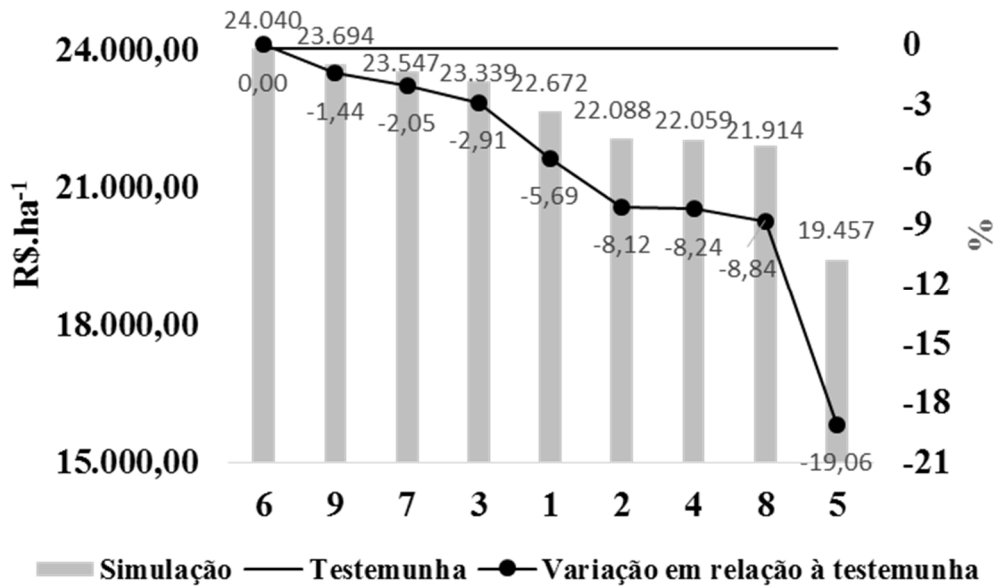
ANEXO 10. Volume comercial (diâmetro mínimo ≥ 8 cm com casca) para os grupos de sortimentos simulados



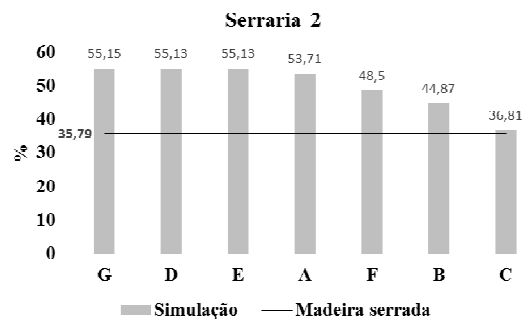
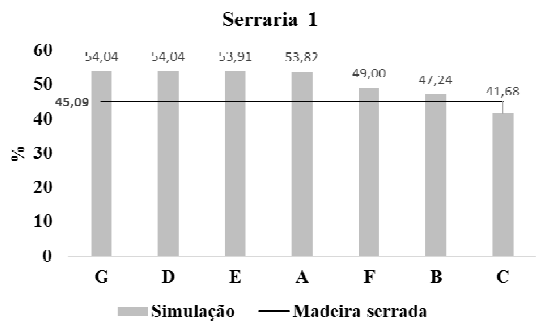
ANEXO 11. Variação do volume comercial por classe de sortimentos para os grupos de sortimentos simulados



ANEXO 12. Receita bruta para diferentes grupos de sortimentos



ANEXO 13. Rendimento de madeira serrada



ANEXO 14. Benefício econômico de madeira serrada

