

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE

**REGIMES DE MANEJO PARA *Hovenia dulcis* Thunb.
EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA COMO
ALTERNATIVA DE CONTROLE E
GERAÇÃO DE RENDAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CARLOS HENRIQUE BOSCARDIN NAUIACK

IRATI - PARANÁ

2015

CARLOS HENRIQUE BOSCARDIN NAUIACK

**REGIMES DE MANEJO PARA *Hovenia dulcis* Thunb. EM FLORESTA OMBRÓFILA
MISTA COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE E GERAÇÃO DE RENDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-oeste, como parte das exigências do Programa de pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof^o. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Orientador

Prof^o. Dr. Julio Eduardo Arce

Coorientador

IRATI - PARANÁ

2015

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

N161r	<p>NAUIACK, Carlos Henrique Boscardin.</p> <p>Regimes de manejo para <i>Hovenia dulcis Thunb.</i> em floresta ombrófila mista como alternativa de controle e geração de rendas / Carlos Henrique Boscardin Nauiack. – Irati, PR : [s.n], 2015. 193f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho Coorientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce</p> <p>Dissertação (mestrado) – Pós-Graduação em Ciências Florestais. Área de Concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná.</p> <p>1.Uva do Japão – dissertação. 2. Espécie exótica invasora. 3. Manejo seletivo otimizado. 4. Floresta com Araucária. 5. Economia – rural. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Arce, Julio Eduardo. III. UNICENTRO. IV. Título.</p> <p>CDD 20 ed. 634.91</p>
-------	--

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

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

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

Campus CEDETEG: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR

Campus de Irati: PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

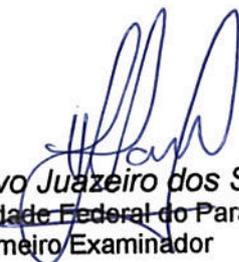
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 79

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir o mestrando **Carlos Henrique Boscardin Naujack** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado “REGIMES DE MANEJO PARA *Hovenia dulcis* Thunb. EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE E GERAÇÃO DE RENDAS”, é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Curitiba-PR, 27 de maio de 2015.



Dr. Anadalvo Juazeiro dos Santos
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador



Dr. Edilson Batista de Oliveira
Embrapa Florestas
Segundo Examinador



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

Aos meus pais, que me ensinaram os valores morais nesta vida.

Aos meus filhos Henrique, Cecília e Mathias pela
felicidade que trazem a minha vida

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus que nós dá o livre-arbítrio para caminharmos na Terra escrevendo a nossa História.

Ao professor Afonso Figueiredo Filho pela orientação deste trabalho, amizade, incentivo e diligência que sempre o caracterizou. Por ser um exemplo de pessoa dedicada e compromissada que tanto contribuí na formação acadêmica e profissional dos estudantes.

Ao professor Artur Lourival da Fonseca Machado pelo tempo disponibilizado para as diversas discussões pertinentes a este trabalho.

Aos demais professor da pós-graduação em Ciências Florestais da Unicentro, pelos conhecimentos transmitidos dentro e fora da sala de aula e, pelo companheirismo construído ao longo dos anos.

A todos os bolsistas do projeto “Imbituvão” que contribuíram na coleta de dados a fim de servir para o manejo e controle da espécie objeto de pesquisa deste trabalho.

Ao Diego Brandes e a Bruna Letícia Roza pelo companheirismo, empenho e dedicação no laborioso trabalho de coleta e leitura dos discos para a Análise de Tronco.

Ao funcionário do projeto “Imbituvão” Sr. Jose Arino Lara pela colaboração direta no manuseio da motosserra, abatendo e retirando os discos das árvores amostradas.

Aos meus colegas de mestrado que me acompanharam durante os últimos anos.

Ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UNICENTRO pela oportunidade do aperfeiçoamento científico.

Aos meus Pais, Carlos Alberto e Carmen, por construírem os meios necessários ao meu pleno desenvolvimento pessoal e profissional.

A minha irmã Juliana, pela amizade, conselhos, apoio e motivação em todos os momentos de minha vida.

Ao meu irmão Carlos Augusto (in memoriam), por ter me mostrado as verdadeiras riquezas desta vida

Ao meu sogro e sogra José e Ilda pelo apoio e suporte transmitido a minha família.

A minha amada esposa, que tornou este trabalho realidade pelo apoio e incentivo ao meu desenvolvimento acadêmico-profissional. Além é claro da paciência, compreensão e carinho para comigo.

A todos o meu sincero reconhecimento e gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE APÊNDICES	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1 ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS	6
3.1.1 <i>Hovenia dulcis</i>	7
3.2 A FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	9
3.3 ESTIMATIVAS DENDROMÉTRICAS EM INVENTÁRIOS FLORESTAIS	11
3.3.1 Estimativa da altura	12
3.3.2 Estimativas volumétricas	13
3.4 MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO.....	14
3.5 USO DA ANÁLISE DE TRONCO NA DETERMINAÇÃO DO CRESCIMENTO	16
3.6 PESQUISA OPERACIONAL PARA A OTIMIZAÇÃO FLORESTAL	18
3.6.1 Modelos globais de Programação linear	20
3.7 MANEJO FLORESTAL	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.1.1 Aspectos gerais.....	25
4.1.2 Localização, aspectos socioeconômicos	26
4.1.3 Caracterização das Propriedades	27
4.1.4 Clima, Vegetação e hidrografia	28
4.2 CENSO FLORESTAL DE <i>Hovenia dulcis</i>	29
4.3 AGRUPAMENTO DAS ÁRVORES LISTADAS NO CENSO EM CLASSES DE DIÂMETRO	31
4.4 ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA	32
4.6 BANCO DE DADOS PARA O AJUSTE DOS MODELOS BIOMÉTRICOS	35
4.7 AJUSTE DOS MODELOS	36
4.7.2 Modelos volumétricos	38
4.7.3 Funções de afilamento	39
4.7.4 Modelagem do crescimento	40
4.7.4.1 Modelagem do crescimento diamétrico com funções globais	41
4.7.4.2 Modelagem do crescimento diamétrico com modelos de árvores individuais	41
4.7.4.3 Modelagem do crescimento em altura com modelos de árvores individuais	42

4.7.4.4 Adaptação dos modelos biométricos com ausência da idade	43
4.8 FLUXOGRAMA DO BANCO DE DADOS E SUAS APLICAÇÕES	47
4.9 AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO QUANTO AO REALISMO BIOLÓGICO.....	47
4.10 DETERMINAÇÃO DO INGRESSO E DA MORTALIDADE	50
4.11 AVALIAÇÃO DO ESTOQUE ATUAL	51
4.11.1 Volume do fuste (serraria e energia) para árvores classificadas no Grupo I	52
4.11.2 Volume dos galhos	54
4.11.3 Valor monetário do estoque atual	56
4.11.4 Geração de padrões ótimos de corte	58
4.11.5 Estoque do carbono	60
4.12 PROPOSTA DE MANEJO FLORESTAL	63
4.12.1.1 Prognose do valor presente individual	66
4.12.1.2 Determinação do horizonte de planejamento	68
4.12.1.3 Determinação da intensidade do corte	69
4.12.1.4 Determinação do ciclo de corte	72
4.12.1.5 Determinação das árvores a serem exploradas.....	72
4.12.1.6 Modelo de programação linear para escolha das árvores exploradas com base no valor presente individual	72
4.12.1.6.1 Função objetivo	74
4.12.1.6.2 Restrições	74
4.13 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO MANEJO (CAM)	76
4.13.1 Critérios técnicos e econômicos	77
4.13.1.1 Valor Presente da Receita (VPR).....	77
4.13.1.2 Volume total e volume serraria (VT e VS)	79
4.13.1.3 Conversão do volume em receita (CVR)	80
4.13.1.4 Eficiência da exploração (EE)	80
4.13.2 Critérios ambientais.....	81
4.13.2.1 Carbono total estocado (CTE)	82
4.13.2.2 Carbono estocado na madeira beneficiada (CEMB)	83
4.13.2.3 Eficiência na conversão do carbono total estocado em carbono estocado na madeira beneficiada (EC).....	83
4.13.2.4 Racionalidade do uso dos recursos (Índice de Equilíbrio – IE).....	84
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
5.1 CENSO FLORESTAL DE <i>Hovenia dulcis</i>	85
5.1.1 Agrupamento em classes de diâmetro.....	86
5.2 AJUSTE DOS MODELOS	90
5.2.1 Modelos Hipsométricos.....	90
5.2.2 Modelos volumétricos	93

5.2.3 Funções de afilamento	95
5.2.4. Modelagem do crescimento diamétrico com funções globais	101
5.2.4.1 Adaptação dos modelos de crescimento em diâmetro com funções globais em função da idade relativa	104
5.2.4.2 Comparação entre os modelos globais em função da idade observada e em função da escala de idades relativas	106
5.2.5 Modelagem do crescimento em diâmetro e altura com modelos de árvores individuais	108
5.2.5.1 Crescimento em diâmetro	108
5.2.5.2 Crescimento em altura	111
5.2.6 Avaliação dos modelos de crescimento em diâmetro quando ao realismo biológico	112
5.3 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INGRESSO E MORTALIDADE	114
5.4 AVALIAÇÃO DO ESTOQUE ATUAL E DETERMINAÇÃO DO PADRÃO ÓTIMO DE CORTE DO FUSTE EM NÍVEL INDIVIDUAL	116
5.4.1 Volume e receita para o componente fuste	116
5.4.3 Volume total e receita total (fuste mais galhos)	124
5.4.4 Padrão ótimo de corte do fuste em nível individual	128
5.4.5 Estoque do carbono	134
5.5 MÉTODO DO MÁXIMO VALOR PRESENTE INDIVIDUAL (MVPI)	137
5.6 PROPOSTAS DE REGIMES DE MANEJO	145
5.6.1 Regime de manejo I - Maximização da receita com ciclos de corte a cada dois anos ($MaxR_2$)	145
5.6.2 Regime de manejo II - Maximização da receita balanceada com ciclos de corte a cada 2 anos ($MaxR_{B_2}$)	150
5.6.3 Regime de manejo III - maximização da receita controlada com ciclos de corte a cada 2 anos ($MaxR_{C_2}$)	151
5.6.4 Regime de manejo IV - maximização da receita com ciclos de corte a cada 3 anos ($MaxR_3$)	152
5.6.5 Regime de manejo V - maximização da receita balanceada com ciclos de corte a cada 3 anos ($MaxR_{B_3}$)	153
5.6.6 Regime de manejo VI - maximização da receita controlada com ciclos de corte a cada 3 anos ($MaxR_{C_3}$)	155
5.6.8 Regime de manejo VIII - maximização da receita balanceada com ciclos de corte a cada 4 anos ($MaxR_{B_4}$)	158
5.6.9 Regime de manejo IX - maximização da receita controlada com ciclos de corte a cada 4 anos ($MaxR_{C_4}$)	159
5.7 AVALIAÇÃO DOS REGIMES DE MANEJO.....	160
5.7.1 Método da maximização da receita	160
5.7.2 Método da maximização da receita balanceada	162
5.7.3 Método da maximização da receita controlada	163
5.7.4 Avaliação da opção: manejar ou erradicar a espécie	165
6. CONCLUSÕES	167

7. RECOMENDAÇÕES	170
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos testados para estimar altura total (m)	37
Tabela 2. Modelos matemáticos testados para estimar o volume total com casca.	38
Tabela 3. Modelos matemáticos testados para expressar o perfil longitudinal do tronco e estimar o sortimento volumétrico.	39
Tabela 4. Modelos matemáticos para a avaliação do crescimento e produção.....	41
Tabela 5. Modelos de árvores individuais para projetar o crescimento em diâmetro.....	42
Tabela 6. Modelos individuais para projetar o crescimento em altura (m).	43
Tabela 7. Metodologia utilizada na determinação da escala de idades relativas com dados de duas árvores amostradas pela ANATRO.	46
Tabela 8. Exemplo da metodologia utilizada na determinação do incremento médio por classe de diâmetro (IMC) com dados para uma árvore amostrada pela ANATRO.	49
Tabela 9. Classes de sortimento para as árvores pertencentes ao grupo I*.....	59
Tabela 10. Dados parciais do Boletim de Preços Mínimos de Mercado, Portaria SEFA nº 05, de 27 de janeiro de 2015.....	64
Tabela 11. Estatísticas dos dados de diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura na base da copa das árvores de <i>Hovenia dulcis</i> no censo florestal.	85
Tabela 12. Classificação em grupos de usos da madeira das árvores listadas no censo florestal.	86
Tabela 13. Distribuição em classes de diâmetro (DAP) para os dados do censo de <i>Hovenia dulcis</i>	86
Tabela 14. Distribuição em classes de diâmetro para os Grupos de usos da madeira I e II.....	87
Tabela 15. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a altura total com respectivos coeficientes de determinação ajustado (R^2_{adj}), erro padrão de estimativa ($S_{yx}\%$).	91
Tabela 16. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar o volume total do fuste com casca.	93
Tabela 17. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar os diâmetros com casca ao longo do fuste.	96
Tabela 18. Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar os diâmetros com casca nas seguintes alturas: 2,3; 6,3 e 10,3 m.	98
Tabela 19. Estatísticas dos modelos de afilamento testados para estimar os volumes parciais e total com casca.....	100
Tabela 20. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos globais testados para estimar o crescimento em diâmetro (cm).	101
Tabela 21. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos globais testados para estimar o crescimento em diâmetro (cm) em função da idade relativa.....	104
Tabela 22. Comparação entre as estatísticas das duas metodologias de ajuste dos modelos globais para estimar o crescimento em diâmetro (cm).....	106
Tabela 23. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos individuais testados para estimar o crescimento em diâmetro (cm).	109

Tabela 24. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar o crescimento em altura (m).....	111
Tabela 25. Erro percentual absoluto e erro percentual absoluto médio na avaliação quanto ao IMC.....	113
Tabela 26. Dados do inventário utilizados no cálculo do ingresso e da mortalidade entre 2011 e 2014.	115
Tabela 27. Ingresso, mortalidade e colhidas em relação a quantidade total inicial de árvores e por espécie.....	116
Tabela 28. Distribuição em classes de diâmetro dos volumes e das receitas: total, serraria e energia.	117
Tabela 29. Distribuição do volume e da receita total em classes de diâmetro para o componente galhos.	122
Tabela 30. Distribuição em classes de diâmetro do volume e da receita total para o componente fuste e galhos.	124
Tabela 31. Dados para 17 árvores que representam os padrões ótimos de corte do fuste em nível individual.	129
Tabela 32. Número de toras e seus respectivos volumes para as classes de diâmetros correspondentes ao comprimento das toras.....	131
Tabela 33. Distribuição em classes de diâmetro do estoque de carbono total, do estoque de carbono no volume serraria do fuste otimizado e do estoque de carbono na madeira beneficiada.	135
Tabela 34. Projeções do crescimento em diâmetro (DAP) para 10 anos das árvores com DAP entre 10 e 13 cm no ano zero do horizonte de planejamento (HP).	138
Tabela 35. Projeções do crescimento em diâmetro (DAP) para 10 anos das árvores com DAP maior do que 37 cm.....	139
Tabela 36. Projeções do crescimento em altura (m) para as árvores com DAP entre 10 cm e 13 cm no ano zero do HP.....	140
Tabela 37. Projeções do crescimento em altura (m) para as árvores com DAP maior do que 37 cm.....	141
Tabela 38. Exemplo da determinação do diâmetro (di) em centímetros na altura da base da copa ao longo de 10 anos.	142
Tabela 39. Exemplo da determinação do comprimento do fuste igual ou superior a 3 m com diâmetro mínimo de 18 cm.....	143
Tabela 40. Estimativa do valor presente individual (R\$) ao longo de 10 anos.	144
Tabela 41. Resultados do primeiro corte (2° ano) para o regime de manejo MaxR com ciclos de corte a cada dois anos.	146
Tabela 42. Resultados do regime de manejo MaxR com ciclos de corte a cada 2 anos.	147
Tabela 43. Resultados dos critérios técnicos-econômicos para o regime de manejo MaxR com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.	160
Tabela 44. Resultados dos critérios ambientais para o regime de manejo MaxR com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.	161
Tabela 45. Resultados dos critérios técnicos-econômicos para o regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.	162
Tabela 46. Resultados dos critérios ambientais para o regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.....	163

Tabela 47. Resultados dos critérios técnicos-econômicos para o regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.	164
Tabela 48. Resultados dos critérios ambientais para o regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.	165
Tabela 49. Resultados da diferença entre os valores obtidos nos regimes de manejo quando comparados ao estoque atual para três critérios: Receita total, Volume total, Volume Serraria.	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reação das árvores aos fatores ambientais registrada nos anéis de crescimento anuais.	17
Figura 2. Localização do município de Fernandes Pinheiro, estado do Paraná.	27
Figura 3. Distribuição por classe das áreas das propriedades (a) e das áreas dos remanescentes florestais (b), em porcentagem.....	28
Figura 4. Representação do caminhamento empregado para a realização do censo florestal de <i>Hovenia dulcis</i>	29
Figura 5. Anéis de crescimento de <i>Hovenia dulcis</i>	34
Figura 6. Fluxograma do banco de dados e suas aplicações.	47
Figura 7. Sortimento do volume do fuste.	53
Figura 8. Distribuição da frequência absoluta para <i>Hovenia dulcis</i>	88
Figura 9. Distribuição da frequência relativa dos Grupos I e II.	89
Figura 10. Distribuição dos resíduos (%) para os modelos hipsométricos testados.	92
Figura 11. Distribuição dos resíduos (%) para os modelos volumétricos	95
Figura 12. Distribuição dos diâmetros (di) observados e a curva média ajustada do afilamento dos troncos de <i>Hovenia dulcis</i>	97
Figura 13. Curva média dos modelos biológicos em relação aos dados observados.....	102
Figura 14. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca.	103
Figura 15. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca.	105
Figura 16. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca entre os diferentes métodos de ajuste.	107
Figura 17. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca.	110
Figura 18. Distribuição dos resíduos (%) para a estimativa da altura total.	112
Figura 19. Relação existente entre o volume médio individual (m ³) do fuste e a receita média individual (R\$) em classes de diâmetro.....	118
Figura 20. Comportamento da produção total, serraria e energia para o componente fuste por classe diamétrica, em porcentagem.....	119
Figura 21. Comportamento da receita total, serraria e energia para o componente fuste por classe diamétrica, em porcentagem.....	120
Figura 22. Comportamento do volume total em porcentagem para o componente galhos por classes diamétricas.	123
Figura 23. Relação existente entre o volume médio individual (m ³) e a receita média individual (R\$).	123
Figura 24. Comportamento das curvas inerentes à receita total, serraria e energia em relação ao volume total.	125
Figura 25. Relação existente entre a receita média individual e o volume médio individual total, volume médio individual dos galhos e volume médio individual do fuste.	126

Figura 26. Relação entre a frequência observada, o volume serraria otimizado e o aproveitamento da altura total, em porcentagem.	132
Figura 27. Relação entre quantidade e volume das toras por classes de produtos, em porcentagem.	134
Figura 28. Relação entre a frequência observada e o carbono total, do volume serraria otimizado e da madeira beneficiada, em porcentagem	136
Figura 29. Relação entre o carbono total, do volume serraria otimizado e da madeira beneficiada, em toneladas.	137
Figura 30. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR2	149
Figura 31. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR_B2.....	150
Figura 32. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR_C2.....	152
Figura 33. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR3	153
Figura 34. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR_B3.....	154
Figura 35. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR_C3.....	155
Figura 36. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR4.	157
Figura 37. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR_B4.....	158
Figura 38. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR_C4.....	159

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1. Projeções do ICA e do IMA para as árvores com DAP entre 10 cm e 13 cm no ano zero do HP.	182
Apêndice 2. Projeções do ICA e do IMA para as árvores com DAP maior do que 37 cm no ano zero do HP.	182
Apêndice 3. Dinâmica do ingresso para o horizonte de planejamento e para a floresta regulada com ciclos de corte a cada 2 anos independentemente do método.	183
Apêndice 4. Resultados do regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte a cada 2 anos.	184
Apêndice 5. Resultados do regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte a cada 2 anos.	185
Apêndice 6. Resultados do regime de manejo MaxR com ciclos de corte a cada 3 anos.	186
Apêndice 7. Dinâmica do ingresso para o horizonte de planejamento e para a floresta regulada com ciclos de corte a cada 3 anos independentemente do método.	187
Apêndice 8. Resultados do regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte a cada 3 anos.	188
Apêndice 9. Resultados do regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte a cada 3 anos.	189
Apêndice 10. Resultados do regime de manejo MaxR com ciclos de corte a cada 4 anos.	190
Apêndice 11. Dinâmica do ingresso para o horizonte de planejamento e para a floresta regulada com ciclos de corte a cada 4 anos independentemente do método.	191
Apêndice 12. Resultados do regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte a cada 4 anos.	192
Apêndice 13. Resultados do regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte a cada 4 anos.	193

RESUMO

Carlos Henrique Boscardin Nauaiack. Regimes de manejo para *Hovenia dulcis* Thunb. em Floresta Ombrófila Mista como alternativa de controle e geração de rendas.

A espécie exótica invasora *Hovenia dulcis*, comumente conhecida no Brasil como uva-do-japão é uma contaminante de diferentes fitofisionomias no Sul do Brasil como: a Floresta Ombrófila Mista (FOM), Floresta Estacional Semidecidual e a Estepes Gramíneo-Lenhosa. Por ameaçar o equilíbrio natural das comunidades biológicas e os recursos genéticos do país, mecanismos de controle desta espécie devem ser buscados, a fim de se estabelecer estratégias conjuntas de mitigação dos impactos adversos causados nos ecossistemas, seja pela erradicação, controle ou monitoramento da invasão. No presente trabalho foram desenvolvidas propostas de manejo para *Hovenia dulcis* sob regeneração natural em fragmentos de FOM na região Centro-Sul do Paraná, visando o controle da espécie e a geração de renda aos proprietários rurais. Para isto, enumerou-se todos os indivíduos da espécie presentes nos fragmentos florestais localizados em 16 propriedades rurais. No total 904 árvores acima de 10 cm de DAP foram enumeradas e formaram o conjunto de árvores objeto do manejo. As árvores foram agrupadas em classes de diâmetro a fim de servir principalmente para a quantificação do estoque atual (ano de medição - 2012) e para determinar as árvores amostradas pela análise de tronco completa. Para o estoque atual determinou-se os padrões ótimos de corte dos fustes (volume serraria) de maneira individual, com o objetivo de maximizar o comprimento do fuste utilizável. O processo de otimização gerou um aproveitamento médio do fuste com dimensões para serraria de 96,36% e um volume para serraria total de 105,63 m³, pouco menos de um terço do volume total de 357,3 m³. Na elaboração das propostas de manejo utilizou-se como ferramenta modelos dendrométricos (hipsométricos, volumétricos e de afilamento) e biométricos (modelos de crescimento globais e modelos de árvores individuais) ajustados em função da idade observada ($d = f(I)$) e em função de uma escala de idades relativas ($d = f(IR)$). O banco de dados para o ajuste dos modelos dendrométricos contou com 80 árvores cubadas e, os modelos biométricos foram ajustados com 40 árvores amostradas pela técnica da análise de tronco completa. Os modelos ajustados apresentaram resultados adequados e coerentes quando comparados aos normalmente obtidos para as espécies que crescem em florestas nativas. Os modelos biométricos ajustados em função da escala de idades relativas geraram resultados superiores com R^2_{adj} de 0,82 e $S_{xy}\%$ de 14,5 quando comparados ao ajuste em função da idade

observada, que apresentou R^2_{adj} de 0,59 e $Syx\%$ de 22,1. As propostas de manejo basearam-se em 3 métodos que, de diferentes formas buscam a maximização da receita, sendo a seleção das árvores determinada de acordo com a projeção do valor presente individual ao longo do horizonte de planejamento. Os métodos aplicados foram: maximização da receita (*MaxR*), maximização da receita balanceada (*MaxR_B*) e maximização da receita controlada (*MaxR_C*). Para cada um dos métodos simulou-se três variações no ciclo de corte (2, 3 e 4 anos) por meio do desenvolvimento e resolução do algoritmo de programação linear específico para o método. Em razão da diferença entre os objetivos finais de cada método, a avaliação foi realizada para os três diferentes ciclos de corte. Utilizou-se critérios técnicos e ambientais na avaliação do melhor ciclo de corte para cada método. O ciclo de corte a cada 2 anos foi superior nos critérios técnicos-econômicos para dois métodos (*MaxR* e *MaxR_B*). Por outro lado, o ciclo de corte a cada 4 anos foi superior nos critérios ambientais para todos os métodos. As propostas de manejo geraram resultados muito superiores quando comparadas aos resultados de uma exploração visando a erradicação no ano zero. As opções de manejo com a maior receita total e com o maior volume total quando comparadas com os resultados do estoque atual foram superiores em 44 e 60%, para a receita e volume total, respectivamente. Ao final, todas as propostas de manejo cumpriram com o principal objetivo inicialmente estabelecidos nesta pesquisa

Palavra Chave: espécies exóticas invasoras, uva-do-japão, manejo seletivo otimizado, Floresta com Araucária.

ABSTRACT

Carlos Henrique Boscardin Nauiack. Management for *Hovenia dulcis* Thunb. at Mixed Ombrophylous Forest as an alternative of control and income generation.

The exotic invasive specie *Hovenia dulcis*, is a contaminant of different vegetation types in southern Brazil such as: the Mixed Ombrophylous Forest (MOF), Semideciduous Forest and Grassy-Woody Steppe. Due to the threats for the natural balance of the biological communities and for the genetic resources of the country, control mechanisms of *Hovenia dulcis* must be sought in order to establish strategies to mitigate the adverse impacts on ecosystems. In this work were developed *Hovenia dulcis* management proposals under natural regeneration in MOF fragments in the South Central region of Paraná State, aiming to control the specie and at the same time generate income to landowners. For this, were enumerated all individuals of the trees (100% inventory) present in the forest fragments of 16 different landowners. In total 904 trees above 10 cm DBH were listed and formed the set of trees to be managed. The trees were grouped into diameter classes in order to serve mainly for the quantification of the current stock (measurement year - 2012) and for determined the trees sample for the complete stem analysis. For the current stock was determined the optimum cutting patterns of the stems individually (sawmill volume), in order to maximize the usable length of the stem. The optimization process generated an average use of the stem of 96.36% and a total volume for sawmill of 105.63 m³, just under a third of the total volume of 357,3 m³. During the development of the management proposals dendrometric models (hypsometric, volumetric and stem taper) and biometric (global growth models and models for individual trees) were used as tool, adjusted by two different methods: observed age (known age) ($d = f(a)$) and according to a scale of relative age ($d = f(ra)$). The database for the dendrometric models adjustment included 80 trees cubed and the biometric models were adjusted with 40 trees sampled by stem analysis technique. The adjusted models had appropriate and consistent results when compared with those usually obtained for species growing in native forests. The biometric models adjusted in function of relative age generated superior results with R²adj of 0.82 and Sxy% of 14.5 when compared to the adjustment by the know age method, which presented R²adj of 0.59 and Syx% of 22.1. Management proposals were based upon three different methods that aim to maximize revenue, with the selection of trees according to the projection of individual economic value over the

planning horizon. The methods applied were: revenue maximization (MaxR), balanced revenue maximization (MaxR_B) and controlled revenue maximization (MaxR_C). For each of the three methods were simulated three different cutting cycle (2, 3 and 4 years), through the development and resolution of a specific linear programming algorithm per method. Because of the difference between the objectives of each method, an evaluation was performed for the three different cutting cycles. It was used technical and environmental criteria in assessing the best cutting cycle for each method. The cutting cycle every 2 years was superior for the technical criteria in two methods (MaxR and MaxR_B). On the other hand, the cutting cycle every 4 years was superior in environmental criteria for all methods. Those management proposals generated much better results when compared to results of a total harvest aimed the specie eradication in the year zero. The management options with the highest revenue and the largest total volume when compared with the result of the current stock was higher by 44 and 60%, for revenue and total volume, respectively. At the end, all management proposals fulfilled the main objectives initially set for this research.

Keywords: invasive exotic species, japanese raisin tree, optimized selective management, Araucaria Forest.

1. INTRODUÇÃO

As espécies exóticas invasoras são consideradas um problema ambiental no Brasil e no mundo principalmente pelo grande impacto que causam sobre a biodiversidade dos ecossistemas, sobre a economia e sobre a saúde humana, havendo diferentes situações para cada país. Ao serem disseminadas estas espécies acabam por dominar os ecossistemas, oferecendo riscos ao equilíbrio destes locais devido a pressão exercida sobre as espécies nativas. Por ameaçarem as comunidades biológicas e os recursos genéticos dos países, as espécies exóticas invasoras recebem uma atenção especial por parte das nações afetadas, a fim de se estabelecer estratégias conjuntas de mitigação dos impactos adversos causados nos ecossistemas, seja pela erradicação, controle ou monitoramento da invasão.

O estado do Paraná possui diversas espécies exóticas invasoras que por sua vez são regulamentadas por meio da Portaria IAP¹ n° 125, de 07 de agosto de 2009, que reconhece a lista oficial de espécies exóticas invasoras. Na lista, dentre outras diversas espécies da flora, encontra-se *Hovenia dulcis*, comumente conhecida como uva-do-japão. Segundo a mesma Portaria, é uma espécie contaminante da Floresta Ombrófila Mista (FOM), Floresta Estacional Semidecidual e Estepes Gramíneo-Lenhosa e enquadra-se na categoria II: “Espécies utilizadas em sistema de produção e com valor comercial, que podem ser criadas ou cultivadas em condições controladas sob regulamentação específica” (Portaria IAP n° 125, de 07 de agosto de 2009, p.3).

Dada a importância do assunto para o estado do Paraná, foi criado em 2008 pelo IAP o “Programa estadual para espécies exóticas invasoras do estado do Paraná”, que descreve o manejo das espécies invasoras como parte fundamental na estratégia de conservação da biodiversidade, que por sua vez demanda um tratamento multidisciplinar e integrado. Entretanto, apesar da elaboração deste documento que mostra a percepção do Estado para com a problemática das espécies exóticas invasoras, ações que visam mitigar os danos causados por estas espécies são pouco eficazes.

Além da *Hovenia dulcis* estar oficialmente na lista de espécies exóticas invasoras, existem estudos científicos que comprovam a presença da espécie no interior da FOM, como os trabalhos realizados por Schaaf et al. (2006) e Figueiredo Filho et al. (2013). É também de

¹ Instituto Ambiental do Paraná

conhecimento popular a presença desta espécie em diversas regiões nos Estados do Sul do Brasil em especial no região Centro-Sul do Paraná.

Schaaf et al. (2006) analisaram as alterações florístico-estruturais de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana no município de São João do Triunfo, Paraná, entre os anos de 1979 e 2000. Constataram que a uva-do-japão não apresentava indivíduos acima de 20 cm de diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) no primeiro levantamento. Na segunda avaliação, em 2000, foi constatado oito indivíduos no total com DAP acima de 20 cm. Os mesmos autores relatam que o número de indivíduos da espécie exótica que ingressou no sistema foi bastante representativo e, em muitos casos superou diversas espécies nativas com relação a participação na estrutura da floresta. Além disto, observou-se nos levantamentos que em determinados locais havia uma enorme quantidade de indivíduos da espécie regenerando-se naturalmente, fato que, segundo o autor, pode configurar uma possível contaminação biológica.

Outro levantamento realizado em fragmentos da Floresta Ombrófila Mista, neste caso em pequenas propriedades rurais na região Centro-Sul do Paraná, mostrou a forte presença de *Hovenia dulcis* no interior dos remanescentes florestais. No levantamento foram encontradas 6,61 árvores.ha⁻¹, valor bastante elevado tendo em vista que se trata de uma espécie exótica, podendo, inclusive, ser comparada a espécies expressivas deste ecossistema, como a *Ilex paraguariensis* A. St.-Hill. (Erva-mate), que apresentou 6,72 árvores.ha⁻¹ ou com a *Ocotea puberula* (Rich.) Nees (Canela-guaicá), que na época possuía 6,95 árvores.ha⁻¹ (FIGUEIREDO FILHO et al., 2013).

A região Centro-Sul do Paraná possui grande parte dos remanescentes de florestas nativas do Estado, as quais, devido à forma como foram exploradas no passado, encontram-se bastante degradadas, situação que gerou ambientes desequilibrados que, juntamente com os atributos da espécie, favoreceram a invasão pela *Hovenia dulcis*. Por estes motivos, de modo geral, observa-se na FOM uma tendência de expansão da invasão desta espécie nos remanescentes florestais existentes.

Observa-se atualmente apesar de mais vagaroso que outrora, a paulatina degradação e diminuição dos remanescentes da FOM que restaram. Um dos motivos que explicam esta situação é o resultado da própria legislação proibitiva imposta aos proprietários rurais, sobretudo aos pequenos e médios produtores, que por não obterem nenhuma renda proveniente da floresta, enxergam-na como um grande inimigo que impede, devido à restrição de espaço, a busca por resultados financeiros que proporcionariam uma potencial melhora em suas

condições de vida. Sem dúvida este panorama contribui fortemente para a situação em que se encontra a uva-do-japão nas florestas nativas.

De acordo com Nutto (2001), a proibição do uso acarreta na desvalorização de qualquer bem, seja ele um recurso natural ou um bem de consumo. Esta situação gera a perda de interesse na conservação da floresta e como consequência disto, observa-se a degradação paulatina dos poucos remanescentes florestais existentes. Por este motivo, formas de manejo que consideram de maneira integrada o retorno econômico e a conservação do meio-ambiente normalmente são mais eficientes para a sustentabilidade do sistema.

Diferente das espécies nativas de maior interesse econômico, a uva-do-japão, segundo alguns critérios, tem seu corte permitido e incentivado pelo IAP, órgão ambiental responsável pela gestão das florestas nativas no estado do Paraná. Esta é de fato a única ação concreta do órgão ambiental no sentido de mitigar os efeitos da expansão da espécie sobre os remanescentes florestais. O objetivo maior da permissão do corte é o controle e a diminuição da capacidade de dispersão da espécie. No entanto, a permissão de corte como ação única e exclusiva no controle da espécie tende a ser pouco eficaz, pois a mesma ação transfere toda responsabilidade ao proprietário rural ficando a cargo do mesmo cortar ou não as árvores. Sendo que a responsabilidade quando se pensa o meio ambiente como bem comum, deve ser de todos, inclusive do poder público, que pode e deve instituir mecanismos para a promoção da proteção e conservação dos recursos naturais.

No caso da uva-do-japão, um dos mecanismos que poderiam contribuir diretamente para a manutenção do equilíbrio das florestas é o estabelecimento de ações conjuntas e coordenadas com os órgãos de pesquisa e extensão rural, que respectivamente, contribuiriam com o estudo e a disseminação de técnicas de manejo, considerando a espécie, apesar de exótica invasora, uma fonte de recurso florestal com potencial para gerar fluxos de madeira regulares e constantes. Tendo como princípio a promoção da geração de renda e da melhoria na qualidade de vida da população rural e, acima de tudo, buscando a conservação ambiental.

Devido à grande complexidade em se trabalhar simultaneamente com diversas espécies, a seleção de uma espécie ou de um grupo de espécies com características desejadas, pode ser uma alternativa técnica-científica mais simplificada para o manejo em florestas inequiânias, seja uma espécie nativa ou uma espécie exótica, como é o caso da uva-do-japão. A colheita de maneira seletiva de indivíduos singulares, com um determinado diâmetro objetivo, é uma prática que pode ser adotada, desde que existam informações da espécie, como, por exemplo,

de crescimento (NUTTO, 2001). Outra forma de seleção dos indivíduos a serem explorados poderia estar vinculada à análise do valor presente de cada árvore no ato do corte, assim os indivíduos com maior retorno econômico em cada ciclo de corte deveriam ser os explorados.

A presença da uva-do-japão em grandes quantidades em diversas regiões do estado do Paraná torna, operacionalmente, inviável a erradicação da mesma. Em se tratando de uma espécie exótica invasora com presença maciça de indivíduos localizados no interior dos remanescentes florestais, sobrepujando muitas outras espécies nativas, a situação requer uma atenção especial. Desta forma, entende-se necessário a realização de estudos técnicos sobre a espécie, visando desenvolver um modelo de manejo, que busque ao mesmo tempo o equilíbrio ecológico das florestas nativas com o controle da espécie exótica e a geração de renda aos proprietários rurais, advinda da exploração das árvores, dando inclusive cumprimento à Legislação Ambiental. O modelo de manejo postulado deveria seguir os princípios básicos da sustentabilidade e, portanto, capaz de integrar os aspectos ambientais, sociais e econômicos.

No presente trabalho foram pesquisados os mecanismos necessários para que os recursos da espécie estudada possam ser utilizados a longo prazo, procurando minimizar os problemas de redução da biodiversidade e, principalmente, sem que a finalidade de conservação da floresta seja violada, incluindo a população rural e suas necessidades.

2. OBJETIVOS

Desenvolver modelos de manejo florestal para a espécie exótica invasora *Hovenia dulcis* sob regeneração natural na FOM na região Centro-Sul do Paraná, como alternativa de controle da espécie e geração de renda para os proprietários rurais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Censo dos indivíduos de *Hovenia dulcis*;
- b) Reconstituir o crescimento passado utilizando as técnicas de análise de tronco;
- c) Ajustar modelos hipsométricos;
- d) Ajustar modelos volumétricos e funções de afilamento para estimar o estoque volumétrico e o sortimento;
- e) Ajustar modelos de crescimento e produção;
- f) Determinar a taxa de ingresso e mortalidade;
- g) Avaliar o estoque atual e determinar o padrão ótimo de corte dos fustes em nível individual;
- h) Desenvolver modelos de programação linear para as alternativas de manejo;
- i) Desenvolver e avaliar modelos de manejo sustentável para a espécie.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS

Marchante e Marchante (2008) relataram que as espécies invasoras possuem como característica fundamental a capacidade de aumentar as suas populações e distribuição sem a intervenção antrópica, com tamanha eficiência que podem ser uma ameaça à biodiversidade, produção de alimentos e para a saúde dos seres humanos. Para possuir este comportamento as espécies invasoras geralmente possuem um rápido crescimento e grande capacidade de dispersão, com sementes ou frutos atrativos a fauna local, além de serem mais eficientes na competição pelos recursos do que as espécies nativas.

A maioria das espécies exóticas não resiste ao período de introdução, poucas conseguem naturalizar-se, e só uma pequena porcentagem se torna invasora. A expansão das espécies exóticas invasoras não depende apenas dos atributos da espécie, mas também das alterações e perturbações nos ecossistemas, que por sua vez criam espaços vazios, gerando excelentes oportunidades para a invasão (MARCHANTE e MARCHANTE, 2008).

De acordo com a Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB:

As espécies exóticas invasoras são organismos que, introduzidos fora da sua área de distribuição natural, ameaçam ecossistemas, habitats ou outras espécies. Possuem elevado potencial de dispersão, de colonização e de dominação dos ambientes invadidos, criando, em consequência desse processo, pressão sobre as espécies nativas e, por vezes, a sua própria exclusão (Decreto Legislativo nº 2, de 1994).

Em razão da importância do tema relativo às espécies exóticas invasoras para o País foi aprovada a Resolução CONABIO² nº. 05, de 21 de outubro de 2009 que dispõe sobre a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras. Diversas considerações foram elencadas para a aprovação da Resolução, duas delas são citadas a seguir:

Considerando que as espécies exóticas invasoras estão assumindo no Brasil grande significado como ameaça real à biodiversidade, aos recursos genéticos e à saúde humana, ameaçando a integridade e o

²Comissão Nacional de Biodiversidade – Ministério do Meio Ambiente

equilíbrio dessas áreas, e causando mudanças, inclusive, nas características naturais das paisagens;

Considerando que em razão da complexidade dessa temática, as espécies exóticas invasoras envolvem uma agenda bastante ampla, com ações intersetoriais, interinstitucionais e multidisciplinares, onde ações de prevenção, erradicação, controle e monitoramento são fundamentais e exigem o envolvimento e a convergência de esforços dos diferentes órgãos dos governos federal, estadual e municipal envolvidos no tema, além do setor empresarial e das organizações não-governamentais;

A Resolução do CONABIO tem abrangência em nível Federal e é considerada a legislação mais importante sobre o tema no país e, contém todas as diretrizes de base para o controle das espécies exóticas invasoras, inclusive, detalha como diretriz geral a Pesquisa e o Monitoramento, com o objetivo de desenvolver conhecimento para o combate ao problema proporcionado pela invasão.

3.1.1 *Hovenia dulcis*

Hovenia dulcis pertence à família Rhamnaceae endêmica do leste da Ásia. Ocorre naturalmente no Japão, Coreia, leste da China até o Himalaia em altitude máxima próxima a 2.000 m, cresce adequadamente em situações de exposição direta ao sol em solos arenosos ou argilosos. É cultivada em plantações na China e considerada invasora de florestas tropicais na América do Sul e Tanzânia, em diversos países como EUA, Austrália, Nova Zelândia e África Central foi introduzida como espécie ornamental (HYUN et al. 2010).

Segundo Carvalho (1994), na China, *Hovenia dulcis* compõem ocasionalmente o estrato intermediário das florestas de carvalho, em altitudes de 165 e 1.350 m, com precipitação em torno de 850 a 2.000 mm, com chuvas concentradas no verão e temperatura média anual de 7° a 17°C.

Na Ásia, a muitos anos *Hovenia dulcis* é tradicionalmente utilizada como planta medicinal no tratamento de doenças do fígado e desintoxicação após a ingestão de bebidas alcoólicas. Na antiga medicina chinesa esta espécie foi muito utilizada no tratamento de diversas doenças (AN SW et al. 1999). Nos países Asiáticos a espécie é muito estudada com relação às suas propriedades medicinais, farmacologias e fitoquímicas.

No Brasil a espécie recebe diversos nomes dependendo da região como: uva-do-japão, passa-japonesa, tripa-de-galinha, banana-do-japão, caju-do-japão, entre outros. De acordo com

Carvalho (1994), fora da região de ocorrência natural, esta espécie se encontra na Argentina, Paraguai e no Brasil. No sul do Brasil foi difundida largamente, em pequenos talhões de cultivo ou de forma isolada. Há mais de trinta anos, em municípios da região Centro-Sul do Paraná, esta espécie era difundida pelas empresas produtoras de tabaco, com o objetivo da produção de lenha para os fornos de secagem.

A uva-do-japão é uma árvore caducifólia, apresenta anéis anuais de crescimento, de porte médio, com copa globosa e ampla, comumente possui de 10 a 15 metros de altura e 20 a 40 cm de DAP, podendo atingir 25 m de altura e 50 cm ou mais de DAP no sul do Brasil. Seu crescimento é bastante variado atingindo $30 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (CARVALHO, 1994). Segundo Koller e Alexander III (1979) na China a espécie pode chegar a 23 m de altura e mais de 70 cm de DAP.

De acordo com Rigatto et al. (2001) a madeira é considerada moderadamente pesada ($0,50$ a $0,72 \text{ g/cm}^3$), apresenta as seguintes características: alburno amarelo; cerne variando de amarelo a castanho-escuro ou vermelho; brilho opaco a mediano; sem cheiro; textura fina a homogênea; grã direita; madeira resistente; mediamente tenaz e elástica; trabalhabilidade boa dando superfícies lisas e brilhantes. Pelas características descritas pode ser empregada em obras de marcenaria e carpintaria e, construção civil (vigas, caibros, forro e assoalho).

Carvalho (1994) relata que a uva-do-japão tolera bem a geadas no período de dormência (inverno), são menos tolerantes a geadas tardias quando a planta começa a formar folhagem no início da primavera, frios forte retardam o ritmo de crescimento. O mesmo autor define o hábito de crescimento como monopodial com boa forma de fuste e, com derrama natural.

Cozzo (1960) descreve que na Argentina a frutificação ocorre a partir de 4 a 5 anos em plantios. No Estado do Rio Grande do Sul a frutificação ocorre a partir de 3 a 4 (CARMINATTI, 1992). No Brasil o florescimento ocorre de agosto a fevereiro e apresenta frutos maduros de março a outubro.

Como característica das espécies invasoras, e sobremaneira a uva-do-japão, a grande produção de frutos atrativos à avifauna (distribuição zoocórica) é um dos motivos principais da disseminação e invasão em várias regiões do Brasil, inclusive na Floresta Ombrófila Mista.

O documento intitulado “Programa Global de Espécies Invasoras” publicado em 2005, descreve a uva-do-japão como espécie exótica extremamente invasora em ecossistemas florestais de clima úmido e como uma ameaça à biodiversidade na bacia do Rio Uruguai, entre o Brasil, a Argentina, o Uruguai e o Paraguai. Além disto, o documento descreve que a espécie,

ao desalojar espécies da floresta nativa, promove alterações da cadeia alimentar, alimentar, que resultam em um ciclo vicioso que atinge toda a comunidade florestal e, em última estância pode levar à redução da biodiversidade.

3.2 A FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A FOM, também conhecida como Floresta com Araucárias, localiza-se no Bioma Mata Atlântica, definido pela Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. A denominação resulta da mistura de floras de diferentes origens que ocorrem simultaneamente, sendo definido por padrões fitofisionômicos típicos, em zonas climáticas com chuvas regularmente distribuídas ao longo do ano (IBGE, 1990). Esta tipologia florestal ocorre com maior distribuição nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina e, em menores áreas, nos estados de São Paulo, distribuídas em manchas esparsas na porção Sul do Estado, em Minas Gerais e Rio de Janeiro, em áreas de altitude elevadas.

No relatório final do “Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira” (Probio), publicado em 2007, consta a avaliação da distribuição da cobertura nativa do bioma Mata Atlântica por fitofisionomias. Os dados gerais sem distinção dos estágios de sucessão e sem avaliar as Áreas de Tensão Ecológica (espaços geográficos situados na interface entre diferentes ecossistemas) mostram a FOM no estado do Paraná com uma área total de 21.425,46 km², enquanto que os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentam, respectivamente, 11.377,74 km² e 6.607,14 km². Os três Estados do Sul do Brasil concentram cerca de 98,18% da FOM existente no Brasil em 2007. Por meio desse estudo, constata-se que o estado do Paraná possui mais da metade desta formação florestal remanescente, e essa área ocupa, aproximadamente, 10,75% de todo o território do Estado. A área coberta originalmente pela FOM no Sul do Brasil era de aproximadamente 175.000 km² (IBGE, 1992). Com base neste levantamento e de acordo com os dados do Probio (2007), os Estados do Sul do Brasil possuem aproximadamente 22,5% da área original de ocorrência natural da floresta com Araucária.

A FOM é caracterizada pela presença da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, também conhecida como pinheiro-do-paraná, pinheiro-brasileiro e/ou pinho, com elevada dominância no estrato superior ou dossel, devido principalmente a seu nível de ocorrência, porte e formato de copa, que são características fitofisionômicas próprias desta

vegetação. Abaixo do dossel, existem diversas espécies arbóreas, com grande destaque para as espécies pertencentes às famílias Myrtaceae e Lauraceae. Em associação com a Araucária, ocorrem outras espécies importantes como *Ocotea porosa* (Imbuia), *Ilex paraguariensis* (Erva-mate), *Mimosa scabrella* (Bracatinga) e *Cedrela fissilis* (Cedro-rosa), todas importantes do ponto de vista econômico no estado do Paraná.

Muito próximo a região da presente pesquisa localiza-se a Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati) que, por sua vez, foi objeto de estudo de diversos pesquisadores. Em um dos primeiros levantamentos florísticos, os autores Galvão et al. (1989) encontraram três famílias principais, Myrtaceae, Lauraceae e Leguminosae. A composição destas três famílias totalizaram 28 gêneros e 51 espécies, perfazendo 40% das espécies arbóreas encontradas na área. Evidenciaram-se ainda, diversas outras famílias como as Flacourtiaceae, Aquifoliaceae, Compositae, Euphorbiaceae, Myrsinaceae e Sapindeceae, que, segundo o mesmo estudo, contribuíram com 22% das espécies observadas. Os demais 38% estão distribuídos entre outras 35 famílias. Posteriormente, outros trabalhos foram realizados no mesmo fragmento florestal com propósitos similares, destacando-se os trabalhos conduzidos pelos seguintes autores: Rode et al. (2009), Sawczuk et al. (2012). Os estudos mostram que foram encontradas cerca de 124 espécies arbóreas, distribuídas em 84 gêneros, pertencentes a 46 famílias botânicas. De acordo com Stepka et al. (2010), o mesmo fragmento florestal estudado apresentou 567,12 árvores.ha⁻¹.

Outro levantamento realizado em fragmentos da Floresta Ombrófila Mista no município de Fernandes Pinheiro, neste caso em pequenas propriedades rurais que fazem parte do projeto “Imbituvão”, registou 106 espécies arbóreas, 75 gêneros e 39 famílias botânicas. A família Myrtaceae é uma das principais famílias encontradas no levantamento, com 17 espécies e 10 gêneros, que juntamente com as famílias Lauraceae e Fabaceae, com 13 e 11 espécies cada uma, respectivamente, caracterizam os fragmentos. No levantamento foram inventariados os fragmentos florestais de 27 pequenas propriedades rurais com uma área amostral total de 9,54 ha e cerca de 683 indivíduos.ha⁻¹ (FIGUEIREDO FILHO et al., 2013).

Segundo Figueiredo Filho et al. (2010), as variações encontradas no número de espécies, gêneros e famílias em diferentes regiões da FOM pode estar relacionada às distintas condições ambientais, aos estágios de sucessão e ao nível de amostragem, que por sua vez pode ter sido insuficiente para representar as espécies, entre outros fatores.

O motivo da forte diminuição das áreas com Florestas de Araucária, que vem ocorrendo desde a metade do século passado, explica-se pela sempre crescente necessidade de terras para a agricultura e pecuária, como pela ampla utilização da madeira da Araucária. Esta forma predatória de exploração alterou toda a florística e a estrutura da floresta, além de resultar em uma distribuição descontínua e fragmentada, com a característica de um mosaico vegetacional.

Por consequência do modelo predatória de exploração realizada no passado, a FOM, atualmente está sob várias restrições de uso, com a finalidade de preservar seus últimos remanescentes. O manejo ou a utilização da espécie *Araucaria angustifolia*, *Ocotea porosa*, *Ocotea pretiosa* e *Ocotea catharinensis* nas áreas de floresta nativa estão proibidos desde a Resolução CONAMA³ n° 278, de 24 de maio de 2001, que definiu a lista de espécies ameaçadas de extinção. Por consequência, todas as espécies presentes na lista das espécies ameaçadas de extinção têm qualquer aproveitamento comercial vedado. Como os planos de manejo tinham como foco principal o aproveitamento das espécies incluídas na lista de espécies ameaçadas de extinção, após a publicação da Resolução os mesmos foram suspensos. O aproveitamento da floresta com Araucária atualmente restringe-se aos produtos não-madeireiro como Erva-mate, plantas medicinais e ornamentais, frutas silvestres e pinhão (SANTOS e MÜLLER, 2006).

Atualmente existe uma linha seguida por diversos pesquisadores, que por sua vez concordam que o manejo sustentável é a melhor forma de conservação da floresta. De acordo com Sanquetta e Mattei (2006), a maneira ideal de conservação dos remanescentes com Araucária é por meio do manejo em bases sustentáveis, pois a proteção integral dos fragmentos florestais por si só não tem sido capaz de garantir em quantidade e em qualidade o que ainda resta atualmente.

3.3 ESTIMATIVAS DENDROMÉTRICAS EM INVENTÁRIOS FLORESTAIS

Péllico Netto e Brena (1997) definiram inventário florestal como uma atividade que busca aferir informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área previamente definida.

O inventário florestal é o mecanismo utilizado na obtenção de dados qualitativos e quantitativos dos recursos florestais, serve como base para o manejo, para a conservação e para

³ Conselho Nacional do Meio Ambiente.

o planejamento regional e, principalmente fundamenta a tomada de decisões nos diversos níveis administrativos (VIBRANS et al., 2010).

De acordo com Campos et al. (2002) dados procedentes do inventário são apropriados para a estimativa de diferentes volumes da floresta, isto é, a estimação da produção e/ou do crescimento, dependendo do tipo de inventário realizado.

As informações qualitativas e quantitativas das florestas podem ser obtidas por meio da medição de todas as árvores ou pela mensuração das árvores em pequenos compartimentos distribuídos sobre a área. O primeiro caso denomina-se de inventário florestal a 100% e, envolve a enumeração completa de todas as árvores, já o segundo caso refere-se as técnicas de amostragem (MACHADO, 1988)

O principal objetivo de um inventário florestal por amostragem é obter uma estimativa para uma população florestal, sendo a estimativa efetuada a partir de uma amostra retirada de tal população. Diferentemente do inventário por amostragem, os inventários a 100% reproduzem todas as características da população, ou seja, fornece os seus parâmetros, valores reais ou verdadeiros. (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Em ambos os casos a variável dendrométrica sempre mensurada é o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e a medição da altura total ou comercial varia de acordo com a necessidade da informação.

No inventário florestal as equação hipsométricas, volumétricas e de afilamento assumem extrema importância, pois são as ferramentas geralmente utilizadas para estimar o volume por unidade de área para um determinado objetivo (SOARES et al., 2011).

3.3.1 Estimativa da altura

Nas plantações florestais a fim de reduzir custos e tempo, muitas vezes, apenas algumas alturas são medidas nas parcelas do inventário, fazendo-se necessário estimar a altura das demais árvores (LEITE e ANDRADE, 2003).

Segundo Hosokawa et al. (1998), em inventários de florestas plantadas medem-se todos os diâmetros da parcela e certo número de alturas representativas, em razão do custo da operação sem que se acrescente grandes vantagens comparativas, do ponto de vista de precisão, devido ao erro de medição com instrumentos hipsométricos ocasionado por diferentes problemas.

Em florestas nativas, a altura de uma árvore é uma variável dispendiosa e de difícil obtenção, em razão das características da própria floresta que geralmente apresentam alta densidade de indivíduos e um dossel superior elevado. Uma das alternativas utilizadas para solucionar este problema é a utilização de equações hipsométricas, que permitem estimar a altura por meio do DAP (SOARES et al., 2006).

Diversos autores sugerem que outras variáveis como espécie, sítio, idade, densidade, práticas silviculturas podem influenciar na relação “h/d” (BARTOSZECK et al., 2004; CARDOSO et al., 1989; FINGER, 1992).

3.3.2 Estimativas volumétricas

Existem vários métodos que viabilizam a estimativa dos volumes como: as equações de volume de simples entradas, as equações de volume de dupla entrada, as equações de volume associadas à relação hipsométrica, os fatores de forma, as funções splines e as funções de afilamento (FIGUEIREDO et al., 2006).

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2003), as equações de volume são ferramentas fundamentais para a tomada de decisão do manejador florestal e, por este motivo, muitas equações foram desenvolvidas para estimar o volume de florestas naturais ou plantadas, utilizando principalmente como variável independente o DAP e a altura e, como variável dependente, o volume.

As equações de volume mais conhecidas como os modelos de Schumacher-Hall, Husch e Spurr estão disseminadas no meio acadêmico e empresarial. Segundo Clutter et al. (1983) os modelos matemáticos mais utilizados para geração de equações de volume, dentre outros, são os modelos de Schumacher-Hall e de Spurr. Estas equações são bastante robustas e, geralmente, são testadas junto a outras, durante a avaliação e eleição dos melhores modelos.

Por outro lado, as funções de afilamento têm como característica básica a representação do perfil longitudinal do tronco. Essas funções permitem estimar qualquer diâmetro ao longo do fuste, em função da altura e do DAP. O termo afilamento explica o formato da árvore, ou seja, é a diminuição do diâmetro com o aumento da altura.

A utilização das funções de afilamento desenvolvidas a partir de análise de regressão é um método de quantificação do volume de madeira em pé, total ou parcial. Estas funções têm como principal vantagem a possibilidade de estimar os diâmetros em diferentes alturas, bem

como estimar o volume para segmentos específicos do tronco, fato que propicia a estimativa do sortimento. Segundo Husch et al. (1993), pelos motivos citados, as funções de afilamento são muito importantes e utilizadas na quantificação dos multiprodutos da madeira.

Diversos autores concordam que o primeiro trabalho que expressou o perfil longitudinal do tronco por meio de modelo matemático foi realizado por Höjer em 1903 (FIGUEIREDO FILHO et al., 1996; FISCHER et al., 2001).

No Brasil, distintas funções de afilamento vêm sendo utilizadas por diversos autores desde a década de 1970 para expressar o perfil longitudinal do tronco de várias espécies arbóreas (FIGUEIREDO FILHO et al., 1996).

De acordo com Fischer et al. (2001), as funções de afilamento são uma ferramenta bastante adequada para as avaliações das respostas práticas de manejo executadas, visto que com elas é possível valorar de maneira minuciosa o rendimento florestal. Desta forma, as funções de afilamento servem para auxiliar na determinação do planejamento do manejo, com a definição do sortimento e da rentabilidade do mesmo.

Schneider et al. (1996) relacionaram a importância das funções de afilamento como ferramenta de auxílio no planejamento da produção física de toras, devido a possibilidade em prognosticar a produção da floresta e seus multiprodutos por meio do sortimento em diferentes classes de sítio. Os mesmos autores informaram que pesquisas têm sido realizadas no intuito de determinar a melhor forma possível a classificação dos fustes de acordo com sua qualidade e dimensões, assegurando desta forma a melhor remuneração pela destinação mais adequada da madeira.

3.4 MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO

O termo crescimento refere-se às modificações em variáveis como diâmetro, altura, área basal e volume ao longo do tempo. As alterações que ocorrem nestas variáveis entre um período de medição expressam o crescimento.

Para a determinação do crescimento ou do incremento, são necessárias medidas sucessivas em distintas ocasiões de tempo, obtendo-se assim, as mudanças que ocorrem no início até o fim do período de análise. Já a produção líquida da floresta é o resultado do crescimento das árvores em tamanho, peso e volume (BURGER, 1980). Pelos motivos citados

pode-se dizer que a produção refere-se ao crescimento total acumulado e o crescimento é uma taxa definida entre períodos de medição (SPATHELF e NUTTO, 2000).

Segundo Burger (1980), o incremento possui diversas formas de abordagem:

- a) ICA – incremento corrente anual;
- b) IMA – incremento médio anual, ou seja, média do incremento entre a idade 0 (zero) até uma determinada idade;
- c) IP – incremento periódico, ou seja, o incremento em um determinado período de tempo;
- d) IPA – incremento periódico anual, ou seja, o incremento médio durante um determinado período de tempo.

Scolforo (1998) mencionou outras formas de abordagem do incremento como: incremento periódico mensal (IPM), incremento periódico semanal (IPS) e incremento periódico mensal diário (IPD).

A determinação do crescimento e da produção dos povoamentos florestais é de grande valia para o planejamento e gestão do manejo das florestas. Por este motivo, ferramentas que estimam o crescimento e a produção vem sendo utilizadas ao longo do tempo. Os modelos matemáticos que utilizam “Regressão” são as técnicas mais aplicadas para a determinação das estimativas do crescimento e da produção.

Segundo Vanclay (1994), os modelos de crescimento são abstrações da dinâmica dos povoamentos florestais e variam de acordo com as mudanças na composição da floresta, como é o caso da mortalidade. Os modelos de crescimento podem prognosticar o crescimento e a produção florestal sob uma grande diversidade de condições.

Uma série de modelos matemáticos pode descrever o crescimento cumulativo de uma floresta ao longo do tempo. Normalmente estes modelos matemáticos são obtidos pelas variações do modelo de Chapman-Richards (CLUTTER e JONES, 1980).

Apesar de buscarem os mesmos objetivos, existem algumas diferenças importantes entre os modelos: a) os modelos ditos globais (modelos de produção ao nível do povoamento) utilizam variáveis como idade, sítio, densidade; b) os modelos por classe diamétrica agregam variáveis como diâmetro mínimo, diâmetro máximo e o diâmetro médio quadrático, dentre outros; c) os modelos de árvores individuais utilizam as variáveis descritas anteriormente e

índices que expressam a competição entre árvores, (modelos independentes ou dependentes do espaçamento) (SCOLFORO, 1998).

Existem dois tipos de modelos de árvore individual: os modelos independentes da distância e os modelos dependentes da distância. O primeiro difere do segundo apenas por não controlar a competição por meio de índices de competição, ou seja, não há nenhum controle das árvores vizinhas. Entretanto, ambos os modelos são compostos por uma função de crescimento em diâmetro e altura, além de uma função de mortalidade (CAMPOS e LEITE, 2009).

De acordo com Phillip (1994), a modelagem do crescimento e da produção atende quatro objetivos principais: a) prognosticar o crescimento em um local específico, para que assim, análises de opções de investimento sejam feitas; b) prognosticar o crescimento e a produção de um povoamento e, assim servir como base de sustentação para a tomada de decisão dos gestores; c) prognosticar o crescimento e a produção de povoamentos submetidos a diferentes regimes de manejo e práticas silviculturais; d) prognosticar o crescimento e a produção para viabilizar a implantação de um sistema de avaliação econômica com custos e receitas.

Os modelos de crescimento e produção podem prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, conforme o sítio ou outras variáveis, onde o foco é a busca pelas características ideais do produto final. A prognose da produção também pode viabilizar a adoção de planos de suprimentos por meio da otimização da produção ou da minimização dos custos (ABREU et al., 2002)

3.5 USO DA ANÁLISE DE TRONCO NA DETERMINAÇÃO DO CRESCIMENTO

Os modelos de crescimento e produção podem ser construídos por meio de diferentes fontes de dados como: parcelas permanentes, parcelas temporárias, delineamentos experimentais e análise de tronco (ANATRO) (CAMPOS e LEITE, 2009).

A ANATRO é uma técnica que possibilita a reconstituição do crescimento passado, fato que permite a determinação das curvas de crescimento em altura, volume, etc. sobre a idade, além de estudos cronológicos na aplicação da Dendroecologia e Dendroclimatologia (SCHNEIDER, 2006). O mesmo autor descreve que a vantagem da análise de tronco está na

rapidez, boa precisão e baixo custo para a obtenção dos dados, além de possibilitar a reconstrução do crescimento passado de uma árvore em qualquer época.

Com a ANATRO torna-se possível a obtenção de informações preciosas sobre o incremento de diversas espécies arbóreas em um curto período de tempo se comparada com outras formas de obtenção do incremento, como é o caso das parcelas permanentes.

Daniel e Yared (1987) relataram que, com medições periódicas ou por meio da ANATRO o crescimento passado de uma floresta ou de povoamento florestal pode ser conhecido, entretanto, a ANATRO aplica-se apenas as espécies que possuem anéis anuais de crescimento visíveis.

Schweingruber (1983), em seu livro denominado “Der Jahrring”, descreve que a característica intrínseca às espécies arbóreas como o crescimento em diâmetro é causada pela divisão das células do câmbio no sentido vertical da árvore. Este crescimento em diâmetro pode ocorrer em ritmos periódicos, variando, por exemplo, entre as estações do ano, formando assim os anéis anuais de crescimento. O mesmo autor relata que podem existir falsos anéis criados por fatores bióticos ou abióticos que interrompem o crescimento em diâmetro. Na Figura 1 observa-se a interação dos fatores ambientais na formação dos anéis de crescimento.

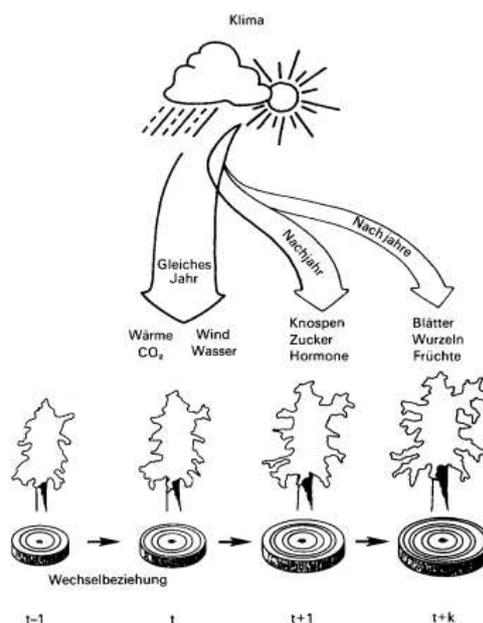


Figura 1. Reação das árvores aos fatores ambientais registrada nos anéis de crescimento anuais. Fonte: SCHWEINGRUBER (1983).

Os anéis de crescimento são formados pelo lenho primaveril que ocorre no período de maior atividade fisiológica e de consequente rápido crescimento. Visualmente é possível ser

percebido pela coloração clara da madeira, anatomicamente explicado pela redução das paredes dos traqueídes; e pelo lenho outonal, que ocorre no período de redução das atividades fisiológicas e de conseqüente redução do crescimento, visualmente identificado pela coloração mais escura que o lenho primaveril (PANSHIN e ZEEUW, 1970).

De acordo com Campos e Leite (2009), esta técnica tem sua empregabilidade preferencial em coníferas, pois seus anéis de crescimento são de fácil visualização e seus valores podem ser utilizados em estudos de crescimento e produção florestal, substituindo com ressalvas, as parcelas permanentes.

Existem duas formas de realizar a ANATRO: completa ou parcial. No primeiro caso, o método é destrutivo e para sua realização derruba-se a árvore e retira-se um determinado número de fatias ao longo do fuste. O segundo método (parcial) não é destrutivo, sendo bastante aplicado quando não se tem a possibilidade de derrubar a árvore a ser amostrada. Neste caso, utiliza-se o Trado de Incremento, retirando-se o rolo de incremento, material que servirá para a medição dos anéis de crescimento.

Finger (1992) relatou que para a realização da ANATRO completa a definição dos indivíduos a serem amostrados é o primeiro passo e estes devem representar fielmente a população a ser estudada. Nas florestas nativas e nos plantios florestas, guardadas as proporções, há variações na distribuição diamétrica. Spurr (1952) descreveu que as amostras devem representar toda a distribuição diamétrica.

3.6 PESQUISA OPERACIONAL PARA A OTIMIZAÇÃO FLORESTAL

As ferramentas enquadradas na área de conhecimento da pesquisa operacional (PO) surgiram durante a Segunda Guerra Mundial para fins de planejamento militar. Neste período os primeiros modelos de sistemas e os mecanismos para resolvê-los foram desenvolvidos. Após a guerra os métodos de pesquisa operacional começaram a ser aplicados com sucesso na indústria, agricultura e governo. As primeiras aplicações de pesquisa operacional para os problemas de manejo florestal datam do início dos anos sessenta (BUONGIORNO e GILLESS, 2003).

A PO busca determinar o melhor caminho para a resolução de um problema de decisão a partir de recursos limitados, ou seja, busca a solução ótima. Geralmente o termo PO, está

associado quase que exclusivamente a aplicação de técnicas matemáticas vinculados a problemas de decisão, representados e analisados por meio de modelos (TAHA, 1995).

A complexidade do gerenciamento florestal criou a necessidade de utilização de ferramentas de apoio na tomada de decisão, em razão da elevada quantidade de variáveis e informações a serem consideradas. Neste sentido, a pesquisa operacional vem sendo utilizada na área florestal e tem sido aplicada na determinação de quando, quanto e onde cortar, além de auxiliar também na definição do regime de manejo de cada talhão. Na aplicação dessa técnica, sempre se busca a maximização dos retornos ou a minimização dos custos financeiros sobre os investimentos realizados, levando-se em consideração as restrições operacionais e de recursos das empresas (RODRIGUES et al., 1998).

Os métodos de Pesquisa Operacional empregados com maior frequência em manejo florestal são: Programação Linear (PL), Programação Inteira (PI), Programação Não-Linear (PNL), Programação Dinâmica (PD) e Programação por Metas, e, ainda, a Simulação e as Redes PERT-CPM⁴ (LEITE, 1994).

As técnicas de Pesquisa Operacional têm sido aplicadas com diversos propósitos no setor florestal, como os trabalhos de: Johnson e Scheurman (1977) que desenvolveram os modelos clássicos utilizados no planejamento florestal (modelo tipo I e modelo tipo II); Barros e Weintarub (1982) buscaram a determinação da otimização do planejamento em florestas verticalizadas no sul do Chile; Rodrigues et al. (1998) que demonstraram o potencial emprego da PL, por meio do modelo tipo II, na regulação de florestas equiâneas sujeitas a vários regimes de corte; Scolforo (1990) que utilizou a PL para selecionar entre diferentes regimes de desbastes, aquele que proporcionasse maior retorno econômico, considerando diferentes usos para a madeira; Leite (1994) que empregou um modelo de PD na otimização do rendimento do desdobramento de toras em serrarias, por meio de diferentes tamanhos comerciais existentes no mercado.

Outros trabalhos foram publicados mais recentemente como: Arce et al. (2004) desenvolveram uma metodologia de otimização do traçamento de árvores para a obtenção de multiprodutos em nível de fustes individuais; Rodrigues et al. (2006) avaliaram uma estratégia na geração de alternativas de manejo na formulação e solução de problemas de planejamento florestal com restrições de recobrimento; Cerdá e Martín-Barroso (2012) apresentaram um

⁴ PERT - Técnica de Avaliação e Revisão. CPM - Método do Caminho Crítico

modelo de otimização dinâmica com o objetivo de definir locais ótimos para plantios e regeneração natural de duas espécies de árvores *Quercus ilex* L. e *Q. suber* L.

3.6.1 Modelos globais de Programação linear

Os problemas que envolvem otimização sujeitos a restrições são denominados como problemas de programação matemática. Atualmente existem técnicas efetivas e importantes para uma subclasse, chamada de problemas de programação linear ou PL (CLUTTER et al., 1983).

A programação linear (PL) faz parte do conjunto de ferramentas da Pesquisa Operacional que, por sua vez, utiliza modelos matemáticos de otimização na busca da solução de problemas de qualquer natureza, desde que os modelos utilizados sigam algumas condicionantes obrigatórias diretamente ligadas aos aspectos intrínsecos ao problema.

De acordo com Taha (1995) os problemas de PL podem ser expressos por modelos globais, que por sua vez devem conter algumas propriedades:

- a) Todas as equações e a função objetivo são lineares;
- b) O objetivo pode ser a maximização ou a minimização;
- c) Todas as restrições são equações com os segundos membros não-negativos;
- d) Todas as variáveis são não-negativas.

Existem três características principais utilizados na formulação de um problema de PL a função objetivo, as variáveis e as restrições (ARCE, 2000):

- a) A função objetivo em todas as formulações de problemas de PL devem ser uma expressão única, minimização ou a maximização da soma de todos os desvios indesejados dos diferentes objetivos propostos.
- b) As variáveis têm a função de simbolizar as decisões e durante a elaboração dos problemas as mesmas devem obrigatoriamente assumir valores não negativos.
- c) A restrições nos problemas de PL têm a função de adequar a disponibilidade dos diferentes fatores que devem ser contemplados obrigatoriamente pelo formulador do problema. Os problemas de planejamento florestal possuem restrições clássicas como, por exemplo, o estoque existente (área e/ou volume), requerimento de uma

quantidade mínima de um determinado produto, entre outras. A determinação das restrições durante a elaboração dos problemas depende em sua grande maioria da habilidade do planejador em detectá-las.

Na PL com múltiplos objetivos, observa-se que um objetivo é a função a ser otimizada, enquanto que os demais objetivos são representados no modelo pelas funções que expressam as restrições. A determinação de qual será a Função Objetivo e quais serão as restrições é geralmente uma decisão arbitrária (BUONGIORNO e GILLESS, 1987).

Os mesmos autores detalharam um modelo global de programação linear da seguinte forma:

Função objetivo:

$$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j X_j$$

Restrições:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_j \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n$$

Em que c_j , componente da função objetivo, assume parâmetro constante. Cada parâmetro, c_j , mensura a contribuição da variável correspondente X_j na função objetivo. Por exemplo, se aumentar ou diminuir X_j em uma unidade e, em seguida, outras variáveis permanecem iguais, Z aumenta ou diminui por unidades de c_j . As variáveis podem assumir valores limitados por m restrições na tentativa de maximizar a função objetivo.

O b_i , assume valores constantes, que por sua vez refletem a quantidade de recursos disponíveis. Para o modelo descrito, b_i poderia ser a quantidade de área que o manejador consegue utilizar ou a totalidade do capital disponível para empregar no projeto. Neste caso, cada a_{ij} é uma constante que mede a quantidade de recursos i em uso por unidade de uma atividade qualquer j . Interpretando as informações mencionadas, tem-se a seguinte situação: para um b_i igual à quantidade de capital disponível por hectares e para um X_j igual ao número de hectares plantados em um dado ano, temos que a_{ij} é o custo de plantar por hectare.

3.7 MANEJO FLORESTAL

O conceito de manejo florestal foi descrito por diversos autores ao longo dos anos e segundo a *Society of American Foresters* (SAF) (1958), o manejo florestal é a execução de métodos comerciais aliados aos fundamentos técnicos florestais, com objetivos de operacionalizar e gerenciar os povoamentos florestais. Seguindo a mesma linha de raciocínio da SAF, Silva (1996) definiu o manejo florestal como o conjunto de aplicação de métodos empresariais com os princípios técnicos florestais, durante a operacionalização de uma propriedade florestal.

De acordo com Ahrens (1992), o manejo florestal abrange amplos aspectos como pesquisa, desenvolvimento e aplicação de métodos de análise quantitativos, que servirão como recursos fundamentais acerca de decisões da localização, de estrutura e de composição do recurso florestal, possibilitando assim a geração de produtos, serviços e benefícios, diretos e indiretos, na quantidade e na qualidade desejadas pela organização florestal ou por outros.

Devido à grande pressão de exploração sobre os recursos naturais no Brasil e no mundo, criou-se a necessidade da aplicação de métodos que procurem a redução dos impactos sobre os recursos naturais e que permitam a sua renovação em quantidade e em qualidade, atendendo as necessidades da população atual sem comprometer as futuras gerações.

O primeiro documento que relata a importância da utilização dos recursos florestais de maneira sustentável data de 1713 (Alemanha) no livro “*Silviculture Oeconomica*”, de autoria de Hans Carl von Carlowitz. Neste livro o autor descreve o manejo florestal sustentável como: “Os produtos fornecidos pela floresta, sejam eles madeireiros ou não-madeireiros, devem suprir as necessidades das gerações atuais e futuras em igual quantidade e qualidade” (SPEIDEL, 1972 apud Nutto, 2001).

Dykstra e Heinrich (1992), em documento elaborado para a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, caracterizaram o manejo florestal sustentável como o procedimento que envolve a conservação dos recursos naturais e as orientações tecnológicas para o suprimento e satisfação das necessidades humanas atuais e futuras.

Atualmente no Brasil, as aplicações do manejo sustentado das florestas nativas restringem-se a poucos biomas e principalmente a região onde se localizam as florestas da bacia Amazônica são as principais áreas utilizadas para este fim. A regulamentação do manejo destas florestas encontra-se no Decreto nº 1.282, de 19 de outubro de 1995. Este documento procura

definir o termo manejo florestal sustentado como a administração das florestas destinadas a geração de recursos econômicos e sociais, que respeitem os mecanismos de sustentação dos ecossistemas. O objetivo desta definição é mostrar que, para o manejo ser sustentável, o tripé – economicamente viável, ecologicamente correto e socialmente justo – deve ser respeitado.

Scolforo (1998) relatou que para a definição de métodos de manejo que procurem garantir a sustentabilidade do sistema, faz-se necessário a busca por informações do comportamento ecológico das espécies, em diferentes ambientes e, devido ao elevado número de indivíduos das florestas naturais, sua complexidade aumenta, exigindo então métodos silviculturas diferenciados.

Técnicas de manejo com base na terminação de cortes seletivos são bastante antigas e conhecidas. Vários métodos e fórmulas existem para a determinação do corte seletivo (FAO, 1998). Souza e Soares (2013) descreveram os principais critérios utilizados na determinação de cortes seletivos em florestas inequidêneas, são eles: controle de corte pela área, controle de corte pelo volume, combinação de área e volume, controle de área e volume e classe de estoque e por fim o controle por classe diamétrica (BDq ou GDq).

Um exemplo de controle simultâneo por volume, por área e por classe de diâmetro é o método definido para o manejo no bioma Amazônia, determinado pela Resolução CONAMA nº 406, de 2 de fevereiro de 2009. O Art. 4º e Art. 6º, desta mesma Resolução determina a intensidade de corte e o Diâmetro Mínimo de Corte (DMC) do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), respectivamente, conforme segue:

Art. 4º A intensidade de corte proposta no PMFS será definida de forma a propiciar a regulação da produção florestal e levará em consideração os seguintes aspectos:

I - a estimativa da produtividade anual da floresta manejada para o grupo de espécies comerciais, quando não houver estudos para a área, será de $0,86 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para PMFS com uso de máquinas para arraste de toras;

IV - ficam estabelecidas as seguintes intensidades máximas de corte a serem autorizadas pelo órgão ambiental competente:

a) $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para o PMFS que prevê a utilização de máquinas para o arraste de toras, com ciclo de corte inicial de 35 anos;

b) $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para o PMFS que não utiliza máquinas para o arraste de toras, com ciclo de corte inicial de 10 anos;

c) manutenção de pelo menos 10% do número de árvores por espécie, na área de efetiva exploração da UPA, que atendam aos critérios de seleção para corte indicados no PMFS, respeitados o limite mínimo de

manutenção de três árvores por espécie por 100 ha (cem hectares), em cada UT; e

d) manutenção de todas as árvores das espécies, cuja abundância de indivíduos com DAP superior ao DMC seja igual ou inferior a três árvores por 100 ha de área de efetiva exploração da UPA, em cada UT.

Art. 6º Fica estabelecido o DMC de 50 cm para todas as espécies, para as quais ainda não se estabeleceu o DMC específico (Resolução CONAMA nº 406, de 2 de fevereiro de 2009, p. 2-3).

Métodos silviculturais para *Hovenia dulcis* foram descritos por Cozzo (1960). O autor relata que, em razão da capacidade de rebrota da espécie, a mesma pode ser conduzida por talhadia, com rotações previstas entre 10 a 15 anos na Argentina. Além da talhadia como método silvicultural outros métodos como a regeneração natural podem ser empregados em plantios homogêneos a pleno Sol, sendo usualmente plantada na Argentina em espaçamentos de 2 x 2 m. O mesmo autor apresentou dados de nove povoamentos da espécie na região de Misiones, Argentina e, após 10 anos encontrou um crescimento de $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ nos melhores sítios, nos piores sítios o crescimento variou entre 15 a $17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Desbastes são necessárias apenas quando a espécie apresentar um crescimento muito rápido em bons sítios e a melhor época para cortar situa-se entre o final do inverno ou o início da primavera.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Aspectos gerais

A presente pesquisa foi realizada em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista existentes em pequenas propriedades rurais localizados na sub-bacia do rio Imbituvão no município de Fernandes Pinheiro, estado do Paraná. As propriedades rurais e seus fragmentos de florestas nativas fazem parte do projeto de pesquisa e extensão denominado de “Estratégias para manejo florestal sustentável em pequenas propriedades rurais, no Centro-Sul do Paraná”, conhecido como “Projeto Imbituvão” e envolve 36 propriedades rurais.

O projeto Imbituvão faz parte de uma cooperação técnica-financeira entre os Estados do Paraná e de Baden-Württemberg por meio das Secretarias do Estado da Ciência e Tecnologia e Ensino Superior (SETI) e do Ministério para Ciência, Pesquisa e Artes de Baden-Württemberg. O projeto é executado por professores, funcionários e bolsistas do curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus-Irati e conta com o apoio de professores da Universidade de Ciências Florestais Aplicadas de Rottenburg, Estado de Baden-Württemberg, Alemanha. Além disso, tem como parceiros pesquisadores da EMBRAPA FLORESTAS e Técnicos do Instituto Paranaense de Assistência Técnica Rural (EMATER).

Desde o início em 2011, foi executado um amplo conjunto de ações em 36 pequenas propriedades rurais espalhadas em diversas comunidades na área rural do município de Fernandes Pinheiro, Paraná. Estas ações estão diretamente ligadas ao objetivo geral do projeto, que pode ser descrito como a busca pela sustentabilidade da pequena propriedade rural, por meio da geração de renda, da melhoria na qualidade de vida e da conservação ambiental. Os objetivos do projeto certamente estão em consonância com outras ações governamentais que procuram garantir condições de vida digna aos pequenos proprietários rurais e, conseqüentemente, promover o desenvolvimento rural da região. A fim de assegurar a concretização dos objetivos descritos, uma das metas do projeto em médio e longo prazo é gerar um modelo de manejo florestal sustentado para remanescentes da Floresta com Araucária, capaz de ser replicado no sul do Brasil.

As propriedades envolvidas no projeto são bastante distintas entre si em diversos aspectos como: tamanho, fonte de renda, condições do remanescente florestal, produto principal, entre outros. Esta conjuntura bastante diversificada entre as pequenas propriedades rurais faz com que a maioria das ações do projeto sejam efetivadas em grupos de interesse, não sobrepujando a realização de ações de interesse global. Desta forma, o projeto atua em todas as propriedades rurais respeitando os anseios dos que nela habitam, pois caso contrário, os efeitos das ações do projeto seriam praticamente nulos. Esta forma de atuar junto aos proprietários rurais tem garantido o sucesso do projeto, não apenas entre os participantes que estão bastante entusiasmados com as ações já realizadas, mas também dentro da comunidade técnico-científica ligada ao tema que vislumbra no projeto o desenvolvimento de um modelo de manejo sustentável capaz de conservar a floresta por meio de seu uso.

4.1.2 Localização, aspectos socioeconômicos

A pesquisa foi realizada em remanescentes florestais de propriedades rurais localizadas no município de Fernandes Pinheiro em diferentes comunidades. O município em questão localiza-se a 138 km a oeste da capital do Estado e situa-se no Segundo Planalto Paranaense, na porção Centro-Sul do Estado, no paralelo 25°24'46" de latitude Sul interseção com o meridiano 50°32'52" de longitude Oeste. Faz divisa com os municípios de Teixeira Soares, Imbituva, São João do Triunfo, Rebouças e Irati (FERNANDES PINHEIRO, 2006). A Figura 2 mostra a localização geográfica de Fernandes Pinheiro.

O município possui uma área de 406,501 km² e uma altitude média de 824 metros acima do nível do mar. A população atual de acordo com o Censo Demográfico é de 5.932 habitantes IBGE (2010).

A região Centro-Sul do Paraná é caracterizada por um baixo índice de desenvolvimento humano (IDH), o qual denota uma medida geral e sintética do desenvolvimento humano das cidades, dos estados ou dos países. O IDH-M⁵ de Fernandes-Pinheiro em 2013 foi de 0,645, valor considerado baixo se comparado com vários outros municípios do Estado. Além do baixo IDH-M percebe-se um decréscimo na última década, pois em 2000 o IDH-M era 0,711 (PNUD⁶, 2013 – Atlas de Desenvolvimento Humano).

⁵ Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

⁶ Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento



Figura 2. Localização do município de Fernandes Pinheiro, estado do Paraná.

Fonte: Plano diretor de uso e ocupação do solo municipal de Fernandes Pinheiro (2006).

O município de Fernandes Pinheiro em 2012 apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 71.703.000,00 equivalentes a um PIB per capita de R\$ 11.988,46. Mais de 45% do PIB do município advém do setor agropecuário, o restante é dividido entre o setor indústria e de serviços (IBGE, 2012). Os principais produtos agropecuários cultivados no município são soja (25%), frango de corte (14%), feijão (7%), batata inglesa (7%), toras de Pinus serraria (7%), outros (40%) (SEAB, 2013).

4.1.3 Caracterização das Propriedades

O diagnóstico das propriedades rurais foi realizado pela equipe técnica do projeto “Imbituvão” com a finalidade de conhecer a realidade da região de atuação do projeto, identificando, desta forma, as características da comunidade. Um dos resultados do diagnóstico foi a elaboração de uma tipologia de propriedades rurais. As tipologias podem ser definidas por diversos critérios dependendo do interesse e do objetivo das ações a serem estabelecidas. Como um dos objetivos do projeto “Imbituvão” está relacionado ao manejo dos remanescente florestais nativos. As propriedades foram agrupadas dentre outros aspectos com relação a área total e a área do remanescente florestal nativo.

Na Figura 3 observa-se o agrupamento das propriedades em classes de 10 ha de acordo com a área total (a) e a área do remanescente florestal (b). Com relação a área total das propriedades, 47% são menores do que 10 ha e apenas 14,7% das propriedades são maiores do que 30 ha. O agrupamento de acordo com a área do remanescente florestal dentro das propriedades mostra que 77,4% dos remanescentes são menores do 10 ha. Desta forma, apenas 22,6% do remanescente são maiores do que 10 ha.

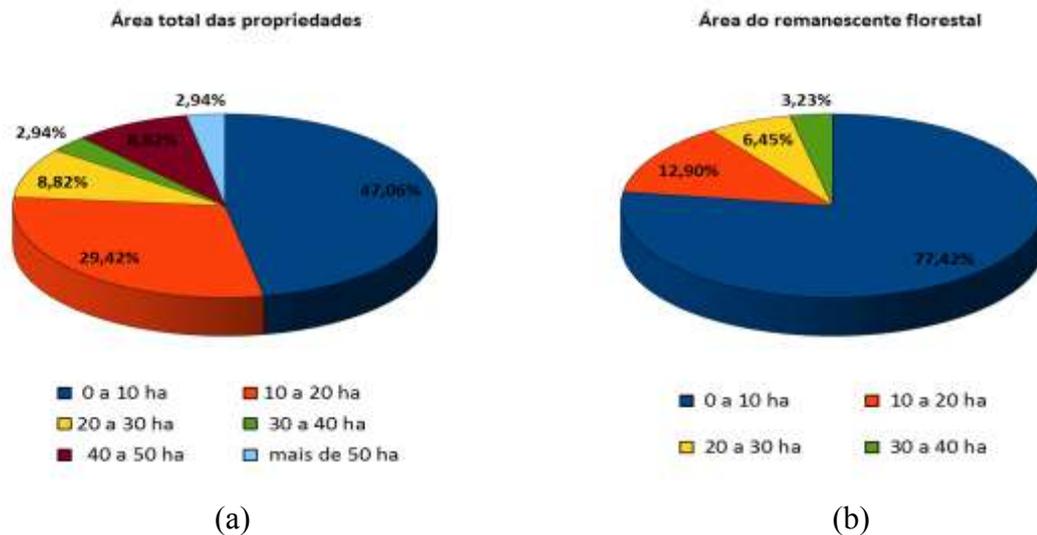


Figura 3. Distribuição por classe das áreas das propriedades (a) e das áreas dos remanescentes florestais (b), em porcentagem.

4.1.4 Clima, Vegetação e hidrografia

O clima da região é classificado como Cfb – Subtropical Úmido Mesotérmico. A temperatura média anual é de 17°C e situa-se entre 13°C a 18°C, sendo os verões caracterizados como frescos e os invernos frios, com presença de geadas. Não apresenta estação seca devido a distribuição das chuvas ocorrer de maneira regular durante o ano (SPVS, 1996).

O ecossistema característico da região de estudo é a Floresta Ombrófila Mista, o qual faz parte do Bioma Mata Atlântica, determinado no Art.2º da Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006. Os remanescentes florestais estudados pertencem a sub-bacia hidrográfica do rio Imbituvão, afluente da bacia hidrográfica do rio Tibagi.

4.2 CENSO FLORESTAL DE *Hovenia dulcis*

O relatório do inventário nos fragmentos de florestas nativas em pequenas propriedades rurais na região Centro-Sul do Paraná, executado pelo projeto “Imbituvão” durante o ano de 2011, apresentou diversos indivíduos de uva-do-japão (FIGUEIREDO FILHO et al., 2013). A partir deste trabalho, para todas as propriedades rurais que apontaram a existência da uva-do-japão, realizou-se o censo florestal da espécie. Outra forma de verificação da presença da espécie nos remanescentes florestais foi por meio de perguntas direcionadas aos proprietários rurais. Das 36 propriedades rurais envolvidas com o projeto “Imbituvão” 16 delas continham no mínimo uma árvore de uva-do-japão em seus remanescentes florestais.

De posse dos mapas das propriedades com seus respectivos remanescentes florestais planejou-se no escritório a operacionalização da varredura em busca das árvores de uva-do-japão. O caminhamento foi feito em faixas de controle de mais ou menos 15 metros (Figura 4), respeitando ao máximo o nivelamento do terreno, evitando-se assim, repetidas subidas e descidas. Durante os trabalhos de campo do censo florestal sempre foi requisitada a presença do proprietário da área, no intuito de auxiliar na localização dos indivíduos e, em alguns momentos, ajudar na delimitação das divisas.

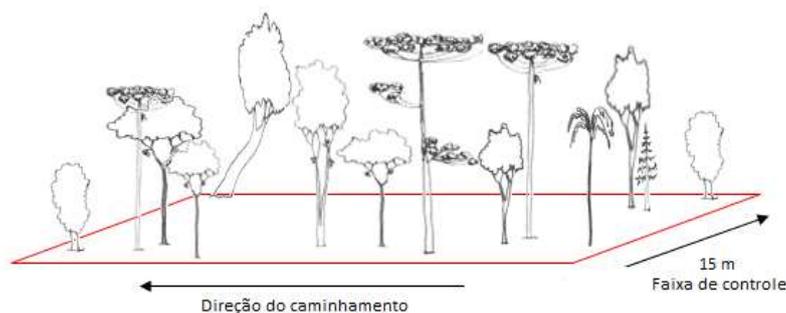


Figura 4. Representação do caminhamento empregado para a realização do censo florestal de *Hovenia dulcis*.

O diâmetro de inclusão adotado na altura a 1,3 m do solo (DAP) para todos os indivíduos da espécie foi maior ou igual a 10 cm. Todas as árvores identificadas, numeradas e medidas foram georeferenciadas por meio do sistema de posicionamento geográfico (GPS). A numeração foi realizada de acordo com a propriedade rural, ou seja, cada propriedade possui a sua sequência numérica de indivíduos.

Todos os indivíduos presentes nas Áreas de Preservação Permanente (APP) foram determinados. A delimitação da APP foi realizada conforme o antigo Código Florestal Brasileiro Lei nº 4.771 de 15 de Setembro de 1965, pois à época o novo código florestal promulgado em 2012 ainda não havia sido aprovado. Os indivíduos presentes em cada APP sofrerão tratamentos diferenciados de acordo com a recomendação do órgão ambiental, daí a necessidade de identificação. Nos casos de árvores retiradas da APP a recomendação é o plantio de espécies nativas no local.

Medições e avaliações foram feitas para todos os indivíduos com o objetivo de gerar um banco de dados capaz de auxiliar no planejamento de exploração por meio da definição do potencial de utilização de cada indivíduo. As variáveis consideradas na avaliação da estrutura da espécie presente nos fragmentos florestais foram divididas em duas ou três classes, como segue:

a) Circunferência a 1,30 m do solo (CAP). As medições do CAP foram realizadas com fita métrica comum. O ponto de medição do diâmetro foi demarcado com tinta azul para que possam ser realizadas possíveis futuras medições e, com a mesma tinta, acima deste ponto, foi inserido o número da árvore de acordo com a sequência numérica.

b) Altura na base da copa (hc). A altura de todas as árvores foi medida até o primeiro galho de porte considerado como início da copa com o auxílio de uma vara graduada. Esta altura coincide com o início da copa e foi utilizada nesta pesquisa apenas para a realização do sortimento em volume serraria e volume energia.

c) Classe de qualidade do fuste: (1) fuste reto, (2) fuste levemente tortuoso, (3) fuste tortuoso;

d) Classe da posição no estrato vertical: (1) estrato superior, (2) estrato médio, (1) estrato inferior;

e) Classe de iluminação da copa: (1) copa completamente exposta à luz, (2) copa parcialmente exposta à luz, (3) copa totalmente sombreada;

f) Classe de forma da copa: (1) copa perfeita, (2) copa irregular, (3) copa danificada.

g) Classe de fitossanidade: (1) fitossanidade boa, (2) fitossanidade média, (3) fitossanidade ruim ou atacada por pragas, podridão do fuste etc.;

h) Classe de dificuldade na extração: (1) fácil extração, (2) dificuldade de extração mediana, (3) difícil extração. Na classe 1, as árvores se encontram em locais de fácil acesso aos equipamentos de extração e arraste como tratores e guinchos florestais, neste caso, encontram-se os terrenos com pouca ou nenhuma declividade. Na classe 2, o acesso dos equipamentos de extração e arraste é mais problemático, o terreno pode situar-se em local de declividade média a forte. Na classe 3, o acesso dos equipamentos de extração e arraste é de dificuldade extrema, o terreno possui forte declividade, normalmente nesta classe localizam-se as árvores que estão na APP;

i) Classe de potencial utilização: (1) madeira serrada, (2) outro potencial de uso, como por exemplo, uso energético. Esta classificação leva em consideração as avaliações anteriores e serve como indicador da potencial forma de utilização das árvores.

Com base nos dados obtidos na classe descrita como potencial utilização, o banco de dados do censo florestal foi classificado em dois grupos, conforme segue:

Grupo I – árvores com potencial volume para serraria - classificadas como: classe potencial de utilização (1), classe de Fuste como (1 - reto) ou (2 – levemente tortuoso). Neste grupo, as árvores podem possuir volume para serraria e volume para energia.

Grupo II - árvores com volume total destinado a energia. Árvores classificadas como Fuste (3 - tortuoso).

4.3 AGRUPAMENTO DAS ÁRVORES LISTADAS NO CENSO EM CLASSES DE DIÂMETRO

A distribuição diamétrica para o conjunto de dados advindo do inventário a 100% foi realizada pela fórmula de Sturges (1926) descrita por diferentes autores como Gonçalves (1977) e Machado e Figueiredo Filho (2003). O prévio agrupamento em classes de diâmetro foi importante e necessário para a realização da amostragem das árvores utilizadas na análise de tronco (ANATRO), com a maior representatividade possível. O agrupamento também possibilitou a avaliação do estoque atual das árvores listadas no censo por classe diamétrica.

A amplitude das classes de diâmetro foi estabelecida com base no menor DAP, que é o mesmo que o diâmetro de inclusão, e o maior DAP encontrado. A fórmula (1) define o número de classes e a fórmula (2) o intervalo entre as classes.

$$nc = 1 + 3,3 \log n \quad [1]$$

$$Ic = (d_{m\acute{a}x} - d_{m\acute{i}n})/nc \quad [2]$$

Em que: nc : número de classes; \log : logaritmo decimal; n : número de observações; Ic : intervalo de cada classe; $d_{m\acute{a}x}$: diâmetro máximo (cm); $d_{m\acute{i}n}$: diâmetro mínimo ou limite de inclusão (10 cm).

4.4 ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA

Com as classes de diâmetro definidas a partir dos dados do censo florestal, foi determinada a amostragem para a realização da ANATRO. Dentro de cada classe diamétrica, 4 árvores foram coletadas, perfazendo um total de 40 indivíduos amostrados. Durante o processo de seleção das árvores para a realização da análise de tronco, buscou-se criteriosamente a representação de toda a população existente. Para cada classe diamétrica, a seleção dos indivíduos respeitou toda a amplitude da classe, indivíduos com diâmetros no centro da classe e indivíduos na extremidade inferior e superior da classe foram selecionados e coletados. Além disto, as árvores-amostra foram coletadas em 4 propriedades rurais distantes entre si e procurou-se coletar uma árvore por classe por propriedade.

Daniel e Yared (1987) recomendaram que, com um mínimo de três unidades por classe de idade ou sítio, já é possível a obtenção de boas estimativas. Como a espécie pesquisada regenera-se naturalmente nos remanescentes florestais nativos, não há como definir a idade das árvores coletadas e por este motivo a coleta foi realizada por classe de diâmetro.

Como o objetivo central da pesquisa é propor uma metodologia técnica-científica para o manejo da uva-do-japão presente no interior das florestas nativas, todos os indivíduos amostrados localizavam-se no interior dos remanescentes florestais nativos e desenvolveram-se por regeneração natural. Árvores isoladas ou plantadas não fizeram parte da amostragem. O procedimento de agrupamento teve como proposta evitar a não representatividade dos dados, pois a diferença entre os dois ambientes de desenvolvimento é bastante grande. Pressupõe-se

que os indivíduos localizados em ambientes sem competição têm maior crescimento do que os indivíduos crescendo em plena competição por recursos. Apesar de todos os indivíduos amostrados estarem presentes no interior da FOM na mesma sub-bacia hidrográfica, sempre existirão variações de acordo com as condições dos remanescentes florestais e certamente do sítio, em cada uma das áreas coletadas.

Após a definição da árvore-amostra, teve início a segunda etapa, que consistiu no trabalho de derrubada, cubagem, medição da altura total e marcação dos pontos de coleta dos discos com o auxílio de uma trena esticada sobre a árvore derrubada. Na sequência foram coletados discos nas seguintes alturas: 0,1m; 0,7m; 1,3m; 2,3m; 4,3m; e a cada 2 metros até a altura total. A coleta dos discos seguiu o método absoluto e o número de discos coletados teve variações de acordo com a altura total da árvore, quanto mais alta a árvore maior foi a quantidade de discos coletados.

Situações em que o ponto da coleta do disco coincidia com a formação de nós, outro disco foi coleta imediatamente acima ou abaixo. Desta forma, problemas foram evitados nas medições dos anéis (FINGER, 1992).

Todos os discos foram identificados com placas metálicas ainda no campo. A placa foi pregada ao disco na face oposta à face de medição e continha a identificação da árvore e altura do disco. Posteriormente, os discos foram levados para a secagem em estufa de circulação de ar a 45°C por cinco dias. Após o processo de secagem, em cada disco foi executado o lixamento da face de medição. Utilizou-se para o lixamento uma lixadeira de cinta disponibilizada pelo Laboratório de Tecnologia da Madeira da UNICENTRO⁷. Primeiramente utilizou-se uma lixa bastante grossa número 36 e, posteriormente, uma lixa mais fina (número 80) para dar acabamento. Todo este trabalho tinha como objetivo facilitar a leitura dos anéis de crescimento.

A marcação dos raios e a medição dos anéis de crescimento foram definidas com a garantia da melhor representatividade possível da área transversal. Como procedimento utilizado na definição dos quatro raios a serem medidos, foram marcados o maior e o menor diâmetro de cada disco.

A medição dos anéis de crescimento (Figura 5) foi realizada no equipamento LINTAB, disponível no Laboratório de Manejo Florestal da UNICENTRO. Este equipamento possui uma lente de aumento que permite que o operador determine com precisão o limite dos anéis ao

⁷ Universidade Estadual do Centro-Oeste (Paraná)

longo do raio demarcado. Todos os valores foram registrados em um computador conectado a um dispositivo eletrônico que por sua vez estava conectado ao LINTAB.



Figura 5. Anéis de crescimento de *Hovenia dulcis*.

O LINTAB funciona interligado a um software de apoio, o TSAP⁸. Este software, além de efetuar as medições, realiza algum processamento dos dados, como por exemplo, a apresentação das séries temporais dos anéis de crescimento. Uma grande vantagem deste software é a possibilidade de exportação dos dados para outros programas, como para o Excel.

O processamento dos dados proveniente da análise de tronco pode gerar diversas informações em cada um dos anos passados e para cada árvore-amostra referentes ao crescimento em diâmetro, área transversal, volume e altura, além do incremento médio e corrente anual. O processamento dos dados das 40 árvores-amostra foi realizado no FlorExel⁹ (ARCE, 2007).

Os dados da análise de tronco foram fundamentais para o ajuste dos modelos de prognose do crescimento e da produção utilizados nesta pesquisa como ferramenta para a elaboração dos modelos de manejo florestal para a espécie.

⁸ Times Serie Analysis Program desenvolvido por Frank Rinn e Siegwand Jaekel (Alemanha)

⁹ FlorExel. Suplemento para Microsoft Excel® desenvolvido pelo Prof. Dr. Julio Eduardo Arce da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

4.5 BANCO DE DADOS PARA O AJUSTE DOS MODELOS DENDROMÉTRICOS

No decorrer de 2011 a 2013 durante o desenvolvimento das atividades do “Projeto Imbituvão” nas pequenas propriedades rurais, 40 árvores de *Hovenia dulcis* foram cubadas. Somou-se a esta primeira amostra outras 40 árvores cubadas, utilizadas como amostras para a aplicação da ANATRO. Desta forma, o banco de dados utilizados nos ajustes dos modelos dendrométricos (hipsométricos, volumétricos e de afilamento) contou com 80 árvores cubadas.

Os pontos de medições ao longo do tronco foram realizados pelo método absoluto, que preconiza a definição prévia dos pontos de medição do tronco e a sua aplicação para todas as árvores. Assim, os diâmetros com casca foram medidos nas seguintes alturas absolutas (m): 0,1; 0,7; 1,3; 2,3; 4,3; e a cada 2 metros até a altura total. Em todos os pontos de medição a espessura da casca foi coletada, com a ajuda de um medidor de casca e sempre em dois lados opostos entre si.

Para o cálculo do volume real utilizou-se o método de SMALIAN, aplicando-se a seguinte fórmula (3):

$$v = v_0 + \sum \frac{g_i + g_{i+1}}{2} l_i + g_n l_n \left(\frac{1}{3}\right) \quad [3]$$

Em que: v : volume total; v_0 : volume do toco; g_i : área transversal na i -ésima posição; l_i : comprimento da seção na i -ésima posição; g_n : área transversal do cone; l_n : comprimento do cone.

4.6 BANCO DE DADOS PARA O AJUSTE DOS MODELOS BIOMÉTRICOS

As 40 árvores utilizadas na ANATRO (item 4.5) constituiu-se no banco de dados para os ajustes dos modelos de crescimento em diâmetro. Para o ajuste desses modelos foram utilizados somente dados reconstituídos da ANATRO com diâmetros com casca iguais ou superiores a 10 cm. A inclusão somente de dados a partir de 10 cm se deve ao limite de inclusão considerado no censo florestal da espécie e considerando que todas as projeções diamétricas para as alternativas de manejo adotaram esse mesmo limite de diâmetro. Os modelos biométricos foram ajustados com 644 pares de dados (DAP c/c) observados, gerados pela ANATRO.

A ANATRO reconstitui o crescimento diamétrico com casca apenas para a idade atual da árvore (idade na derrubada). Os diâmetros nas demais idades são reconstituídos sem casca. Por este motivo, todos os diâmetros sem casca ao longo do tronco, tiveram suas cascas reconstituídas por meio do modelo (6) que estima esta variável. Para o ajuste desse modelo, utilizou-se o banco de dados das 80 árvores cubadas descritas no item 4.5, o qual contemplou uma ampla variação de idades.

$$d_{c/c} = \beta_0 + \beta_1 * d_{s/c} \quad [4]$$

Em que: $d_{c/c}$ = diâmetro a 1,3 m do solo com casca, em cm; $d_{s/c}$ = diâmetro a 1,3 m do solo sem casca, em cm; β_0, β_1 : coeficientes do modelo.

4.7 AJUSTE DOS MODELOS

A demanda crescente por informações que sirvam de suporte na quantificação da matéria-prima florestal torna sempre constante a necessidade de buscar métodos eficientes de estimar o volume parcial (comercial) ou total das florestas. Tais métodos devem quantificar o estoque atual e futuro de maneira acurada e eficiente, servindo de base para os planos de manejo e ações silviculturais, objetivando a rentabilidade máxima. O desenvolvimento de modelos dendrométricos quando criteriosamente elaborados podem auxiliar diretamente na elaboração dos modelos de manejo tanto para a totalidade da floresta, como para grupos de espécie ou, como no caso desta pesquisa, para uma única espécie.

Informações referentes ao estoque atual e futuro de madeira são ferramentas essenciais para a elaboração de um plano de manejo. Por este motivo, foram ajustados diferentes modelos hipsométricos, volumétricos e de afilamento, além de modelos de crescimento e produção. Os modelos que apresentaram melhores estatísticas foram utilizados na elaboração das diferentes propostas de manejo florestal para a uva-do-japão. Por intermédio dos modelos de crescimento e produção, realizou-se a prognose do crescimento e da produção ao longo do horizonte de planejamento (HP) para todos os indivíduos levantados no censo. Além disto, com a função de afilamento foi possível realizar o sortimento atual da floresta, bem como, o sortimento em cada um dos ciclos de corte propostos. A definição do regime de manejo mais adequado para a presente pesquisa, dentre outros aspectos, leva em consideração o resultado financeiro da produção e a própria produção para todas as intervenções ao longo do HP.

4.7.1 Modelos hipsométricos

A medição da altura total das árvores é difícil e dispendiosa, principalmente em se tratando de florestas nativas. Assim, não foi realizado o levantamento das alturas totais durante o censo florestal. Entretanto, esta é uma variável indispensável para a estimativa do volume total do fuste e do volume dos galhos que, neste trabalho, recebeu atenção especial devido à importância para a elaboração das propostas de manejo da espécie. Todos os modelos hipsométricos testados (Tabela 1) utilizaram exclusivamente o DAP como variável independente e foram ajustados a partir do banco de dados das 80 árvores cubadas (item 4.5).

Tabela 1. Modelos testados para estimar altura total (m)

Autor/Fonte	Modelo	Nº
Petterson	$\frac{1}{(h-1,3)^{\left(\frac{1}{3}\right)}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right)$	[5]
Finger	$\log(h-1,3) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right)$	[6]
Loetsch	$\log h = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right)$	[7]
Loetsch	$\log h = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	[8]
Stoffels	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	[9]
Henricksen	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	[10]
Finger	$\frac{1}{\sqrt{(h-1,3)}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right)$	[11]
Barros et al.	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d^2}\right)$	[12]
Finger	$h = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_1 d^3$	[13]
Gompertz	$h = \beta_0 \left(\exp(-\beta_1 \exp(-\beta_2 d)) \right)$	[14]
Chapman-Richards	$h = \beta_0 \left(1 + \exp(-\beta_1 - \beta_2 d) \right)^{\frac{-1}{\beta_3}}$	[15]

h: altura total (m); *d*: diâmetro a 1,3 m do solo (cm); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: coeficientes do modelo.

Para a análise e seleção dos modelos considerou-se o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), o erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$), a análise gráfica da distribuição dos resíduos ($Res\%$) e a significância de cada coeficiente ($\alpha=5\%$), a partir do valor *p*. A função com melhor desempenho segundo os critérios descritos foi selecionada.

Caso o coeficiente não seja significativo, ele deverá ser excluído e a equação deverá ser reajustada. Gujarati (2006) descreve o *valor p* como o nível de significância exato ou observado que, tecnicamente, é o menor nível de significância ao qual a hipótese nula pode ser rejeitada.

Tanto o R^2_{adj} como o $S_{yx}\%$ foram recalculados quando a variável dependente do modelo não era a variável de interesse. Nestas situações, o coeficiente de determinação foi recalculado pelo Índice de Schlaegel e, anteriormente, foi realizada a correção da discrepância logarítmica a partir do Índice de Meyer (IM) para os modelos logarítmicos.

A função hipsométrica foi utilizada apenas para estimar a altura total das árvores a partir do DAP atual (censo no ano 2012), considerando que as projeções dessa variável foram realizadas a partir dessa estimativa.

4.7.2 Modelos volumétricos

Os modelos volumétricos (Tabela 2) foram ajustados a partir do banco de dados da cubagem (item 4.5), testando-se quatro modelos de simples entrada e quatro modelos de dupla entrada.

Tabela 2. Modelos matemáticos testados para estimar o volume total com casca.

Autor/Fonte	Modelo	Nº
Berkhout	$v = \beta_0 + d^{\beta_1}$	[16]
Hohenadl - Krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	[17]
Brenac	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 \left(\frac{1}{d}\right)$	[18]
Kopezky - Gehrhardt	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2$	[19]
S.H. Spurr	$v = \beta_0 + \beta_1 (d^2 h)$	[20]
Schumacher-Hall	$v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$	[21]
Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 (d^2 h) + \beta_3 h$	[22]
Näslund	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 (d^2 h) + \beta_3 (dh^2) + \beta_3 h^2$	[23]

v : volume (m^3); d : diâmetro a 1,3 m do solo (cm); h : altura total (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: coeficientes do modelo.

Todos os ajustes não lineares foram feitos pelo algoritmo de Levenberg-Marquardt. Os modelos foram avaliados da mesma forma que os modelos hipsométricos (item 4.7.1).

O modelo volumétrico selecionado foi utilizado para estimar o volume das árvores do censo florestal, grupo II, ou seja, apenas para as árvores classificadas em campo com potencial para produzir apenas volume energia, conforme detalhado no item 4.2.

4.7.3 Funções de afilamento

As funções de afilamento foram ajustadas e avaliadas com o objetivo de estimar o sortimento volumétrico (madeira serraria e madeira energia). Assim sendo, somente para as árvores classificadas no grupo I (item 4.2). A tipificação da matéria-prima é extremamente importante para a aplicação de qualquer técnica de manejo florestal, pois seus resultados econômicos derivam do valor financeiro de seus produtos. Em qualquer caso que o mercado valorize diferentemente os produtos oriundos do manejo, o ideal é que, no mínimo, sejam avaliados os resultados econômicos advindos desta diferenciação.

Nesta pesquisa todas as árvores do Grupo I tiveram seus sortimentos realizados ao longo do HP, portanto, é dada uma grande importância para as funções de afilamento. O banco de dados utilizado para o ajuste das funções de afilamento advém das 80 árvores cubadas. Foram ajustados e avaliados quatro modelos de afilamento (Tabela 3), com o intuito de estimar o sortimento atual e ao longo do horizonte de planejamento do manejo.

Tabela 3. Modelos matemáticos testados para expressar o perfil longitudinal do tronco e estimar o sortimento volumétrico.

Autor/Fonte	Modelo	Nº
Kozak et al. (1969)	$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} - 1\right) + \beta_2 \left(\left(\frac{h_i}{h}\right)^2 - 1\right)$	[24]
Schöpfer (1966)	$\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h}\right)^5$	[25]
Hradetzky (1976)	$\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{h}\right)^{pn}$	[26]
Gracia et al. (1993)	$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{\frac{h_i}{h}} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)$	[27]

d_i: diâmetro (cm) correspondente a uma altura *h_i* (m); *d*: diâmetro a 1,3m de altura (cm); *h*: altura total (m); *h_i*: altura até uma seção *i* do fuste (m); β_{is} : coeficientes do modelo; *pn*: potências do modelo.

Os ajustes das funções de afilamento foram avaliados para o volume total e para volumes parciais nas seguintes alturas ao longo do tronco: 0,1 a 2,3 m, 0,1 a 6,3 m e 0,1 a 10,3 m. Além disto, as funções foram avaliadas para estimar diâmetros nas seguintes alturas ao longo do fuste: 2,3 m, 6,3 m e 10,3 m.

Os modelos de afilamento foram avaliados por meio da mesma metodologia descrita no item 4.7.1 e o mesmo procedimento foi adotado para avaliar os volumes e os diâmetros parciais. A função de afilamento que apresentou melhores parâmetros estatísticos para o conjunto de todas as avaliações foi selecionada para compor o conjunto de ferramentas dos modelos de manejo propostos para a uva-do-japão.

A função de afilamento selecionada foi utilizada para estimar o volume das árvores do censo florestal, grupo I, ou seja, as árvores classificadas em campo com potencial para produzir volume para serraria.

4.7.4 Modelagem do crescimento

A grande diversidade de idades para as muitas espécies que se desenvolvem nas florestas nativas decorre do processo contínuo de regeneração natural. Mesmo sendo possível a aplicação de técnicas que quantifiquem as idades das árvores que apresentam anéis de crescimento anual, o conhecimento da idade real de árvores individuais pode não ter aplicação prática, pois a idade pode ter pouca relação com o crescimento. Por exemplo, nas florestas nativas uma árvore com 20 anos de idade pode possuir diâmetro muito superior a uma árvore com 30 anos da mesma espécie, o crescimento está interligado com uma diversidade de fatores de mensuração limitada.

A prognose do crescimento de *Hovenia dulcis* deve seguir os mesmos princípios que os modelos utilizados para as espécies nativas, isto é, sem informações da idade real dos indivíduos.

Dois grupos distintos de modelos de crescimento e produção foram ajustados nesta pesquisa, os modelos globais que consideram apenas a idade como variável independente e dois modelos de árvore individual. No caso dos modelos globais três deles são conhecidos como *mecanísticos* que, segundo Campos e Leite (2009) são modelos derivados de considerações biológicas muito utilizados na área florestal devido a flexibilidade para os propósitos empregados. Outros dois modelos globais que possuem outras relações funcionais foram testados.

Os modelos de árvores individuais independentes da distância foram os modelos utilizados, em razão da falta de informações das árvores vizinhas. Nas florestas inequidistantes, o ajuste destes modelos, quando se pretende simular produções futuras e estruturas futuras das florestas, deveriam considerar a combinação entre a função de crescimento (projeção das dimensões das árvores individuais) com a estimativa da mortalidade e do ingresso, podendo os mesmos serem definidos por métodos determinísticos ou estocásticos.

4.7.4.1 Modelagem do crescimento diamétrico com funções globais

Os modelos ajustados estão listados na Tabela 4. Os modelos (28), (29) e (30) são derivados de considerações biológicas, enquanto os modelos (31) e (34) consideram outras relações funcionais.

Tabela 4. Modelos matemáticos para a avaliação do crescimento e produção.

Autor/Fonte	Modelo	Nº
Chapman-Richards	$d_j = \alpha \{1 - b \exp[-k(I_j)]\}^{\frac{1}{1-m}}$	[28]
Gompertz	$d_j = \alpha \exp\{-b[\exp(-kI_j)]\}$	[29]
Logístico	$d_j = \frac{a}{1 + b [\exp(-kI_j)]}$	[30]
Hossfeld	$d_j = I_j^{\beta_2} (\beta_1 + I_j^{\beta_2} \beta_0^{-1})$	[31]
Korf	$d_j = \beta_0 \exp(-\beta_1 I_j^{\beta_2})$	[32]

d_j : crescimento cumulativo do diâmetro na j -ésima medição (cm); α : valor assintótico; b : parâmetro de escala, sem interpretação biológica; k : taxa de crescimento biológico intrínseca; I_j : refere-se ano na j -ésima medição; m : parâmetro de forma que define o ponto de inflexão; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$: coeficientes do modelo.

4.7.4.2 Modelagem do crescimento diamétrico com modelos de árvores individuais

O modelo de crescimento (33) descrito na Tabela 5 foi proposto por Pienaar e Shiver (1981), originalmente, para estimar sobrevivência. A aplicação deste modelo foi sugerida por Campos e Leite (2009) para estimar o diâmetro e a altura de árvores individuais em idades futuras. Os mesmos autores sugerem a aplicação do modelo quando, a partir de dados da análise de tronco parcial (ATP), pretende-se projetar os diâmetros de todas as árvores mensuradas em parcelas temporárias para as idades anteriores à idade de tráfego.

Como a base de dados utilizadas na presente pesquisa para ajustes dos modelos provém da análise de tronco completa, não há necessidade de projetar diâmetros em idades anteriores, pois todas as informações da distribuição dos diâmetros em cada uma das idades estão disponíveis para todas as árvores amostradas. Portanto, a proposta de utilização do modelo, utiliza os mesmos princípios descritos por Campos e Leite (2009), que trata da prognose do crescimento em idades futuras.

Tabela 5. Modelos de árvores individuais para projetar o crescimento em diâmetro.

Autor/Fonte	Modelo	Nº
Pienaar e Shiver (1981)	$d_2 = d_1 \exp^{-\beta_0(I_2^{\beta_1} - I_1^{\beta_1})}$	[33]
Desconhecido*	$d_2 = \beta_0 + \beta_1 d_1$	[34]

*Variação do modelo proposto por Della-Flora et al. (2004) ($ic=bo+b1*dap$) utilizado para estimar o DAP futuro por Chassot et al. 2011; d_2 : diâmetro futuro; d_1 : diâmetro atual; I_2 : idade futura; I_1 : idade atual.

O modelo (33) estima o diâmetro futuro em qualquer idade desejada a partir do diâmetro e da idade atual. Assim sendo, com a aplicação deste modelo o diâmetro futuro poderá ser predito em qualquer período desde que a idade e o diâmetro atual sejam conhecidos. No caso do modelo (34) outras relações funcionais são estabelecidas. Este modelo possui como única variável independente o DAP atual e, a prognose do diâmetro deve ser obrigatoriamente realizada para cada ano. Não há como projetar o diâmetro em qualquer idade futura sem primeiramente estimar todos os diâmetros nas idades anteriores a idade futura desejada. As projeções devem ser realizadas ano a ano, pois na modelagem o DAP futuro depende obrigatoriamente do DAP anterior.

4.7.4.3 Modelagem do crescimento em altura com modelos de árvores individuais

Para modelar o crescimento em altura foi empregado o modelo de Pienaar e Shiver (1981) modificado e o modelo que faz uso apenas da altura anterior como variável independente, os quais constam na Tabela 6. A metodologia referente à modificação no modelo de Pienaar e Shiver (1981) segue descrita no item 4.7.4.4.

Tabela 6. Modelos individuais para projetar o crescimento em altura (m).

Autor/Fonte	Modelo	Nº
Pienaar e Shiver (1981) Modificado	$h_2 = h_1 \exp^{-\beta_0(IR_2^{\beta_1} - IR_1^{\beta_1})}$	[35]
Desconhecido*	$h_2 = \beta_0 + \beta_1 * h_1$	[36]

*Variação do modelo proposto por Della-Flora et al. (2004) ($ic=bo+b1*dap$) utilizado para estimar o DAP por Chassot et al. 2011; d_2 : diâmetro futuro; d_1 : diâmetro atual; IR_2 : idade relativa futura; I_1 : idade relativa atual; h_2 : altura em uma idade futura; h_1 : altura atual; β_0, β_1 : coeficientes do modelo.

4.7.4.4 Adaptação dos modelos biométricos com ausência da idade

O objetivo da adaptação dos modelos biométricos foi viabilizar a utilização dos mesmos na projeção do crescimento diamétrico das árvores listadas no censo florestal. Como não se dispõe da idade das árvores de *Hovenia dulcis* presentes na FOM e, com o objetivo de viabilizar o emprego dos modelos de crescimento em função da idade ($d = f(I)$) na população a ser manejada, propôs-se um procedimento de adaptação dos modelos.

Esta adaptação teve como fundamento tornar a principal informação da população listada no censo, isto é, o DAP das árvores, em uma escala de idade relativa. A partir da criação desta escala foi possível utilizar modelos de crescimento e produção com a idade relativa sendo uma das variáveis independentes.

Segundo Sterba (1992), a variável diâmetro pode ser aplicada na modelagem do crescimento, substituindo a idade, variável utilizada para povoamentos equiâneos, sob a hipótese de que quanto maior o diâmetro da árvore, maior é a sua idade, já que, em florestas nativas, a idade é de difícil obtenção.

A adaptação dos modelos foi construída considerando o conceito de idade relativa que por sua vez já foi utilizado por diferentes autores. De acordo com Mackay (1961), citado por Souza et al. (1993), as medições sucessivas e periódicas realizadas nas florestas inequiâneas servem como base de dados para a geração de uma escala relativa de tempo correspondente a distribuição diamétrica da floresta, de modo a atribuir uma idade relativa a cada uma das classes diamétricas.

Com base nas informações das idades relativas de cada uma das classes, é possível estimar o tempo médio necessário para que as árvores atinjam outras classes diamétricas, por exemplo, uma classe com diâmetro ideal de corte (SOUZA et al., 1993).

Araujo et al. (1993) estimaram idades relativas e o tempo de passagem médio necessário para que todas as árvores de uma classe diamétrica migrassem para a classe diamétrica superior. Para tal, determinou-se a relação por meio de regressão linear entre o incremento periódico médio anual em diâmetro por classe diamétrica e os respectivos centros de classe.

Souza e Soares (2013) descreveram a construção da escala de idades relativas para determinar o tempo em que as árvores demoram para atingir outras classes diamétricas. O primeiro valor da escala das idades relativas é obtido pelo quociente do menor DAP e seu respectivo incremento periódico em diâmetro. Com a definição do primeiro valor na escala de idades relativas, soma-se um ano para cada incremento em diâmetro anual estimado. O tempo de passagem é definido pela diferença da idade correspondente ao menor DAP da classe diamétrica superior com a primeira idade representada pelo menor DAP da classe inferior.

A adaptação dos modelos sugerida nesta pesquisa foi realizada somente com os dados reconstituídos da ANATRO para diâmetros com casca iguais ou superiores a 10 cm (item 4.4). A adaptação decorre da substituição da variável independente idade em uma escala de idades relativas no ajuste dos modelos. A base para a determinação da escala de idade relativa utiliza dados de incremento em diâmetro que, também foi utilizado por Araujo et al. (1993) e Souza e Soares (2013) na construção de idades relativas. Entretanto, há grande diferença entre o método proposto nesta pesquisa e o métodos descrito pelos demais autores:

- a) A escala de idades relativas desta pesquisa foi estabelecida por árvore individual com base no primeiro DAP igual ou superior a 10 cm da própria árvore e o IMA da espécie.
- b) Utiliza-se diretamente da escala de idades relativas como variável independente em substituição à idade observada no ajuste dos modelos de crescimento em diâmetro.

A escala de idades relativas foi construída da seguinte forma:

- a) A primeira idade da escala relativa de cada uma das 40 árvores amostradas pela ANATRO é exatamente igual ao valor do primeiro DAP acima de 10 cm para cada árvore-amostra.

- b) A segunda idade da escala de idades relativas é o resultado da soma do valor da primeira idade mais o valor do incremento médio anual (IMA) em diâmetro da espécie. O IMA da espécie utilizado foi determinado com os dados da ANATRO para diâmetros iguais ou superiores a 10 cm. O valor encontrado foi de 1,2 cm, porém optou-se pela utilização de um valor mais conservador de 1,0 cm/ano.
- c) A terceira idade da escala relativa é o resultado da soma da primeira idade mais duas vezes o valor do IMA e, assim, sucessivamente até a última referência de DAP para cada uma das árvores amostradas.

A construção da escala de idades relativas é realizada de maneira individual para cada árvore amostrada e não há nenhuma relação com a idade real, pois esta informação como dito anteriormente não está à disposição para *Hovenia dulcis* presentes na FOM.

A escala de idades relativas para a determinação da altura total seguiu a mesma metodologia descrita com apenas duas diferenças, a substituição do DAP inicial pela altura total (inicial) quando a árvore passa a ter um valor superior a 10 cm de DAP. Evidentemente neste caso, utilizou-se o IMA em altura advindo da análise de tronco.

A Tabela 7 descreve a forma como foi construída a escala de idades relativas. Observa-se que na construção da idade relativa para a árvore 7 a primeira idade relativa (coluna 5) é exatamente igual ao valor do DAP. A segunda idade é a soma da primeira idade mais o IMA da espécie e, assim sucessivamente. A idade relativa para as demais árvores segue a mesma orientação descrita para a árvore 7.

Os modelos globais utilizados apresentam a idade como a única variável independente, utilizada para estimar diretamente o diâmetro, a altura ou o volume. Por este motivo, no ajuste do modelo adaptado, cada idade relativa estima diretamente seu diâmetro, altura ou volume correspondente.

O modelo de árvore individual, que possui a idade como uma das variáveis independentes, segue um padrão diferente se comparado aos demais modelos, pois o mesmo emprega três variáveis independentes, são elas:

- a) O DAP do ano anterior (dap_1) em relação ao DAP futuro (dap_2) que será estimado
- b) Idade relativa no ano do dap_1 (I_1)
- c) Idade relativa no ano do dap_2 (I_2)

Quando se pretende prognosticar outros parâmetros como a altura ou o volume, a variável independente DAP_1 será trocada por h_1 (altura no ano 1) ou v_1 (volume no ano 1). De qualquer forma, para realizar a projeção da variável dependente (DAP_2 , h_2 ou v_2) sempre haverá a necessidade de incluir o valor da variável independente no ano anterior (DAP_1 , h_1 ou v_1), o valor da idade relativa no mesmo ano da variável independente (I_1) e por último a idade relativa (I_2) no mesmo ano da variável dependente que está sendo prognosticada. Logo, devido a estas restrições, o DAP utilizado como variável independente na primeira idade na sequência do ajuste para cada árvore-amostra não terá seu valor estimado.

Tabela 7. Metodologia utilizada na determinação da escala de idades relativas com dados de duas árvores amostradas pela ANATRO.

Nº Árvore	d c/c (cm)*	Idade Observada*	Cálculo Idade Relativa	Idade Relativa
7	10,74	10	d_7^1	10,74
7	12,26	11	$d_7 + IMA$	11,74
7	14,71	12	$d_7 + 2 \cdot IMA$	12,74
7	16,85	13	$d_7 + 3 \cdot IMA$	13,74
7	19,17	14	$d_7 + 4 \cdot IMA$	14,74
7	21,66	15	$d_7 + 5 \cdot IMA$	15,74
7	23,90	16	$d_7 + 6 \cdot IMA$	16,74
7	25,65	17	$d_7 + 7 \cdot IMA$	17,74
7	27,35	18	$d_7 + 8 \cdot IMA$	18,74
7	29,12	19	$d_7 + 9 \cdot IMA$	19,74
7	30,47	20	$d_7 + 10 \cdot IMA$	20,74
⋮				
22	10,39	15	d_{22}^2	10,39
22	11,53	16	$d_{22} + IMA$	11,39
22	12,87	17	$d_{22} + 2 \cdot IMA$	12,39
22	14,02	18	$d_{22} + 3 \cdot IMA$	13,39
22	15,10	19	$d_{22} + 4 \cdot IMA$	14,39
22	15,81	20	$d_{22} + 5 \cdot IMA$	15,39
22	16,13	21	$d_{22} + 6 \cdot IMA$	16,39
22	16,76	22	$d_{22} + 7 \cdot IMA$	17,39
22	17,89	23	$d_{22} + 8 \cdot IMA$	18,39
22	19,23	24	$d_{22} + 9 \cdot IMA$	19,39
22	21,02	25	$d_{22} + 10 \cdot IMA$	20,39
22	22,06	26	$d_{22} + 11 \cdot IMA$	21,39
22	22,92	27	$d_{22} + 12 \cdot IMA$	22,39

*DAP e idade da ANATRO; ¹Primeiro DAP da árvore 7 acima de 10 cm; ²Primeiro DAP da árvore número 22 acima de 10 cm; *d*: diâmetro a 1,3 n do solo; *IMA*: incremento médio anual.

A prognose do crescimento tem caráter fundamental para a definição do regime de manejo florestal mais adequado para a uva-do-japão. Por este motivo, a prognose foi realizada

para a totalidade do HP. O ponto de partida para a projeção do crescimento em diâmetro é o DAP mensurado no censo florestal que corresponde a primeira idade relativa inserida no modelo. A segunda idade é a soma da primeira idade (DAP do censo) mais 1 (IMA) e assim sucessivamente até o último ano do HP, mesmo procedimento utilizado para os ajustes dos modelos. Todos os modelos de crescimento ajustados foram comparados entre si de acordo com as estatísticas e a metodologia descritas no item 4.7.1

4.8 FLUXOGRAMA DO BANCO DE DADOS E SUAS APLICAÇÕES

Na Figura 6 observa-se o fluxograma do banco de dados e suas aplicações no desenvolvimento desta pesquisa.



Figura 6. Fluxograma do banco de dados e suas aplicações.

4.9 AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO QUANTO AO REALISMO BIOLÓGICO

Como para quase todos os modelos foram propostas modificações nas variáveis independentes, o que tornou os modelos distintos de seus análogos originais, optou-se pela utilização de mais um critério de avaliação a fim de verificar o realismo biológico dos modelos em função da escala de idade relativa.

A partir do banco de dados da ANATRO determinou-se o incremento médio em diâmetro em cada classe diamétrica (IMC), com o propósito de comparar os valores do IMC

observados com os valores estimados pelos modelos ajustados. Os dados de ANATRO indicaram que quanto maior o diâmetro da árvore de *Hovenia dulcis* menor é o incremento diamétrico. Partindo-se deste pressuposto, espera-se que os modelos de crescimento ajustados apresentem esta tendência com o menor erro possível. O incremento médio em cada classe de diâmetro foi obtido da seguinte forma:

- a) Primeiramente, os dados da ANATRO foram agrupados em classes de diâmetro. Utilizou-se o mesmo agrupamento adotado para as árvores listadas no censo, conforme o item 4.3
- b) Os dados da ANATRO permitem determinar o ICA para cada árvore individualmente em qualquer idade em que a mesma se encontre. Com base no ICA, determinou-se o incremento médio por classe de diâmetro. Por meio da média do ICA nos momentos em que o DAP das árvores se encontravam na faixa de diâmetro estipulada pelo agrupamento em classes. Na Tabela 8 consta a exemplificação da metodologia para definir o incremento médio da classe (IMC).

A partir do IMC observado, as estimativas dos modelos biométricos foram avaliadas pelo erro percentual absoluto (EPA) e pelo erro percentual absoluto médio (EPAM), conforme segue:

$$EPA_c = \frac{(|IMC_c - IMC'_c|)}{IMC_c} \cdot 100 \quad [37]$$

Em que: EPA_c : erro percentual absoluto da c -ésima classe de diâmetro; IMC_c : incremento médio por classe observado para a c -ésima classe de diâmetro, em cm; IMC'_c : incremento médio por classe estimado para a c -ésima classe de diâmetro.

$$EPAM = \frac{(\sum_{c=1}^n |EPA_c|)}{n} \quad [38]$$

Em que: $EPAM$: erro percentual absoluto médio do modelo; EPA_c : erro percentual absoluto para a c -ésima classe de diâmetro; n : número total de classes.

Tabela 8. Exemplo da metodologia utilizada na determinação do incremento médio por classe de diâmetro (IMC) com dados para uma árvore amostrada pela ANATRO.

N° Árv.	Idade* Obs.	d c/c* (cm)	ICA (cm)	Classes de diâmetro (cm)															
				[10 – 13)	[13 – 16)	[16 – 19)	[19 – 22)	22 – 25)	[25 – 28)	[28 – 31)	[31 – 34)								
7	8	11,36	1,55	1,55															
7	9	12,91	1,45	1,45															
7	10	14,36	1,14			1,14													
7	11	15,50	1,29			1,29													
7	12	16,79	1,23				1,23												
7	13	18,03	1,02				1,02												
7	14	19,05	0,96					0,96											
7	15	20,00	0,78					0,78											
7	16	20,78	0,96					0,96											
7	17	21,75	0,96					0,96											
7	18	22,71	0,77						0,77										
7	19	23,47	0,52						0,52										
7	20	23,99	1,01						1,01										
7	21	25,00	0,63							0,63									
7	22	25,63	0,49							0,49									
7	23	26,13	0,71							0,71									
7	24	26,83	0,47							0,47									
7	25	27,31	0,58							0,58									
7	26	27,88	0,63							0,63									
7	27	28,51	0,68														0,68		
7	28	29,18	0,38														0,38		
7	29	29,56	0,51														0,51		
7	30	30,07	0,42														0,42		
7	31	30,49	0,29														0,29		
7	32	30,79	0,38														0,38		
7	33	31,17	0,29															0,29	
7	34	31,46	0,29															0,29	
7	35	31,75	-																
IMC				1,50	1,22	1,13	0,92	0,77	0,59	0,44	0,29								

*DAP e idade da ANATRO; d: diâmetro a 1,3 n do solo; IMC: incremento médio por classe de diâmetro para a árvore 7.

Os modelos de crescimento ao estimarem os diâmetros também estimam os incrementos correntes que podem ser avaliados por período ou por ano, dependendo do objetivo da análise.

Machado (2009) utilizou o EPA e o EPAM na avaliação da estimativa do volume total conforme o método de cálculo e o comprimento das toras em relação aos dados reais obtidos com o xilômetro.

O EPAM indica o tamanho médio do erro e é a média de todos os erros absolutos percentuais, expresso em porcentagem do valor observado, independente do erro ser positivo ou negativo (LOPES, 2002). Segundo Lewis (1997), o EPAM é considerado uma das medidas de erro mais utilizadas para avaliação de métodos de previsão. O EPA indica o tamanho do erro

apenas para a classe avaliada e, naturalmente, serve para comparar o erro existente por classe, sendo expresso em porcentagem.

O modelo de crescimento em diâmetro foi selecionado com base na metodologia descrita neste item, juntamente com as estatísticas dos modelos de regressão e a análise gráfica dos resíduos.

4.10 DETERMINAÇÃO DO INGRESSO E DA MORTALIDADE

Para avaliar o ingresso e a mortalidade da uva-do-japão nos remanescentes florestais, pertencentes às propriedades rurais, fruto da presente pesquisa e onde realizou-se o censo da espécie, parcelas permanentes foram remedidas. As parcelas permanentes foram instaladas em 2011 com o objetivo de diagnosticar os remanescentes florestais para a implantação de técnicas de manejo, enriquecimento ou recuperação. Assim, para 8 propriedades rurais onde o inventário florestal realizado pelo projeto “Imbituvão” e publicado por Figueiredo Filho et al. (2013) apontou a existência da espécie, a remedição das parcelas permanentes foi executada no ano de 2014.

As propriedades rurais possuem remanescentes de diversos tamanhos formas e, em virtude desta condição durante, a instalação das parcelas em 2011, não foi possível utilizar em todas as propriedades parcelas de 2.000 m². Nestes casos, as parcelas foram redimensionadas em amostras com 400, 1.200 e/ou 1.600 m², dependendo das condições da área onde seriam instaladas.

No primeiro ano de instalação/medição o ponto de medição do diâmetro (PMD) foi demarcado com tinta azul à base de água e acima deste ponto, as árvores foram identificadas com uma plaqueta de alumínio. Além disso, todos os indivíduos amostrados foram posicionados em um sistema X, Y. Outras avaliações da estrutura interna dos fragmentos florestais foram realizadas conforme o item 4.2.

A área total amostrada nas parcelas permanentes foi de 9,5 hectares. Na segunda medição novamente todos os indivíduos arbóreos com DAP > 10 cm foram remedidos. Todas as árvores que atingiram um DAP > 10 cm em 2014 foram computadas como ingresso. Para determinar a taxa de ingresso utilizou-se a expressão (39).

$$ti\% = \left(\frac{N_i}{N} \cdot 100 \right) / P \quad [39]$$

Em que: *ti*: taxa de ingresso anual; *N_i*: número de árvores que ingressaram em 2014; *N*: número de árvores existentes em 2011; *P*: período em anos entre as medições.

A busca pela taxa de ingresso mostrou-se fundamental para a presente pesquisa, devido principalmente aos modelos de manejo propostos estarem relacionados diretamente com o controle pela regulação do número de árvores porta-sementes, ou seja, pela taxa de ingresso define-se a quantidade de indivíduos explorados por ciclo de corte. O detalhamento da metodologia utilizada para as propostas de manejo segue descrita no item 4.12.

Com os mesmos dados provenientes das remedições das parcelas permanentes a mortalidade foi avaliada. A expressão (40) foi utilizada para avaliar a mortalidade:

$$tm\% = \left(\frac{N_m}{N} \cdot 100 \right) / P \quad [40]$$

Em que: *tm*: taxa de mortalidade; *N_m*: número de árvores que morreram em 2014; *N*: número de árvores existentes em 2011; *P*: período em anos entre as medições.

4.11 AVALIAÇÃO DO ESTOQUE ATUAL

A avaliação do estoque atual tem como objetivo principal quantificar e valorar a produção de toda a população de uva-do-japão presente no censo. Estas informações servem como base para caracterizar a situação que a espécie encontra-se atualmente na região do estudo, a fim de delimitar a sua importância e suas potencialidades para a elaboração de um plano de manejo. Além disto, o conhecimento da situação atual serviu a título de comparação com as propostas de manejo, desta forma, torna-se possível a comparação teórica entre os resultados de uma exploração visando a erradicação (colheita de todos os indivíduos) e os resultados de um método sustentável com explorações periódicas e constantes ao longo do tempo.

O estoque atual, isto é, o estoque para o ano zero do horizonte de planejamento (HP), foi quantificado e qualificado. A quantificação volumétrica e financeira foi realizada por classes de diâmetro e para todos os indivíduos levantados no censo florestal da espécie. A quantificação

e a qualificação do volume seguiu a proposta de classificação do item 4.2 que, por sua vez, divide as árvores listadas no censo em dois grupos distintos: árvores com volume serraria (grupo I) e árvores com volume apenas para energia (grupo II).

As estimativas volumétricas do fuste para os indivíduos do grupo II foram realizadas com a equação de volume (item 4.7.2) de melhor desempenho segundo os critérios de avaliação dos modelos de regressão. O sortimento do fuste das árvores do grupo I foi realizado com a função de afilamento (item 4.7.3) que apresentou o melhor ajuste entre todos os modelos testados.

O volume dos galhos foi considerado em sua totalidade como volume energia e foi quantificado para todas as árvores listadas no censo. Sua determinação realizou-se por meio de um modelo de biomassa dos galhos ajustado para *Hovenia dulcis* na mesma região onde desenvolveu-se esta pesquisa.

4.11.1 Volume do fuste (serraria e energia) para árvores classificadas no Grupo I

A metodologia a seguir descrita refere-se à classificação do sortimento apenas para as árvores do Grupo I, considerando que todo o volume das árvores do Grupo II foi destinado para energia.

Um dos objetivos da avaliação do estoque atual foi quantificar o sortimento (volume serraria e volume energia) do fuste para o tronco inteiro da árvore. Na quantificação do volume serraria, utilizou-se a altura na base da copa das árvores como limite máximo possível do comprimento do fuste destinado a serraria. O comprimento máximo para o volume serraria é a própria altura na base da copa e para isto, neste ponto, o diâmetro mínimo é de 18 cm. Entretanto, as árvores podem não atingir as dimensões adequadas como volume serraria na base da copa, mas continuam possuindo fuste com volume serraria. Neste caso, o fuste deverá ter diâmetro mínimo ≥ 18 cm com comprimento ≥ 3 metros. O ponto onde todas as dimensões mínimas foram atingidas foi denominado nesta pesquisa como altura para serraria.

Todo o fuste acima da altura para serraria foi quantificado pela função de afilamento, considerando que essa parte do fuste não tem potencial de desdobro e seu volume foi quantificado e classificado como volume energia.

O mercado regional da uva-do-japão ainda pode ser considerado incipiente e não apresenta um sortimento específico para o volume passível de desdobro. Por este motivo, foi

utilizado o sortimento regional padrão adotado para a Araucária. Desta forma, a presente pesquisa estabeleceu como 18 cm o diâmetro mínimo de topo e como 3 metros o comprimento mínimo da tora para serraria. A Figura 7 mostra o sortimento do fuste definidos em nível de fuste individual.

Todo o volume do fuste das árvores não considerado volume serraria, naturalmente foram direcionados para volume energia, o qual foi calculado pela equação (41).

$$V_{energia} = V_t - V_s \quad [41]$$

Em que: *V_{energia}*: volume do fuste energia, em m³; *V_t*: volume total do fuste, em m³; *V_s*: volume serraria do fuste, em m³.

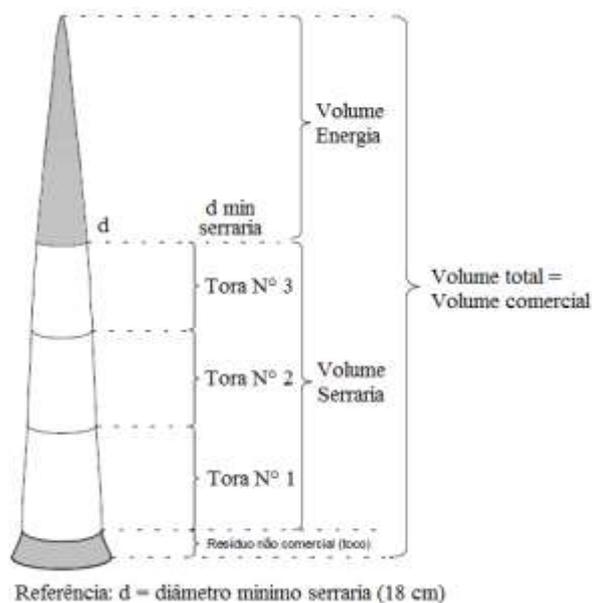


Figura 7. Sortimento do volume do fuste.

Fonte: Adaptado de Arce et al. (2004).

A partir da divisão do volume do fuste das árvores em serraria e energia, foi realizada a análise das estimativas da produção por produto e por classe diamétrica. Sendo assim, parâmetros de avaliação foram obtidos para cada classe diamétrica por meio da determinação do volume total, volume serraria e volume energia, bem como, da árvore média. Dentro deste panorama, foi possível identificar e ranquear as classes mais produtivas. As equações (42) e (43) foram utilizadas na quantificação do volume total produzido e do volume total médio por classe diamétrica, respectivamente.

$$Vt = \sum_{j=1}^J Q_j \quad [42]$$

Em que: Vt : volume total por classe de diâmetro (volume serraria mais volume energia), em m^3 ; Q_j : quantidade do j -ésimo produto da classe de diâmetro, em m^3 ; J : número total de produtos.

$$Vm = \frac{\sum_{j=1}^J Q_j}{n} \quad [43]$$

Em que: Vm : volume médio individual por classe de diâmetro, em m^3 ; Q_j : quantidade do j -ésimo produto da classe de diâmetro, em m^3 ; n : número total de indivíduos da classe de diâmetro; J : número total de produtos.

O volume serraria foi quantificado pela equação (44) e o volume médio serraria pela equação (45), ambos os volumes foram calculados por classe diamétrica.

$$Vs = \sum_{j=1}^J Q_j \quad [44]$$

Em que: Vs : volume serraria por classe de diâmetro, em m^3 ; Q_j : quantidade do j -ésimo produto (volume serraria) da classe de diâmetro, em m^3 ; J : número total de produtos.

$$Vms = \frac{\sum_{j=1}^J Q_j}{n} \quad [45]$$

Em que: Vms : volume médio individual serraria por classe de diâmetro, em m^3 ; Q_j : quantidade do j -ésimo produto (volume serraria) da classe de diâmetro, em m^3 ; n : número total de indivíduos da classe de diâmetro; J : número total de produtos.

4.11.2 Volume dos galhos

Valerio et al. (2007) realizaram o ajuste de diversas equações para estimar a biomassa dos diferentes componentes de *Hovenia dulcis* na região de Irati, Paraná, com o propósito de servir para estudos relacionados com sequestro de carbono atmosférico, justificado pelas

elevadas taxas de crescimento da espécie. As trinta árvores coletadas e avaliadas nesse trabalho mostraram que o peso dos galhos corresponde a 17,45% em relação ao peso total das árvores, sendo o segundo componente mais representativo, atrás apenas do peso do fuste que, por sua vez, continha 74,14% do peso total da árvore.

De acordo com Urbano (2007) o peso dos galhos para a espécie *Mimosa scabrella* também representou o segundo maior componente em relação ao peso total das árvores, com valores médios bastante expressivos (20,79%), o componente mais expressivo determinado novamente foi o peso do fuste, com média igual a 69,82%.

O percentual da participação da biomassa dos galhos sobre a biomassa total chama a atenção e mostra a importância do estabelecimento de procedimentos para a quantificação da biomassa dos galhos, além da quantificação do componente principal, a biomassa do fuste. Os números indicam que a biomassa dos galhos pode influenciar diretamente na análise dos resultados econômicos ou até mesmo em análises de parâmetros ambientais como é o caso do sequestro de carbono. Isto posto, na presente pesquisa, a biomassa e o volume dos galhos foi quantificado e analisado para o estoque atual e para a elaboração das propostas de manejo de *Hovenia dulcis*.

A análise e a quantificação da biomassa dos galhos foram executadas a partir da equação (46) com melhor ajuste conforme o estudo realizado por Valerio et al. (2007) que selecionou o modelo proposto por Higuchi e Carvalho Jr. (1994), com R^2_{adj} (%) igual a 90,17 e Sy_x (%) de 17,25.

$$b = 12,1955 + -1,2545d + 0,1230d^2 + 0,0039(d^2h) \quad [46]$$

Em que: b : biomassa dos galhos, em m^3 ; d : diâmetro a 1,3 m do solo; h : altura total, em metros.

A partir dos resultados obtidos com o uso da equação de biomassa e com informações da densidade média da espécie foi possível quantificar o volume dos galhos por meio da relação que descreve a equação (47).

$$v = \frac{m}{d} \quad [47]$$

Em que: v : volume em m^3 ; m : massa em kg; d : densidade em kg/m^3 .

De acordo com Carvalho (1994), a densidade básica da uva-do-japão pode variar de 0,50 a 0,72 g/cm³ e, segundo Rigatto et al. (2001), a espécie apresenta um valor médio de 0,549 g/cm³. O estudo das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Hovenia dulcis* obtidos por Digner e Hillig (2012) utilizou amostras da mesma região de origem desta pesquisa e os valores médios da densidade básica encontrados variaram de 0,59 a 0,68 g/cm³, com média geral igual a 0,64 g/cm³. Na presente pesquisa foi empregada a densidade básica média calculada nesse trabalho, devido a procedência das amostras que foram coletadas próximas a região da presente pesquisa e, ainda mais importante a coleta de dados foi efetuada em árvores não provenientes de plantios florestais.

4.11.3 Valor monetário do estoque atual

De acordo com Leuschner (1984), a estimativa do valor monetário da floresta somente é possível quando primeiro avalia-se o estoque do produto florestal, podendo este ser por espécie, por classe de tamanho e/ou, classe de qualidade, avaliação na qual só é possível mediante as informações do inventário florestal. Posteriormente, realiza-se uma pesquisa de preços praticados no mercado que, por sua vez, deverá ser multiplicado pelo estoque para a obtenção do valor monetário.

O valor monetário da população de *Hovenia dulcis* presente nas pequenas propriedades rurais a serem manejadas é de grande importância, pois serviu como referência para a caracterização da população, que por sua vez quando comparada às propostas de manejo, auxiliam na avaliação do desempenho das mesmas. A comparação entre o valor monetário atual e os valores apresentados nas propostas de manejo fundamenta a tomada de decisão de como manejar a floresta ao longo do tempo (ciclos de corte) ao invés de simplesmente explorar tudo em um único momento. Quando analisados apenas os aspectos econômicos, parte-se do princípio que as propostas de manejo da espécie trarão resultados econômicos superiores quando comparados ao resultado gerado na exploração de todos os indivíduos em um único momento.

Uma das formas de comercialização usadas pelos produtores e as serrarias/marcenarias para determinadas espécies que ocorrem nas florestas nativas da região é a venda da árvore em pé. Antes da proibição do corte da Araucária, a venda da árvore em pé era bastante comum, prática esta que persiste nos dias de hoje no Centro-Sul do Paraná, porém em muito menor

quantidade devido à necessidade de autorização do órgão ambiental para o corte dessa espécie. Neste modelo de comercialização, a madeira é retirada da floresta pelo comprador. Assim, todos os custos da colheita e transporte estão a cargo do comprador que, por conseguinte, incluem os custos no valor final da madeira. Na região de estudo, observa-se este modelo de comercialização para a uva-do-japão.

As espécies exploradas na floresta nativa na região Centro-Sul do Paraná como é o caso da Araucária e, principalmente, a uva-do-japão, geralmente têm o preço da madeira com potencial de desdobro em R\$/m³ e, no caso da madeira utilizada na produção de energia a comercialização é feita em R\$/tonelada. Estas duas formas distintas de comercialização ocorrem devido à dificuldade na mensuração do volume energia, pois o mesmo é composto pela madeira de pequenas dimensões.

Os valores médios utilizados nesta pesquisa para o modelo de comercialização da árvore em pé foram de 150 R\$/m³ e 44,80 R\$/m³, volume serraria e volume energia, respectivamente.

Como a uva-do-japão cresce espontaneamente no interior dos remanescentes florestais nativos sem nenhum cuidado ou silvicultura, pode-se afirmar que não há custos de produção. Os únicos custos para esta espécie seriam provenientes de uma eventual exploração, relacionadas com a colheita e transporte da madeira. A partir do momento que a colheita e o transporte são terceirizados os custos destas atividades são embutidos no preço final da madeira. Portanto, utilizando-se preços médios da madeira pelo modelo de comercialização da árvore em pé, tem-se que o valor monetário da população é o mesmo que o lucro obtido, ou seja, não há custos envolvidos.

A partir da quantificação do estoque atual da população segmentada em volume serraria e volume energia e, com as informações do preço médio praticado no mercado para cada um dos produtos, efetuou-se o cálculo do valor monetário da população, o qual foi realizado a partir da equação (48):

$$VMP = \sum_{j=1}^J Q_j * P \quad [48]$$

Em que: *VMP*: valor monetário da população, em R\$; *Q_j*: quantidade do *j*-ésimo produto, em m³; *P*: preço ou valor de mercado do produto, em R\$; *J*: número total de produtos.

No caso da avaliação do estoque atual os valores apresentados referem-se ao presente ano, portanto não há incidência de taxas de juros sobre o capital. As avaliações econômicas de projetos normalmente estão vinculadas ao tempo de duração dos mesmos, conhecido como horizonte de planejamento. Todo o capital investido durante o HP dos projetos, seja um projeto de manejo florestal ou não, deve retornar ao investidor de maneira que seja mais atrativo do que alguma outra forma de utilização. As opções de investir no projeto A ou no Projeto B geralmente deve estar baseada em alguma opção de retorno conhecido, ou seja, avalia-se o possível resultado econômico do projeto frente a uma outra opção de utilização do capital.

De acordo com Pindyck e Rubinfeld (1994), o custo de oportunidade pode ser conceituado como: todos os custos vinculados com as oportunidades renunciadas, caso o investidor não aplique os recursos em outra utilização de maior valor.

Além do valor do estoque da população atual, foi determinado o valor monetário da árvore média por classe diamétrica. Para a obtenção de tal valor descrito na equação (49), foi multiplicado o valor da produção (m³) da árvore média (inclui-se na produção todos os diferentes produtos gerados) pelo valor de mercado de seus produtos. Deste modo, foi possível identificar e ranquear as classes com maiores resultados financeiros.

$$VMm = \frac{\sum_{j=1}^J Q_j * P}{n} \quad [49]$$

Em que: *VMm*: valor monetário médio por classe de diâmetro, em R\$; *Q_j*: quantidade do *j*-ésimo produto da classe de diâmetro, em m³; *P*: preço ou valor de mercado do produto, em R\$; *n*: número total de indivíduos da classe de diâmetro; *J*: número total de produtos.

4.11.4 Geração de padrões ótimos de corte

O volume serraria é o produto de maior valor no manejo da uva-do-japão, devido ao seu superior valor de mercado com relação a outros produtos. Pela importância deste produto no manejo da espécie determinou-se o padrão ótimo de corte do fuste em nível individual apenas para a parte do fuste classificada como volume serraria. O padrão ótimo de corte foi obtido por meio da geração de uma lista de padrões de corte em que cada altura para serraria do fuste contém seu respectivo padrão ótimo de corte. O resultado da aplicação desta ferramenta

promove o aproveitamento máximo do comprimento do fuste com dimensões para serraria para cada árvore listada no censo florestal.

A otimização do padrão de corte teve como objetivo a maximização do comprimento do fuste aproveitável, ou seja, o aproveitamento máximo do comprimento do fuste como volume serraria. Não foi adotado um critério financeiro porque atualmente no mercado da região de Irati, Paraná, não há nenhuma diferenciação de preço por classes de diâmetro ou qualidade das toras para a uva-do-japão. Assim, todos os diâmetros e comprimentos das toras possuem o mesmo valor comercial. As classes definidas pelos diâmetros de topo com casca e pelos comprimentos de toras de 3; 3,5; 4,2 e 5 m estão na Tabela 9.

Tabela 9. Classes de sortimento para as árvores pertencentes ao grupo I*.

Produto	Diâmetro com casca (cm)	Comprimento das toras (m)
Serraria 1	>35	
Serraria 2	25 – 35	3 - 3,5 - 4,2 - 5
Serraria 3	18 – 25	
Energia	<18	-

*Árvores com potencial volume para serraria

A partir dos critérios adotados, o comprimento utilizável (hi) no diâmetro (di) foi estimado para todas as árvores, por meio da função de afilamento que apresentou melhor ajuste. As informações do DAP utilizadas como variável independente são aquelas medidas no censo florestal, pois o estoque está sendo quantificado e qualificado para o momento presente. A altura total utilizada na função de afilamento foi estimada por meio da equação hipsométrica ajustada conforme a descrição no item 4.7.1.

Conforme a tabela do sortimento comercial (Tabela 9) existem quatro comprimentos de tora, o limite máximo de toras por árvore está relacionado com a altura no ponto onde o diâmetro seja igual ou maior que 18 cm. É importante frisar que a altura para serraria foi definida como a altura limite do fuste com volume serraria, portanto, não existe em hipótese alguma volume serraria após este ponto.

Para elaborar as combinações entre os padrões de corte utilizados, o comprimento máximo somando todas as toras da árvore deveria ser menor ou igual à altura para serraria.

Portanto, o limite máximo de toras em uma única árvore é determinado pelo máximo comprimento do fuste passível de utilização como serraria.

A determinação dos possíveis arranjos (equação 50) no número de padrões de corte propostos para cada árvore descreve uma função exponencial:

$$Q = y^x \quad [50]$$

Em que: Q : número de padrões de corte da n -ésima árvore; y : número de toras dado pelo sortimento comercial; $x(n)$: número de toras.

A função Q (exponencial em y^x) resulta em diversas possibilidades de combinações entre padrões de corte para o estoque atual. Assim, para a definição do padrão ótimo de corte todos os possíveis padrões de corte foram determinados para cada árvore. Logo, somando-se o comprimento de cada tora em cada padrão de corte gerado de maneira individual por fuste tem-se a determinação do aproveitamento do fuste. O padrão ótimo de corte que maximiza o aproveitamento do fuste em nível individual foi determinado pelo maior valor da soma no comprimento das toras.

4.11.5 Estoque do carbono

Cerca de 50% da biomassa é composta por carbono (BROWN et al., 1986). Por este motivo, o fator de conversão de estoque de biomassa em estoque de carbono é de 0,5. O valor para o fator de conversão aplicado na conversão do estoque de carbono em estoque de dióxido de carbono é obtido pela razão entre a massa molecular do dióxido de carbono (CO_2) igual a 44 e a massa atômica do carbono (C), que é igual a 12. Assim, para transformar o estoque de carbono em estoque de CO_2 basta multiplicar por 3,67 (BROWN et al., 1986).

O estoque do carbono atual total fixado foi quantificado e qualificado para todas as árvores levantadas no censo e por classes de diâmetro. A fim de refinar os dados e aprofundar a análise foi proposto um agrupamento que diferencia o carbono total fixado, do carbono fixado na madeira beneficiada e do carbono fixado nos padrões de corte otimizados.

- a) Estimativa do carbono total fixado

O estoque de carbono total foi obtido com a equação (51) a partir da biomassa total equação (52), que por sua vez foi obtida por meio do somatório do volume total de todas as árvores amostradas multiplicado pela densidade média.

$$ec = 0,5 b_{total} \quad [51]$$

$$b_{total} = b_{fuste} + b_{galhos} \quad [52]$$

Em que: *ec*: estoque de carbono; 0,5: fator de conversão; *b_{total}*: biomassa total; *b_{fuste}*: biomassa do fuste; *b_{galhos}*: biomassa dos galhos.

O estoque do carbono total por classe de diâmetro foi determinado por meio da equação (53).

$$ect = \frac{(\sum_{x=1}^X V_x * d * 0,5)/1000}{n_x} \quad x = 1,2 \dots, \text{classe de diâmetro} \quad [53]$$

Em que: *ect*: estoque de carbono total por classe de diâmetro, em toneladas; *V_x*: volume total da *x*-ésima classe de diâmetro, em m³; *d*: densidade, em kg/m³; 0,5: fator de conversão; *n_x*: número total de indivíduos da *x*-ésima classe de diâmetro; *X*: número total de classes de diâmetro.

- b) Estimativa do carbono para os padrões de corte otimizados e estimativas do carbono para a madeira beneficiada

A quantificação do carbono para os padrões de corte otimizados foi obtido pela equação (54).

$$ecs = \left(\frac{\sum_{i=1}^I vol.toras_{ix} * d * 0,5}{1000} \right) / n_x \quad [54]$$

Em que: *ecs*: estoque de carbono para os padrões de corte otimizado por classe de diâmetro, em toneladas; *vol.toras_{ix}*: volume da *i*-ésima tora na *x*-ésima classe de diâmetro, em m³; *d*: densidade, em kg/m³; 0,5: fator de conversão; *n_x*: número total de indivíduos da *x*-ésima classe diâmetro; *I*: número total de toras da classe de diâmetro.

Os produtos finais do desdobro das toras, sejam eles destinados à construção civil ou a fabricação de móveis, pisos, artesanato, entre outros, apresentam a característica de armazenar o carbono por um tempo muito mais longo do que o material destinado a geração de energia. Qualquer espécie florestal ou planta agrícola absorveu e armazenou carbono atmosférico durante seu crescimento. Quando estas plantas são utilizadas para a geração de energia por meio da combustão, parte do carbono armazenado volta imediatamente para a atmosfera. Mesmo com o retorno do carbono para atmosfera, a biomassa proveniente das plantas pode ser considerada uma energia renovável, pois todo o carbono liberado na combustão um dia foi absorvido e armazenado. No entanto, quando se compara os diferentes produtos que a madeira pode oferecer, temos balanços de carbono distintos. Com base na determinação dos padrões de corte otimizados, o carbono, em termos de madeira beneficiada aproveitável por classe de diâmetro, foi calculado, conforme expressão (55):

$$ecmb = ecs * R \quad [55]$$

Em que: *ecmb*: estoque de carbono madeira beneficiada por classe de diâmetro, em toneladas; *ecs*: estoque carbono nos padrões de corte otimizados por classes de diâmetro, em toneladas; *R*: rendimento, em %.

O percentual de rendimento na conversão das toras em madeira beneficiada foi definido segundo relatórios internos do projeto “Imbituvão”. O objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento da uva-do-japão para duas serrarias distintas, a serraria móvel (*Lucas Mill*¹⁰) e uma serraria fixa de fita¹¹. As árvores-amostra foram agrupadas em três classes diamétricas com centros de classes de 23,8 cm; 31,3 cm; 38,6 cm e, com intervalo entre classes de 7,4 cm. No total 20 árvores foram desdobradas em cada uma das serrarias. A serraria móvel teve rendimento médio de 36,5% e, a serraria fixa de fita teve rendimento médio entre as classes de 54,1%. Para o cálculo do carbono fixado na madeira beneficiada, utilizou-se o valor médio do rendimento entre as classes de diâmetro para a serraria fixa de fita.

¹⁰ Lucas Mill modelo 830. Serraria móvel a disco desenvolvida e fabricada na Austrália.

¹¹ Serraria convencional de fita.

4.12 PROPOSTA DE MANEJO FLORESTAL

Nesta pesquisa, as propostas de manejo florestal da uva-do-japão apresentam uma abordagem ampla envolvendo aspectos econômicos, ambientais e sociais. Considerar e avaliar estes aspectos são essenciais quando o foco está na sustentabilidade do processo. Por este motivo, as propostas de manejo para a espécie estudada estão vinculadas a parâmetros técnicos criteriosamente estabelecidos a partir de aspectos ambientais e econômicos.

De acordo com Carvalho (1997), uma série de aspectos deve ser levado em consideração nos planos de manejo, dentre eles: a diversidade de espécies, a composição florística, a estrutura da floresta, o crescimento dos indivíduos, o recrutamento e a mortalidade, além do processo dinâmico de recomposição e reestruturação da floresta.

A proposta de manejo em questão visa o controle da uva-do-japão nos remanescentes da FOM. Assim, diferentemente de um plano de manejo para uma floresta nativa em sua totalidade, os parâmetros de avaliação levam em consideração apenas a espécie em questão. O manejo proposto foi determinado a partir do corte seletivo de uma única espécie, portanto, os aspectos técnicos concebidos dizem respeito apenas à espécie, como por exemplo: o crescimento e a produção, o recrutamento e a mortalidade, o sortimento, o valor presente dos indivíduos, o resultado financeiro dos regimes de manejo, a dinâmica do processo de recomposição e reestruturação da espécie, além do carbono fixado ao longo do tempo.

4.12.1 Critérios técnicos

Os principais critérios utilizados atualmente na seleção das árvores no manejo em florestas nativas possuem alguns aspectos negativos. O principal aspecto negativo desses critérios é que o volume explorado, controlado pelas diversas formas possíveis, não expressa diretamente o seu valor monetário. Quando os critérios que determinam a seleção das árvores estão relacionados com o volume ou com a área basal, a entrada de capital no fluxo de caixa do projeto pode sofrer bastante oscilação ao longo dos ciclos de corte, uma vez que as espécies podem e possuem diferentes valores de mercado. Além disto, a qualidade do volume comercial pode sofrer grandes variações entre indivíduos da mesma espécie, fato que certamente acarretará em resultados financeiros distintos entre os ciclos de corte.

A Resolução CONAMA n° 406, de 2 de fevereiro de 2009, em específico, busca propiciar a regulação da produção florestal, ou seja, a regulação do volume explorado ao longo dos ciclos de corte. Existem também critérios na determinação do volume explorado por espécie, que por sua vez dependerá muito das espécies existentes, bem como da sua frequência na Unidade de Manejo Florestal. Apesar de diferentes coeficientes técnicos, grande parte das diversas outras formas de manejo existentes levam em conta critérios semelhantes.

A diferença entre o resultado econômico da exploração de diferentes espécies com base no volume pode ser averiguada por meio da Portaria SEFA¹² n° 05, de 27 de janeiro de 2015, que informa os preços mínimos das madeiras amazônicas a título de cobrança de impostos (Tabela 10).

Tabela 10. Dados parciais do Boletim de Preços Mínimos de Mercado, Portaria SEFA n° 05, de 27 de janeiro de 2015.

Produto	Unidade	Tora		Serrada (R\$)
		Interno (R\$)	Interestadual (R\$)	
Madeiras Vermelhas ¹	m ³	199,44	1.996,33	765,50
Madeiras Nobres ²	m ³	493,53	4.935,41	1.974,16
Cedro e Cedro Rosa	m ³	997,15	9.977,60	2.594,62
Mogno	m ³	2.328,72	23.281,05	2.993,48

¹Massaranduba, Andiroba, Angelim-pedra, Angelim vermelho, Cambara, Cedrinho-da-amazônia, Cumaru, Itaúba, Jatobá, entre outras. ²Jacaranda, Ipê, Freijó, entre outras.

O documento mostra uma grande diferença no valor do metro cúbico da tora e da madeira beneficiada dentre as diferentes espécies, motivo pelo qual, o resultado econômico anual ou entre os ciclos de corte podem expressar uma grande variação. Levando em conta que o volume máximo explorado por hectare é restringido pela Lei que regulamenta o manejo no Bioma Amazônia, a busca por melhores resultados econômicos, não pode ser realizada por meio do aumento do volume explorado por hectare, mas pela diferenciação do preço pago pela madeira de cada espécie.

Contrapondo as orientações do manejo regulamentado para o Bioma Amazônia, o manejo proposto nesta pesquisa orienta-se pela consideração de que os indivíduos de uma determinada espécie podem apresentar grandes variações nos seus valores econômicos mesmo quando agrupados na mesma classe diamétrica. A situação colocada é comprovada, por exemplo, em casos que a árvore não possui volume serraria, apenas volume energia, pois o fuste

¹² Secretária de Estado da Fazenda do Pará

foi classificado como tortuoso, ou em casos de baixa altura comercial, fato que promove menor volume serraria e conseqüente menor valor monetário se comparado com outra árvore da mesma classe de diâmetro com elevada altura comercial.

O objetivo final do manejo florestal geralmente busca pelo maior resultado econômico possível, desde que atenda todos os critérios para a sustentabilidade do processo. Tendo em vista a possível variação do sortimento e conseqüentemente dos valores econômicos gerados para cada um dos indivíduos, os métodos que utilizam como ferramenta o controle do volume ou da área basal, não foram aplicados nesta pesquisa. Uma vez que, aplicando-se estas técnicas, o resultado econômico do manejo tenderia a grandes variações entre os ciclos de corte, e principalmente, seria potencialmente menor do que métodos que buscam a maximização do retorno financeiro.

Considerando que os principais beneficiados pelo manejo da uva-do-japão são os pequenos proprietários rurais, a busca por resultados financeiros equilibrados ao longo dos ciclos de corte é prioritariamente de maior interesse, pois permite que a renda gerada ao longo dos anos seja constante e, desta forma, tende a contribuir na planificação do orçamento familiar dos pequenos proprietários rurais.

Baseado em um conjunto de parâmetros técnicos e econômicos, a proposta desta pesquisa está fundamentada na determinação do corte pelo valor presente das árvores analisadas individualmente. Para tal, foram propostos três métodos distintos e a escolha do momento de corte das árvores para os métodos aplicados variam com relação ao fluxo financeiro desejado dentro do regime de manejo.

Os métodos aplicados foram denominados de *MaxR* (Maximização da Receita), *MaxR_B* (Maximização da Receita Balanceada) e *MaxR_C* (Maximização da Receita Controlada). O primeiro busca regulamentar a exploração das árvores de acordo com o momento em que a mesma apresenta o valor presente mais próximo possível de seu máximo, quando comparado com as demais árvores existentes ao longo do horizonte de planejamento. Assim sendo, as árvores exploradas nos momentos de intervenção, considerando as restrições técnicas estabelecidas, possuem o máximo valor presente no momento do corte quando comparadas as outras árvores ainda não exploradas.

O método *MaxR_B* traz uma concepção diferente do método *MaxR*, apesar de também buscar a maximização do valor presente individual, este método não necessariamente determina o momento de exploração de acordo com o máximo valor presente individual existente, pois o

método se propõe a buscar a receita máxima balanceada entre os ciclos de corte. Desta forma, a árvore explorada pode ou não situar-se em seu momento de máximo valor presente individual.

Por fim, o método *MaxR_C* busca a mesma maximização do valor presente individual citada nos outros métodos. Entretanto, a principal diferença está na determinação de uma receita mínima gerada para os ciclos de corte, ou seja, neste método é imposto pelo manejador a receita mínima gerada para um ou mais ciclos de corte. Como no método *MaxR_B* a árvore explorada pode ou não situar-se em seu momento de máximo valor presente individual. O que torna os três métodos propostos distintos entre si são as restrições técnicas impostas e não a base fundamental do método.

Entende-se que os métodos utilizados na busca pela maximização da receita têm objetivos diferentes e, por este motivo, os mesmos foram comparados apenas para os diferentes ciclos de corte. Não houve comparação entre métodos para que o gestor da floresta, conforme seus objetivos, possa definir o método que melhor se ajuste a empresa ou a propriedade rural e, após a definição do método avalia-se o mesmo para os diferentes ciclos de corte.

O critério de seleção do momento da exploração das árvores recebeu nesta pesquisa a denominação de Método do Máximo Valor Presente Individual (*MVPI*). Em cada um dos métodos foram avaliados três distintos intervalos entre as intervenções, com o objetivo de determinar o ciclo de corte mais adequado. A combinação entre o método (*MaxR*, *MaxR_B* e *MaxR_C*) aplicado com a duração do ciclo de corte, denominou-se de regime de manejo.

Todos os regimes de manejo propostos foram analisados e discutidos dentro de critérios ambientais e técnico-econômicos. Aos critérios utilizados para julgar e avaliar os regimes de manejo denominou-se de Critério de Avaliação do Manejo (*CAM*). Os distintos regimes de manejo foram comparados entre si pelo *CAM* gerando um ranking, com o qual, determinou-se o regime de manejo mais adequado para a espécie.

4.12.1.1 Prognose do valor presente individual

A prognose do valor presente das árvores ao longo do horizonte de planejamento foi essencial na determinação do momento do corte das árvores e faz parte dos resultados de um grande conjunto de dados da espécie obtidos nesta pesquisa, como, por exemplo, os dados da cubagem e os dados da análise de tronco completa. As etapas para a determinação do valor presente individual ao longo do tempo, encontram-se a seguir:

1. Prognose do crescimento: a partir do modelo de crescimento estimou-se o DAP e a altura ao longo do horizonte de planejamento para todos os indivíduos levantados no censo florestal da espécie;
2. Volume parcial do fuste: a determinação do volume do fuste (serraria e/ou energia) para cada uma das árvores foi realizada ao longo de todo horizonte de planejamento por meio da função de afilamento. A definição dos volumes parciais segue a mesma metodologia descrita no item 4.8.1, porém como se trata de uma prognose, as estimativas volumétricas parciais foram construídas com base no crescimento em diâmetro e altura, definidos pelo modelo de crescimento.
3. Volume dos galhos: a estimativa do volume dos galhos de todos os indivíduos (Grupo I e Grupo II) ao longo do horizonte de planejamento seguiu a metodologia descrita no item 4.8.2. Tratando-se de uma prognose ao longo do tempo dos diâmetros e das alturas utilizadas para cada árvore, as quais foram definidas pela função de crescimento.
4. Determinação da taxa de juros: ao valor monetário dos indivíduos aplicou-se uma constante taxa de juros anual ao longo do horizonte de planejamento e refere-se ao custo de oportunidade do capital. A taxa de juros de 6,75% ao ano foi definida com base em uma linha de financiamento denominada de PROPFLORA¹³ e principalmente pela proximidade com a taxa de juros da poupança. A linha de crédito tinha como foco incentivar o manejo florestal sustentável em todo o território nacional.

O valor presente individual foi determinado pela equação (56) que, por sua vez, é a soma das estimativas volumétricas individuais ao longo do tempo, segmentadas em volume serraria e volume energia (fuste mais galhos), multiplicados aos seus preços análogos. Aplicou-se ao valor calculado uma taxa de juros.

¹³ PROPFLORA. Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas.

$$VPI = \sum_{j=1}^J \frac{Q_{jn} * P}{(1 + i)^j} \quad n = 1, 2 \dots, \text{árvores} \quad [56]$$

Em que: *VPI*: valor presente individual, em R\$; *Q_{jn}*: quantidade do produto no *j*-ésimo período da *n*-ésima árvore, em m³; *P*: preço ou valor de mercado do produto, em R\$; *i*: taxa de juros anual; *j*: período do horizonte de planejamento; *J*: número total de períodos.

4.12.1.2 Determinação do horizonte de planejamento

O horizonte de planejamento é o nome dado ao período total de duração de um projeto de qualquer natureza, normalmente este período é dado em anos. Durante o HP pode ocorrer entradas e saídas de recursos em qualquer um dos períodos. A partir do tempo de duração do projeto com suas entradas e saídas são elaborados os fluxos de caixa, que é o alicerce para a avaliação econômica de projetos. Desta forma, para avaliar os diferentes regimes de manejo propostos nesta pesquisa, a expressão (57) foi adotada com o objetivo de aproximar o valor do HP.

$$HP = \left(\frac{N}{(N * ti)} \right) / F \quad [57]$$

Em que: *HP*: horizonte de planejamento, em que HP pertence ao conjunto dos I; *N*: número total de árvores amostras; *ti*: taxa de ingresso anual; *F*: ciclos de corte.

A expressão (57) adota como denominador principal os diferentes ciclos de corte que, por sua vez, promovem variações no resultado final do HP. Por este motivo, esta equação foi adotada apenas para aproximar o valor do HP ideal, sendo adotado outros aspectos de maior relevância para a determinação do HP, como por exemplo;

- a) Exploração de todas as árvores amostradas ao final do HP;
- b) Horizontes de planejamento idênticos para todas as propostas de manejo;
- c) O número de árvores exploradas deve ser muito próximo ao número de árvores ingressadas no sistema, independentemente do tempo entre os cortes;
- d) Para cada proposta de manejo uma quantidade fixa de árvores exploradas por ciclo de corte.

Como esta pesquisa busca essencialmente o controle da espécie e, para realizar tal objetivo o número de árvores exploradas deve ser muito próximo ao número de árvores que ingressam no sistema. A correlação necessária entre árvores exploradas e as que ingressam determina uma quantidade fixa para o número de árvores exploradas entre os ciclos de corte. Por fim, o HP foi determinado a partir dos aspectos mais relevantes: quantidade fixa de indivíduos a serem explorados por ciclo, obrigatoriedade em explorar todas as árvores amostradas ao final do HP e da necessidade do HP ser idêntico entre as propostas de manejo.

As avaliações técnicas e econômicas das diferentes propostas de manejo foram realizadas apenas para o HP, onde todas as árvores amostradas foram exploradas. Entretanto, a fim de avaliar a floresta remanescente após o HP, a mesma foi prognosticada para mais 12 anos. Utilizou-se 12 anos como sendo o período de avaliação da floresta regulada em razão desse número possibilitar a equiparação dos resultados entre os ciclos de corte, pois 12 é o primeiro múltiplo comum dos 3 ciclos de corte utilizados.

4.12.1.3 Determinação da intensidade do corte

A definição da intensidade do corte entre os ciclos tem caráter essencial para a estabilização da espécie. Para que os recursos florestais se perpetuem por tempo ilimitado e mantenha-se regulado, um princípio básico deve ser respeitado: a colheita deve ser uma função direta do crescimento, ou seja, apenas retira-se da floresta o que ela cresce em um determinado período. Deste modo, o referido princípio tem um peso muito grande e sustenta a definição da alternativa de manejo mais adequado para qualquer espécie.

No Brasil não há legislação que regulamente os critérios e normas de manejo para uma espécie arbórea exótica invasora que tem como habitat natural a própria floresta nativa. Portanto, o exemplo de manejo mais próximo passível até certo ponto de comparação é o manejo empregado nas Florestas do Bioma Amazônia que, define a intensidade de corte, de acordo com o crescimento em volume por hectare. O volume por hectare é a base para o controle do manejo, porém a fim de evitar um empobrecimento e consequente perda de biodiversidade a legislação determina que permaneça na área manejada um número mínimo de indivíduos de uma mesma espécie. Este critério além de buscar a manutenção da biodiversidade na área manejada, serve principalmente para a manutenção de árvores porta sementes, responsáveis pela regeneração natural da espécie.

A pesquisa em questão segue o mesmo princípio fundamental do manejo no Bioma Amazônia e, certamente, segue o princípio que qualquer outra floresta deveria seguir que, baseia-se na exploração limitada pelo crescimento da floresta em um determinado período. Entretanto, entre os modelos de manejo mais usuais para as florestas nativas e a presente pesquisa há uma grande diferença na forma de controle da intensidade de corte, pois esta pesquisa trata de uma espécie exótica invasora que deve ser controlada. Assim sendo, a intensidade de corte deve estar fundamentada no controle do número de árvores porta sementes, ou seja, na administração do número de árvores produtoras de sementes.

Segundo Carminatti e Viana (1992), no Rio Grande do Sul, a frutificação de *Hovenia dulcis* inicia-se com 3 a 4 anos de idade em plantios homogêneos. A capacidade da espécie na formação de sementes em poucos anos de desenvolvimento, aliada a produção de grandes quantidades de sementes por indivíduo e a enorme atratividade dos pseudofrutos para a fauna, entre outras características, potencializa a capacidade dos indivíduos em promover a disseminação e a expansão da espécie. Devido a estas características, propostas de controle da regeneração natural baseadas na intensidade do corte pelos critérios volume ou área basal, não surtiria o efeito esperado, pois a eficiência da espécie em regenerar-se naturalmente apresenta baixa correlação com o volume dos indivíduos ou com a área basal que ocupam.

Apoiado na importância do controle da espécie por meio do número de indivíduos, estabeleceu-se a quantidade de árvores exploradas nos distintos ciclos de corte de acordo com os seguintes critérios:

- a) Taxa de ingresso anual para a própria espécie (base para a determinação do HP);
- b) Horizonte de planejamento pré-determinado;
- c) Exploração de todas as árvores medidas no censo florestal ao final do HP.

A equação (58) determina o número de indivíduos explorados por ciclo de corte e a expressão (59) determina o número total de ciclos de corte.

$$E_f = \frac{N}{F} \quad [58]$$

Em que: E_f : número de árvores exploradas no f -ésimo ciclo de corte, pertencente ao conjunto dos números naturais (N^*); N : número total de árvores-amostra; F : número total de ciclos de corte, pertencente ao conjunto dos números naturais (N^*).

$$F = \frac{HP}{p} \quad [59]$$

Em que: F : número total de ciclos de corte, pertencente ao conjunto dos números naturais (N^*); HP : horizonte de planejamento; p : período entre os ciclos de corte, pertencente ao conjunto dos números naturais (N^*).

Aplicando-se este método de intensidade do corte, conceitualmente os recursos florestais serão mantidos ao longo do tempo, pois, baseia-se na exploração da quantidade de árvores que ingressam no sistema ao longo dos anos, respeitando uma das premissas básicas para a sustentabilidade do manejo, a perenidade da atividade. Por este motivo, o número de árvores presentes na floresta no primeiro ano do manejo permanece muito similar nos anos seguintes mesmo após as intervenções, desde que a intensidade de corte seja respeitada.

A quantidade final de árvores exploradas ao término do HP sempre se mantém a mesma independente da aplicação de diferentes ciclos de corte, porém, como há uma variação na quantidade de indivíduos explorados por ciclo de corte, ocorre também uma pequena variação na taxa de ingresso e na taxa de exploração ao longo do HP.

Ao final do HP a uva-do-japão estará conceitualmente com o crescimento ordenado dentro da floresta, ou seja, quando o manejo atingir o ponto de regulação, todas as árvores amostradas no censo terão sido exploradas e, a partir deste momento, o manejo terá como foco as árvores que ingressaram no sistema deste o ano 1 do HP. Para as árvores que ingressaram no sistema simultaneamente (mesmo ano) os diâmetros (DAP), conceitualmente, serão similares entre si, tendo em vista a taxa de crescimento similar para o grupo de árvores com DAP semelhantes. Porém, os fatores externos como o ambiente de desenvolvimento, o material genético das matrizes, entre outros, alteram o crescimento das árvores, fato que promove a variação do volume e do valor monetário dos indivíduos. O crescimento, a forma do fuste, a altura comercial, entre outros, são aspectos importantes para o manejo, porém tratando-se da uva-do-japão, que se desenvolve no interior de remanescentes florestais nativos, o controle destes aspectos pode ser considerado impraticável. A fim de evitar surpresas decorrentes de informações distantes da realidade na elaboração do projeto de manejo é essencial que os levantamentos de campo sejam feitos periodicamente e caso necessário, ajustes no projeto original possam ser realizados, garantindo com isto os resultados desejados.

4.12.1.4 Determinação do ciclo de corte

Os ciclos de corte testados foram:

- a) A cada 2 anos;
- b) A cada 3 anos;
- c) A cada 4 anos.

Os ciclos de corte testados são relativamente curtos quando comparados a qualquer manejo ou exploração em áreas de floresta nativa. Foram definidos levando em consideração o objetivo socioeconômico da proposta de manejo da espécie, que por sua vez deve atender aos anseios dos pequenos proprietários rurais. No geral, pequenos proprietários de terra tendem a trabalhar com projetos de curto e médio prazo, devido principalmente a necessidade da entrada de capital para a manutenção da propriedade e de sua família.

4.12.1.5 Determinação das árvores a serem exploradas

A partir da determinação da intensidade de corte vinculada com a taxa de regeneração natural, foi definido a quantidade de indivíduos que poderão ser explorados por ciclo de corte. A escolha desses indivíduos ao longo do HP foi realizada a partir da projeção do valor presente individual, utilizando-se para isto o modelo de programação linear.

4.12.1.6 Modelo de programação linear para escolha das árvores exploradas com base no valor presente individual

O modelo de programação linear utilizado nesta pesquisa tem a função de determinar o momento do corte de acordo com o máximo valor presente individual projetado ao longo do horizonte de planejamento. Buscou-se determinar o momento do corte no qual a árvore possui o máximo valor presente dentre as demais árvores e dentro de um HP previamente estabelecido. Assim, a exploração de determinada quantidade de indivíduos por ciclo de corte tornou-se a mais rentável possível dentre três métodos distintos:

1. Maximização da Receita pela avaliação do valor presente individual (*MaxR*). O critério *MaxR* busca com base no valor presente das árvores a máxima Receita gerada ao longo do HP.

2. Maximização da Receita Balanceada entre os ciclos de corte pela avaliação do valor presente individual (*MaxR_B*). O critério *MaxR_B* busca com base no valor presente das árvores o equilíbrio da máxima Receita gerada entre os ciclos de corte.

3. Maximização da Receita Controlada entre os ciclos de corte pela avaliação do valor presente individual (*MaxR_C*). O critério *MaxR_C* busca com base no valor presente das árvores uma receita mínima gerada para um ou mais ciclos de corte.

Todos os métodos possuem a mesma função objetivo, a única diferença entre eles está na restrição correlacionada com a máxima receita gerada entre os ciclos de corte. Enquanto, o método *MaxR* busca criteriosamente a maior receita possível ao longo do HP, os métodos *MaxR_B* e *MaxR_C* perseguem a máxima receita conforme a determinação das restrições impostas para as receitas dos ciclos de corte, isto é, os ciclos de corte possuem as suas receitas controladas. As variações específicas de cada método trarão resultados econômicos e ambientais distintos, pois as mesmas alteram o momento de exploração das árvores ao longo do HP e isto implica na alteração da receita, do volume, do estoque de carbono, entre outros fatores.

Todos os métodos utilizados convergem com outros critérios técnicos utilizados nesta pesquisa para a determinação do manejo da uva-do-japão, conforme segue:

- a) Controle da espécie pela intensidade de corte vinculado com a taxa de ingresso (equilíbrio entre exploração e ingresso);
- b) Ciclo de corte com base na geração de renda em períodos curtos e constantes;
- c) Maximização do retorno econômico.

Com as informações da prognose do valor presente individual (item 4.12.1.1) e respeitando-se as prerrogativas existentes para a construção de problemas de PL, um algoritmo foi desenvolvido com o propósito de buscar, dentre todas as soluções factíveis, aquela que maximiza a função objetivo. A resolução destes algoritmos de programação linear foi realizada com o software LINGO¹⁴.

4.12.1.6.1 Função objetivo

A equação (60) corresponde a função objetivo que visa maximizar a receita pelo valor presente individual.

Função objetivo: Maximização do valor presente (R\$)

$$\max z = \sum_n^N \sum_j^J VPI_{nj} \cdot X_{nj} \quad [60]$$

onde X_{nj} é uma variável binária

Em que: $VPI(n,j) \cdot X(n,j)$: representa o valor presente individual da n -ésima árvore no j -ésimo período; n : representa o número de árvores; j : representa o número de períodos; N : número total de árvores; J : número total de períodos.

4.12.1.6.2 Restrições

Método MaxR

Existem dois grupos de restrições para este método:

a) Restrição da árvore

Neste primeiro grupo o objetivo é restringir para uma única vez a exploração de cada uma das árvores durante o HP. A equação (61) descreve a restrição.

¹⁴ LINGO14.0 (Optimization Modeling Software for Linear, Nonlinear, and Integer Programming). Licença temporária emitida pela empresa LINDO SYSTEMS INC.

$$\sum_{j=1}^J X_{nj} \leq 1 \quad n = 1, 2 \dots, \text{árvores} \quad [61]$$

Em que: $X(n,j)$ = representa a n -ésima árvore no j -ésimo período; J : número total de períodos.

b) Restrição da quantidade de árvores exploradas por ciclo

Este grupo de restrições é essencial para o controle da espécie, pois a partir dele serão definidas as quantidades de árvores exploradas por ciclo de corte. A inequação (62) descreve a restrição.

$$\sum_{n=1}^N X_{nj} \leq NEC_j \quad j = 1, 2 \dots, \text{períodos} \quad [62]$$

Em que: $X(n,j)$ = representa a n -ésima árvore no j -ésimo período; NEC_j = número de árvores exploradas no j -ésimo período; N : número total de períodos.

Método *MaxR_B* e *MaxR_C*

O conjunto de restrições destes métodos contém as duas restrições do método *MaxR* adicionada de mais uma restrição para cada método.

a) Restrição equilíbrio entre receitas (*MaxR_B*)

Esta restrição (63) busca o equilíbrio das receitas entre os distintos ciclos de corte (períodos).

$$\sum_{n=1}^N VPI_{nj} \cdot X_{nj} \geq \sum_{n=1}^N VPI_{ni} \cdot X_{ni} \quad j = 1, 2, \dots, \text{períodos} \quad [63]$$

Tal que $i \neq t \quad i = 1, 2 \dots, \text{períodos}$

Em que: $VPI(n,j) \cdot X(n,j)$: representa o valor presente individual da n -ésima árvore no j -ésimo período; $VPI(n,i) \cdot X(n,i)$: representa o valor presente individual da n -ésima árvore no i -ésimo período; N : número total de árvores.

b) Restrição receita mínima (*MaxR_C*)

Esta restrição (64) busca uma receita mínima para o primeiro e para o último ciclo de corte. A receita mínima estabelecida para ambos os ciclos de corte foi de R\$ 10.000,00 (dez mil reais). Caso a solução do algoritmo se torne infactível devido a impossibilidade na geração de renda superior a dez mil reais em ambos os ciclos de corte, o valor da receita para ambos os ciclos de corte será alterado para o valor mais próximo de dez mil que resulte em uma solução factível.

$$\sum_{n=1}^N VPI_{nj} \cdot X_{nj} \geq 10.000 \quad j = 1, 2, \dots, \text{períodos} \quad [64]$$

Em que: $VPI(n,j) \cdot X(n,j)$: valor presente individual da n -ésima árvore para o j -ésimo período;
 N : número total de árvores.

4.13 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO MANEJO (CAM)

O manejo florestal sustentável pode ser avaliado por uma série de diversos princípios, critérios e indicadores. Há várias organizações que estabelecem diretrizes que visam construir um amplo conjunto de valores para a sustentabilidade na gestão de florestas naturais, dentre as quais podem-se citar a *ITTO* (ITTO, 1998), o *FSC* (FSC, 2002), o *CIFOR* (CIFOR, 1996) a *ABNT* (ABNT, 2004). Segundo Higman et al. (2005), as diretrizes empregadas sofrerão contínuas alterações e ampliações à medida que o manejo florestal é melhor compreendido pela vivência e pela prática.

No geral, os critérios para o manejo sustentável de florestas naturais são bastante complexos e criteriosos, abrangendo uma ampla área do conhecimento, como por exemplo: os aspectos da legislação, racionalidade do uso dos recursos, zelo pela diversidade biológica, conservação dos ecossistemas, desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e cultural, monitoramento e avaliação, entre outros.

Na determinação do regime de manejo mais adequado foram considerados uma ampla gama de aspectos de relevante importância, tendo como objetivo principal o controle e a geração de renda por meio do manejo sustentável da uva-do-japão.

Critérios técnicos-econômicos avaliados em cada regime de manejo:

- a) Receita total;
- b) Volume total;
- c) Volume Serraria;
- d) Conversão do volume em receita;
- e) Eficiência da exploração.

Critérios ambientais avaliados em cada regime de manejo:

- a) Carbono total estocado;
- b) Carbono estocado na madeira beneficiada;
- c) Eficiência na conversão do carbono total estocado em carbono estocado na madeira beneficiada;
- d) Índice de Equilíbrio.

Ao todo 9 regimes de manejo foram avaliados, cada qual possui um método (*MaxR*, *MaxR_B* e *MaxR_C*) e 3 ciclos de corte (2 anos, 3 anos e 4 anos). A avaliação foi realizada entre os ciclos de corte para cada método. Optou-se por não avaliar os métodos entre si, pois cada método traz consigo um objetivo específico distinto e incomparável no que tange a busca pela maximização da receita. Os regimes de manejo receberam uma ordenação (ranking) de acordo com a pontuação obtida dentre os CAM.

Para definir a ordenação dos regimes de manejo foram atribuídos pesos de 1 a 3 para todos os CAM. O regime de manejo definido como mais adequado dentro do mesmo método foi aquele com menor somatório dos pesos atribuídos.

4.13.1 Critérios técnicos e econômicos

4.13.1.1 Valor Presente da Receita (VPR)

A aplicação de ferramentas de análise financeira é extremamente necessária quando se pretende avaliar a viabilidade econômica de qualquer projeto. Segundo Rezende e Oliveira

(1993) os critérios mais utilizados na área florestal são o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

O resultado da função objetivo para os métodos (*MaxR*, *MaxR_B* e *MaxR_C*) é o próprio critério da avaliação econômica, pois para a obtenção do resultado final de cada método o valor de cada uma das árvores sofre o desconto de uma taxa de juros anual ao longo do HP. Além disto, como não há custos ou investimento inicial no método utilizado para definir os regimes de manejo, o resultado final obtido pela função objetivo é o próprio Valor Presente das Receitas.

O procedimento de análise econômica pelo VPR tem o objetivo de incluir o custo de oportunidade do capital ao longo dos anos. Portanto, a taxa de juros é aplicada sobre as receitas ao longo do horizonte de planejamento.

O somatório do valor presente individual das árvores destinadas à exploração em um determinado ciclo de corte é o próprio valor presente do ciclo de corte (VPC) e, a partir do somatório do VPC, obteve-se finalmente o VPR para os 10 anos do HP, ou seja, o VPR do regime de manejo.

O cálculo do valor presente do ciclo de corte foi realizado a partir da equação (65), posteriormente, para a obtenção do VPR do regime de manejo somou-se as receitas obtidas nos ciclos de corte (66).

$$VPC_f = \sum_{n=1}^N VPI_{nf} \quad f = 1,2 \dots, \text{ciclos de corte} \quad [65]$$

Em que: VPC_f : valor presente do ciclo de corte no f -ésimo ciclo de corte, em R\$; VPI_{nf} : valor presente individual da n -ésima árvore no f -ésimo ciclo de corte, em R\$; N : número total de árvores do ciclo de corte.

$$VPR = \sum_{f=1}^F VPC_f \quad [66]$$

Em que: VPR : valor presente da receita do regime de manejo, em R\$; VPC_f : valor presente no f -ésimo ciclo de corte, em R\$; F : número total de ciclos de corte do regime de manejo.

Em virtude do nome dos métodos aplicados e para facilitar o entendimento do procedimento de análise econômica o termo “receita” foi utilizado como sendo o VPR. Optou-

se pela utilização do nome, maximização das receitas, entre os métodos, pela simplicidade do nome e por trazer de forma clara e objetiva o significado essencial do método, ou seja, a busca pelo melhor resultado econômico possível.

4.13.1.2 Volume total e volume serraria (VT e VS)

As informações do volume a ser explorado são extremamente necessárias em qualquer plano de manejo, estas e outras informações auxiliam na tomada de decisões por parte do manejador. Como o volume está diretamente relacionado com a receita que, na maioria dos casos é o objetivo principal do manejador, qualquer variação no preço da madeira pode acarretar mudanças na decisão de explorar um maior ou menor volume. Assim, a determinação do volume é peça fundamental para os planos de manejo e, no caso desta pesquisa foi incluído como ferramenta de análise do manejo.

A partir do cálculo do volume total para cada ciclo de corte, equação (67), foi calculado o volume total do regime de manejo (68).

$$V_f = \sum_{n=1}^N VI_{nf} \quad f = 1,2 \dots, \text{ciclos de corte} \quad [67]$$

Em que: V_f : volume total no f -ésimo ciclo de corte, em m^3 ; VI_{nf} : volume individual total da n -ésima árvore no f -ésimo ciclo de corte, em R\$; N : número total de árvores do ciclo de corte.

$$VT = \sum_{f=1}^F V_f \quad [68]$$

Em que: VT : volume total do regime de manejo, em m^3 ; V_f : volume total no f -ésimo ciclo de corte; F : número total de ciclos de corte.

O volume serraria é obtido por meio das mesmas equação utilizadas para o cálculo do volume total, equações (67) e (68). No entanto, para a obtenção do volume serraria deve-se substituir o volume total pelo análogo volume serraria dentro das fórmulas.

4.13.1.3 Conversão do volume em receita (CVR)

A conversão do volume em receita mostra o quão eficiente foi o regime de manejo na transformação da madeira em capital monetário. Quanto maior a conversão melhor para o regime de manejo. Por exemplo, para uma mesma receita dois regimes de manejo com volumes distintos, maior será a conversão para o regime de manejo que explorou um menor volume, ou seja, com menos volume obteve-se uma mesma receita. Esta ferramenta tem utilidade apenas quando aplicada na comparação com outros planos de manejo ou regimes de manejo, como é o caso desta pesquisa. A conversão do volume em receita foi determinado pela equação (69) e o resultado é dado diretamente em R\$/m³.

$$CVR = \frac{RT_r}{VT_r} \quad [69]$$

Em que: *CVR*: conversão do volume em receita para o regime de manejo, em R\$/m³; *RT_r*: receita total do regime de manejo; *VT_r*: volume total do regime de manejo.

4.13.1.4 Eficiência da exploração (EE)

A eficiência na exploração é a relação entre o volume total remanescente na floresta e o volume explorado, esta correlação indica o quanto foi explorado em relação ao potencial total existente na floresta, e está diretamente ligada a sustentabilidade do manejo. A eficiência da exploração deve estar intimamente relacionada com a capacidade de crescimento da espécie dentro do ambiente explorado. A equação (70) mostra como foi determinada a eficiência da exploração.

$$EE = \sum_{f=1}^F \frac{VE_f}{V_f} * 100 \quad [70]$$

Em que: *EE*: eficiência da exploração do regime de manejo, em %; *VE_f*: volume explorado no *f*-ésimo ciclo de corte; *V_f*: volume total no *f*-ésimo ciclo de corte; *F*: número total de ciclos de corte.

Quanto maior a capacidade de crescimento da espécie maior será o potencial exploratório e, conseqüentemente, maior a eficiência da exploração. Esta ferramenta pode ser aplicada na comparação com outros regimes de manejo, mesmo quando utiliza-se uma taxa de crescimento homogênea, isto ocorre, pois há variações conforme o volume explorado nos ciclos de corte.

4.13.2 Critérios ambientais

Na busca pela sustentabilidade, os aspectos ambientais são tão importantes quanto os aspectos técnicos-econômicos e, sem dúvida, devem ser considerados em qualquer plano de manejo. Existem atualmente diferentes critérios e princípios que visam assegurar a gestão sustentável dos recursos naturais estabelecidos por diferentes organizações como a *International Tropical Timber Organization* (ITTO), *Center for International Forest Research* (CIFLOR) e *Forest Stewardship Council* (FSC). No quesito ambiental, estas organizações de uma forma ou de outra consideram os seguintes aspectos: primor pela diversidade biológica, uso racional dos recursos, zelo pela conservação dos ecossistemas (solo, água, seres vivos) e avaliação e monitoramento dos impactos ambientais causados pelas ações antrópicas.

Em se tratando do manejo de uma espécie exótica invasora, a avaliação da sustentabilidade do manejo pode ser vista de outra forma, pois neste caso a busca é a regulação da espécie exótica para que a floresta nativa não entre em desequilíbrio, como ocorreria caso houvesse perda na diversidade biológica decorrente da agressividade e do domínio da espécie exótica invasora. Por este motivo, aspectos correlacionados com a biodiversidade da floresta nativa, como os impactos na estrutura da vegetação arbórea ou os impactos na estrutura da regeneração natural possivelmente servirão como avaliação da eficiência do manejo da espécie. Como se trata de uma avaliação pós-exploração estes critérios indicativos da qualidade do manejo e da eficiência no processo de regulação da floresta não foram incluídos na pesquisa. Conforme citado anteriormente por Higman et al. (2005), as bases ou diretrizes do manejo deverão ser aperfeiçoadas e ampliados ao longo do tempo, sendo possível, após experiências praticadas que procuram a construção do conhecimento.

Como esta pesquisa aborda uma proposta de manejo para a uva-do-japão, utilizou-se de aspectos ambientais mensuráveis para este ponto da pesquisa, neste caso o carbono fixado nos

componentes arbóreos, o carbono fixado na madeira beneficiada, e a racionalidade do uso dos recursos, os quais são detalhados no item seguinte.

4.13.2.1 Carbono total estocado (CTE)

Sabe-se que as florestas naturais são mais eficientes na fixação quando manejadas, em virtude de assim aumentarem suas taxas de crescimento, contribuindo para a redução do efeito estufa. Este fato é defendido por Kyrklund (1990) que ressaltou que a velocidade de absorção do CO₂ é diretamente proporcional ao crescimento das árvores. Além disto, o sequestro de carbono atmosférico, por exemplo, relaciona-se diretamente com o interesse em serviços ambientais.

Diversas pesquisas realizadas sobre o assunto confirmaram maior crescimento em áreas sob intervenções, quando comparado ao crescimento em áreas sem intervenções no mesmo sítio (HIGUCHI et al., 1998). Seguindo esta mesma linha de pensamento, o manejo proposto nesta pesquisa, apesar de considerar uma única espécie, permitirá uma maior fixação do carbono na floresta como um todo, pois certamente com a derrubada dos indivíduos ocorrerá abertura de pequenas clareiras que favorecerão o crescimento de outras espécies ou até mesmo da própria espécie sob estudo, melhorando os índices ambientais, no que se refere ao sequestro do carbono.

Neste caso, o sequestro de carbono da floresta como um todo não foi mensurado, pois não faz parte dos objetivos da pesquisa e não existem dados disponíveis para tal. Assim sendo, o carbono total estocado para a espécie foi mensurado a partir do crescimento das árvores medidas no censo e do crescimento das árvores que ingressam no sistema. A fim de mensurar a contribuição do regime de manejo para o sequestro de carbono atmosférico, os mesmos tiveram seus estoques de carbono quantificados. A equação (71) determinada o estoque de carbono total acumulado por regime de manejo.

$$ecta = \frac{(\sum_{i=1}^I V_i * d * 0,5)}{1000} \quad [71]$$

Em que: *ecta*: estoque de carbono total acumulado no regime de manejo, em toneladas; V_i : volume total acumulado no *i-ésimo* período entre os ciclos de corte, em m³; *d*: densidade, em kg/m³; 0,5: fator de conversão; I: número total de períodos entre os ciclos de corte.

Os regimes de manejo variam dentre outros aspectos, com a quantidade de árvores exploradas nos diferentes ciclos, por este motivo, o sequestro de carbono potencialmente tende a flutuar entre os mesmos.

4.13.2.2 Carbono estocado na madeira beneficiada (CEMB)

O carbono estocado na madeira beneficiada é muito importante no processo de avaliação dos aspectos ambientais, pois quando maior for a quantidade de carbono estocado na madeira beneficiada maior será o saldo positivo do carbono acumulado pelo regime de manejo. Cada regime de manejo teve seu carbono acumulado mensurado e avaliado. A quantificação do estoque de carbono fixado na madeira beneficiada entre os regimes de manejo seguiu a mesma metodologia descrita no item 4.115.

4.13.2.3 Eficiência na conversão do carbono total estocado em carbono estocado na madeira beneficiada (EC)

Do ponto de vista ambiental é muito mais interessante que o carbono acumulado na madeira permaneça na mesma pelo período mais longo possível, pois a estocagem atende de maneira mais adequada a desejável busca pela redução da concentração dos gases-estufa na atmosfera. Isto posto, a eficiência na conversão do carbono total estocado na madeira colhida em carbono estocado na madeira beneficiada foi um aspecto ambiental avaliado e utilizado para a definição do regime de manejo mais adequado. O cálculo deste indicador foi realizado como segue:

$$EC = \frac{\sum_{f=1}^F CEMB_f}{\sum_{i=1}^I CTE_i} * 100 \quad [72]$$

Em que: EC: eficiência do carbono estocado no regime de manejo, em toneladas; CTE_i : carbono total estocado no i -ésimo período entre os ciclos de corte; $CEMB_f$: carbono total estocado na madeira beneficiada no f -ésimo ciclo de corte; F : número total de ciclos de corte; I : número total de períodos entre os ciclos de corte.

4.13.2.4 Racionalidade do uso dos recursos (Índice de Equilíbrio – IE)

A racionalidade do uso dos recursos remete-se ao princípio de equilíbrio entre colheita e produção, ou seja, colhe-se apenas o que a floresta cresce sem que haja uma diminuição do estoque primário da mesma. Este princípio contempla a manutenção dos recursos naturais e, essencialmente, a geração de renda e melhoria na qualidade de vida dos proprietários rurais. A busca por este princípio promove o crescimento econômico e social com a conservação das florestas.

O princípio da racionalidade do uso dos recursos pode ser aplicado no manejo de florestas nativas, por meio do corte seletivo de grupos de espécies de interesse ou até uma única espécie, pois apesar dos distintos níveis de complexidade, quando o equilíbrio entre colheita e produção é respeitado, as prerrogativas para o manejo sustentável estarão asseguradas.

O Índice de Equilíbrio é determinado pela razão entre as árvores exploradas e as árvores que ingressaram no sistema. Este índice foi calculado para todos os regimes de manejo, por meio da seguinte fórmula:

$$IE = \frac{\sum_{f=1}^F NE_f}{\sum_{j=1}^J NI_j} \quad [73]$$

Em que: *IE*: índice de equilíbrio do regime de manejo; *NE_f*: número de árvores exploradas no *f*-ésimo ciclo de corte; *NI*: número de árvores que ingressaram no *j*-ésimo ano do HP; *F*: número total de ciclos de corte; *J*: número total de anos do HP.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CENSO FLORESTAL DE *Hovenia dulcis*

No censo florestal foram encontrados 904 indivíduos de *Hovenia dulcis* com DAP acima de 10 cm nos remanescentes de FOM em 16 propriedades rurais. As estatísticas do censo mostram que o DAP médio foi de 19,7 cm com desvio padrão de 6,8 cm e coeficiente de variação de 34,5%. As estatísticas deste levantamento estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11. Estatísticas dos dados de diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura na base da copa das árvores de *Hovenia dulcis* no censo florestal.

ESTATÍSTICAS	DAP	Altura na base da copa
Média (\bar{X})	19,65 cm	7,43 m
Mediana (med)	18,30 cm	8,00 m
Mínimo (Min)	10,00 cm	1,00 m
Máximo (Max)	43,29 cm	13,00 m
Variância (s^2)	45,70 cm ²	3,99 m ²
Desvio Padrão (s)	6,77 cm	2,00 m
Coeficiente de Variação (CV)	34,47%	26,91%

Para os dados da altura na base da copa a média foi de 7,4 m com uma grande amplitude variando entre 1 a 13 m, altura máxima e mínima, respectivamente. O coeficiente de variação e o desvio padrão da altura na base da copa foi de 26,9% e 2 m, respectivamente. O coeficiente de variação indica uma variabilidade menor para a altura na base da copa que para o DAP.

Outra informação relevante foi o enquadramento das árvores nos grupos que definem o potencial de utilização das mesmas. No Grupo I, enquadram-se as árvores com potencial volume serraria e no Grupo II as árvores com potencial apenas energético. A quantidade de árvores em cada um dos grupos está na Tabela 12, bem como a variação percentual em relação ao número total de indivíduos.

No total, 786 árvores, equivalente a 86,95% do total de árvores listadas no Censo, classificam-se como potencial volume serraria e, apenas, 118 árvores foram classificadas como árvores destinadas exclusivamente para produção de energia. A pequena quantidade de árvores do grupo II tende a aumentar os resultados econômicos do manejo, visto que, o produto madeira serrada possui um valor de mercado muito superior ao da madeira para produção energética.

Tabela 12. Classificação em grupos de usos da madeira das árvores listadas no censo florestal.

Classificação	Nº árvores	Percentual do total
Grupo I	786	86,95
Grupo II	118	13,05

Grupo I: árvores com potencial volume para serraria - classificadas como: classe potencial de utilização (1), classe de Fuste como (1 - reto) ou (2 – levemente tortuoso); Grupo II: árvores com volume total destinado a energia. Árvores classificadas como Fuste (3 - tortuoso) ou ainda bifurcadas antes de três metros foram direcionadas para volume energia.

5.1.1 Agrupamento em classes de diâmetro

O emprego da fórmula de STURGES utilizando o banco de dados do censo determinou a necessidade de 10 classes de diâmetro com intervalo de classes de 2,99 cm. Na Tabela 13 estão as informações dos limites entre as classes e, principalmente, a frequência observada por classe. Observa-se que nas primeiras cinco classes diamétricas o número de indivíduos corresponde a 80,2% do total de árvores, ou seja, mais de dois terços do total das árvores possuem DAP abaixo de 25 cm. Nas cinco maiores classes, constata-se a presença de 179 indivíduos, o que corresponde a apenas 19,8% do total das árvores.

Tabela 13. Distribuição em classes de diâmetro (DAP) para os dados do censo de *Hovenia dulcis*.

Classes de diâmetro (cm)	Centro de Classe (cm)	Freq. Obs. Absoluta	Freq. Obs. (%)
1.[10 – 13)	11,5	150	16,59
2.[13 – 16)	14,5	176	19,47
3.[16 – 19)	17,5	161	17,81
4.[19 – 22)	20,5	143	15,82
5.[22 – 25)	23,5	95	10,51
6.[25 – 28)	26,5	57	6,31
7.[28 – 31)	29,5	56	6,19
8.[31 – 34)	32,5	26	2,88
9.[34 – 37)	35,5	21	2,32
10. (>37)	38,5	19	2,10
TOTAL		904	100

Freq. Obs.: frequência observada.

Na Tabela 14 estão os resultados para as frequências relativas e absolutas observadas dos grupos I e II em relação às árvores de dentro da própria classe e em relação à população

total. Dentre as classes com potencial de desdobro, apenas as classes 8 a 10 não possuem mais de 90% dos indivíduos classificados no grupo I. Isto significa que a contribuição do volume serraria com relação ao volume total será potencialmente menor para estas duas classes. No caso das classes com potencial de desdobro, quanto menor for o número de indivíduos classificados no grupo I, menor será o volume serraria em comparação ao volume total que, por sua vez, resulta na diminuição da receita potencial da classe, tendo em vista o maior valor agregado ao volume serraria.

Tabela 14. Distribuição em classes de diâmetro para os Grupos de usos da madeira I e II.

Classes de diâmetro (cm)	Total		Grupo I		Grupo II		
	Freq. Obs. Abs.	Freq. Obs. Abs.	Freq. Obs. (classe %)	Freq. Obs. (total %)	Freq. Obs. Abs.	Freq. Obs. (classe %)	Freq. Obs. (total %)
1.[10 – 13)	150	114	76,0	12,6	36	24,0	4,0
2.[13 – 16)	176	150	85,2	16,6	26	14,8	2,9
3.[16 – 19)	161	142	88,2	15,7	19	11,8	2,1
4.[19 – 22)	143	129	90,2	14,3	14	9,8	1,5
5.[22 – 25)	95	87	91,6	9,6	8	8,4	0,9
6.[25 – 28)	57	53	93,0	5,9	4	7,0	0,4
7.[28 – 31)	56	53	94,6	5,9	3	5,4	0,3
8.[31 – 34)	26	23	88,5	2,5	3	11,5	0,3
9.[34 – 37)	21	19	90,5	2,1	2	9,5	0,2
10. (>37)	19	16	84,2	1,8	3	15,8	0,3
TOTAL	904	786	-	86,9	118	-	13,1

Freq. Obs.: frequência observada; Freq. Obs. Abs.: frequência observada absoluta; Grupo I: árvores com potencial volume para serraria - classificadas como: classe potencial de utilização (1), classe de Fuste como (1 - reto) ou (2 - levemente tortuoso); Grupo II: árvores com volume total destinado a energia. Árvores classificadas como Fuste (3 - tortuoso) ou ainda bifurcadas antes de três metros foram direcionadas para volume energia.

Diferentemente do grupo I, o grupo II contém três das quatro maiores frequências observadas entre as três menores classes de diâmetro, exceto na classe 10 que possui 15,8% dos indivíduos neste grupo. No que se refere ao valor monetário atual da floresta, o elevado número de árvores do grupo II nas 3 primeiras classes diamétricas não influencia no resultado econômico, pois as três primeiras classes de diâmetro não possuem volume serraria devido aos critérios que determinam as dimensões mínimas para esta classe de volume.

Com o crescimento em diâmetro ao longo do tempo, as árvores do grupo I nas classes diamétricas inferiores, passarão a apresentar volume serraria ao atenderem as dimensões

mínimas estabelecidas. Já as árvores do grupo II para qualquer que seja o diâmetro não possuirão volume serraria, pois não apresentam fuste com condições de desdobro.

Observa-se uma distribuição diamétrica unimodal para o censo da *Hovenia dulcis* (Figura 8), porém bastante assimétrica tendendo para uma forma decrescente. Neste caso, a distribuição unimodal assimétrica pode estar sendo influenciada pela pequena amplitude (3 cm) entre as classes de diâmetro.

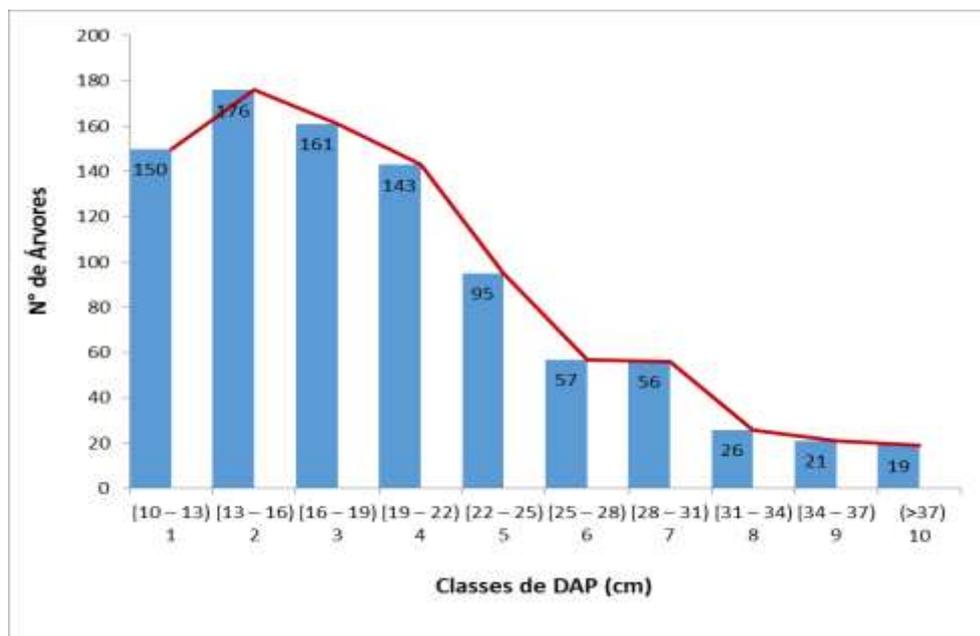


Figura 8. Distribuição da frequência absoluta para *Hovenia dulcis*.

A Figura 9 apresenta a contribuição de cada um dos grupos para formação de cada classe, além disso, observa-se grande diferença existente entre os grupos na contribuição em cada classe, que, em todos os casos, foi muito superior para o grupo I. Para o grupo II, nota-se uma contribuição decrescente na formação das sete primeiras classes, interrompida com o aumento na contribuição nas classes de 8 a 10 cm.

As relações existentes entre a quantidade de indivíduos e suas classes de diâmetro podem servir como indicador do estágio de contaminação e do avanço de *Hovenia dulcis* nos remanescentes florestais. Concentrando-se na questão do avanço da espécie sobre os remanescentes florestais, o elevado número de indivíduos nas menores classes diamétricas indica uma expressiva regeneração da espécie, fato que comprova a consolidação do estabelecimento da espécie e principalmente mostra a atual fase de expansão da mesma.

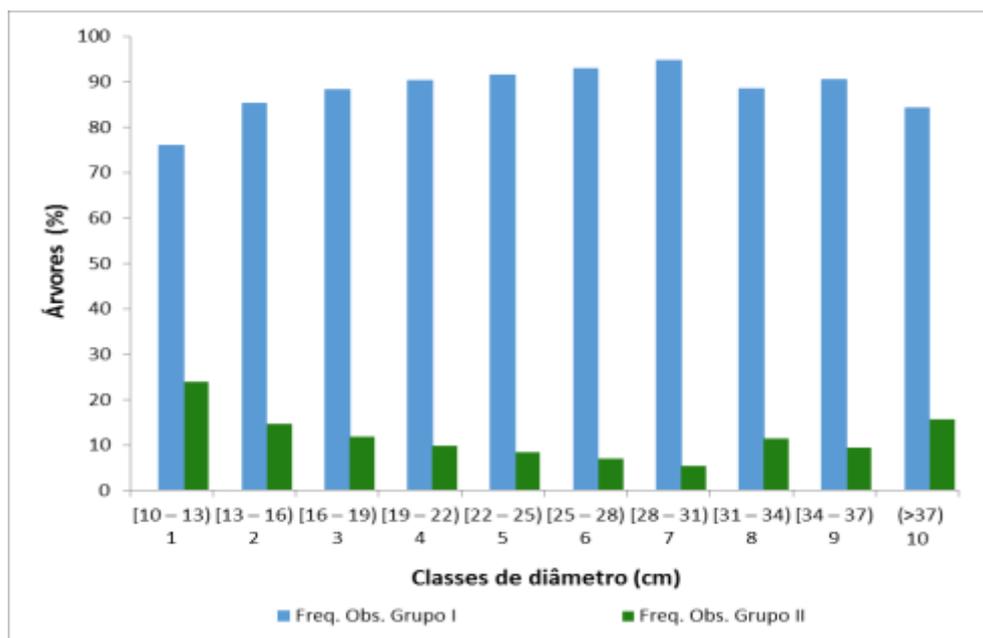


Figura 9. Distribuição da frequência relativa dos Grupos I e II.

Segundo Carvalho (1994), a uva-do-japão pode atingir mais de 50 cm de DAP no Sul do Brasil. O DAP máximo encontrado no censo foi de 43,3 cm. A pouca quantidade de indivíduos de grandes dimensões pode estar correlacionada com a época em que a espécie foi introduzida na região, há apenas 4 décadas e, por este motivo, o indivíduo mais antigo encontrado na floresta estava com 41 anos em 2013. Dentro do ciclo de vida de diversas espécies arbóreas, 40 anos pode ser considerado muito pouco e os diâmetros (DAP) encontrados no censo para as maiores classes sugerem que a espécie ainda apresenta potencial de crescimento. Segundo Koller e Alexander III (1979) na China a espécie pode chegar a 23 m de altura e mais de 70 cm de DAP. Não foram encontradas informações na literatura a respeito do ciclo de vida da espécie na região de origem.

Schaaf et al. (2006) avaliaram o comportamento da distribuição diamétrica de diversas espécies da FOM entre 1979 e 2000 e concluíram que existe uma grande diferença no comportamento da distribuição diamétrica de acordo com a capacidade de competição da espécie na floresta. Espécies em que os indivíduos estão sujeitos a morrer devido à competição apresentam grande frequência nas classes diamétricas inferiores, para que assim, tenham chances de sobreviver na comunidade. Por outro lado, o mesmo estudo informa que as espécies com poucos indivíduos nas classes inferiores e com pequena probabilidade de morrer por competição provavelmente permanecerão na floresta.

A uva-do-japão, por ser uma espécie exótica invasora de diversos ecossistemas, possui uma combinação das duas características principais discutidas no estudo relatado anteriormente. Ela apresenta uma grande frequência nas classes diamétricas inferiores e, devido às características auto-ecológicas da espécie, a probabilidade de morrer por competição é bastante baixa. Estas duas características descritas levam a crer que os indivíduos das classes inferiores amostrados no censo pelo presente estudo chegarão as classes superiores e, certamente, durante este período de crescimento, que culminará na passagem de uma classe para outra, haverá uma grande contribuição para o aumento da quantidade de indivíduos na floresta.

As informações que existem atualmente indicam que a espécie não tenha completado seu ciclo de vida na região de estudo, considerando que na região de origem a espécie pode chegar a 70 cm de diâmetro. Contudo o entendimento do comportamento da espécie sob influência da FOM requer estudos mais aprofundados sobre a ecologia da espécie.

5.2 AJUSTE DOS MODELOS

5.2.1 Modelos Hipsométricos

Os resultados dos ajustes dos 11 modelos hipsométricos testados para estimar a altura total estão na Tabela 15. No geral, todos os modelos apresentaram estatísticas semelhantes entre si. O R^2_{adj} variou entre 0,2049 e 0,2370 e o Syx% variou de 15,12 a 14,98.

Os resultados obtidos entre os modelos mostram um baixo R^2_{adj} e um erro padrão da estimativa relativo (Syx%) variando entre 14 e 15%. Pode-se concluir que a relação h/d é moderadamente frágil, isto significa dizer que a variável altura é pouco explicada pelo diâmetro para o banco de dados utilizado. Entretanto, como se trata de uma espécie desenvolvendo-se na floresta nativa, estes resultados devem ser comparados aos seus análogos, ou seja, aos estudos da relação h/d para espécies nativas (MACHADO et al., 2008; SOARES et al., 2011; CURTO et al., 2013) que, por sua vez, corroboram com os resultados encontrados neste trabalho.

Melhores resultados para a relação h/d foram obtidos com a adição de outras variáveis independentes nos modelos hipsométricos. Cardoso et al. (1989) e Bartoszeck et al. (2004) utilizaram modelos com mais de uma variável independente (idade e sítio) no ajuste de equações hipsométricas, o que, segundo os autores, tornou as equações mais adaptáveis as

variações da distribuição dos dados. Entretanto, os ajustes de modelos dendrométricos, sejam eles da relação h/d ou não, para as espécies da floresta nativa normalmente são realizados por meio do DAP como variável independente e, em alguns casos, tem-se a altura comercial ou total como outras variáveis disponíveis, sendo que, idade e sítio são variáveis de difícil obtenção no caso de florestas nativas.

Tabela 15. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a altura total com respectivos coeficientes de determinação ajustado (R^2_{adj}), erro padrão de estimativa (Syx%).

Autor/Fonte	Coefficientes	R^2_{adj}	Syx (m)	Syx (%)	Nº
Petterson	$\beta_0 = 0,36642^*$ $\beta_1 = 0,78849^*$	0,2203	2,62	15,04	[5]
Finger	$\beta_0 = 1,30411^*$ $\beta_1 = -2,52788^*$	0,2267	2,61	14,98	[6]
Loetsch	$\beta_0 = 0,89101^*$ $\beta_1 = 0,10560^*$	0,2049	2,65	15,19	[7]
Loetsch	$\beta_0 = 1,33047^*$ $\beta_1 = -2,32337^*$	0,2264	2,61	14,98	[8]
Stoffels	$\beta_0 = 2,05162^*$ $\beta_1 = 0,24314^*$	0,2067	2,64	15,12	[9]
Henricksen	$\beta_0 = 4,017801^{ns^1}$ $\beta_1 = 4,11878^*$	0,2150	2,63	15,09	[10]
Finger	$\beta_0 = 0,22123^*$ $\beta_1 = 0,75509^*$	0,2370	2,63	15,07	[11]
Barros et al.	$\beta_0 = 2,93780^*$ $\beta_1 = ns^*$ $\beta_2 = -48,14549^*$	0,2288	2,61	14,96	[12]
Finger	$\beta_0 = 10,36119^*$ $\beta_1 = 0,31679^*$ $\beta_2 = ns^*$ $\beta_3 = -0,00006^*$	0,2286	2,61	14,96	[13]
Gompertz	$\beta_0 = 19,22210^*$ $\beta_1 = 1,06536^*$ $\beta_2 = 0,09741^*$	0,2173	2,63	15,07	[14]
Chapman-Richards	$\beta_0 = 19,21180^*$ $\beta_1 = -1,07686^*$ $\beta_2 = 0,10002^*$ $\beta_3 = 0,29618^*$	0,2066	2,63	15,17	[15]

significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns: não significativo; ns¹: intercepto mantido na equação apesar de não significativo ao nível de 5% de probabilidade; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: coeficientes dos modelos.

Na dispersão dos resíduos (Figura 10) observa-se pouca variação entre si, inclusive para os dois modelos não lineares testados (Gompertz e Chapman-Richards). A exceção observa-se na Figura 10 (gráfico h) que corresponde ao modelo de Barros et al. Neste modelo os resíduos

contêm as maiores dispersões correspondentes a superestimativas e, os demais modelos apresentam as maiores dispersões de forma contrária, ou seja, correspondem a subestimativas da variável dependente.

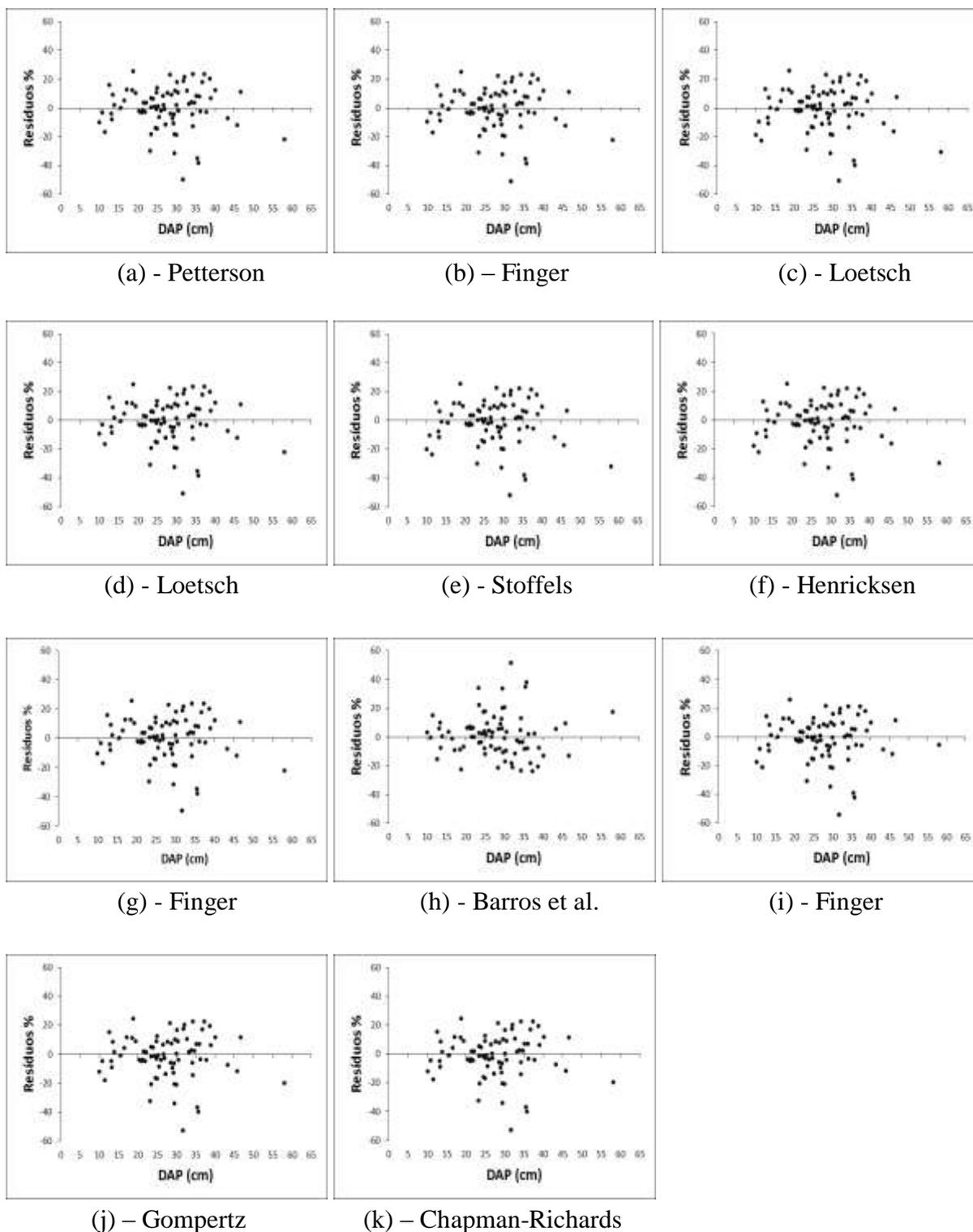


Figura 10. Distribuição dos resíduos (%) para os modelos hipsométricos testados.

A similaridade estatística entre os modelos e o gráfico dos resíduos, exceto o modelo Barros et al., permite a adoção de qualquer modelo. Desta forma, optou-se pela adoção do modelo do modelo de Finger (11).

5.2.2 Modelos volumétricos

Os resultados correspondentes aos parâmetros estatísticos gerados nos ajustes das oito equações de regressão para estimar o volume total do fuste com casca até a altura total apresentam-se sintetizados na Tabela 16. As estatísticas se mostram similares entre os modelos, mesmo para os modelos de dupla e simples entradas, lineares ou não-lineares.

Tabela 16. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar o volume total do fuste com casca.

Autor/Fonte	Coeficientes	R ² adj	Syx (m ³)	Syx (%)	N°
Berkhout	$\beta_0 = 0,00049^*$ $\beta_1 = 2,10055^*$	0,9108	0,12	20,39	[16]
Hohenadl – Krenn	$\beta_0 = -0,02263ns^1$ $\beta_1 = -0,006ns^*$ $\beta_2 = 0,00074^*$	0,9096	0,12	20,54	[17]
Brenac	$\beta_0 = -7,61017^*$ $\beta_1 = 4,83889^*$ $\beta_2 = -7,6051ns^*$	0,9106	0,12	20,42	[18]
Kopecky - Gehrhardt	$\beta_0 = -0,02263ns^1$ $\beta_1 = 0,00074^*$	0,9096	0,12	20,54	[19]
S.H. Spurr	$\beta_0 = 0,01779ns^1$ $\beta_1 = 0,00004^*$	0,9036	0,13	21,20	[20]
Schumacher-Hall	$\beta_0 = 0,000136^*$ $\beta_1 = 2,09801^*$ $\beta_2 = 0,45204^*$	0,9264	0,11	18,53	[21]
Stoate	$\beta_0 = -0,35021^*$ $\beta_1 = 0,00069^*$ $\beta_2 = 1,8E-06ns^*$ $\beta_3 = 0,02078^*$	0,9287	0,10	18,23	[22]
Näslund	$\beta_0 = -0,17373^*$ $\beta_1 = 0,00069^*$ $\beta_2 = 2,1E-05ns^*$ $\beta_3 = -2,3E-06ns^*$ $\beta_4 = 0,00059^*$	0,9297	0,10	18,10	[23]

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns*: não significativo; ns¹: intercepto mantido na equação apesar de não significativo ao nível de 5% de probabilidade; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: estimativas dos coeficientes dos modelos.

Os modelos de Hohenadl-Krenn, Brenac e S.H. Spurr expressaram um *valor p* não-significativo ao nível de 5% de probabilidade para o coeficiente β_0 , ou seja, o intercepto foi considerado igual a zero, sem influência sobre o modelo. Gujarati (2006) descreve que o valor do R^2 neste caso não pode ser comparado entre os modelos por serem incompatíveis. No entanto, neste trabalho os coeficientes β_0 foram mantidos nas equações mesmo que considerados nulos no ajuste das equações, pois o objetivo principal das mesmas é justamente a comparação e definição do modelo mais adequado para estimar o volume.

Os modelos de dupla entrada Schumacher-Hall, Stoate e Näslund apresentaram resultados superiores aos demais modelos para o R^2_{adj} e para o $Syx(\%)$. Dentre estes melhores modelos o modelo de Näslund foi um pouco superior. O modelo de S.H. Spurr apesar de também conter duas variáveis independentes (DAP e altura), segue um padrão diferente dos demais modelos de dupla entrada, pois os resultados de suas estatísticas foram inferiores. Os resultados das estatísticas entre os modelos de simples entrada foram semelhantes entre si, porém o modelo de Berkhout, único modelo não-linear, gerou as melhores estatísticas.

Na análise gráfica dos resíduos (Figura 11) é possível observar que os modelos S.H. Spurr, Stoate e Näslund indicam alguma tendência para os menores diâmetros (<20 cm). No caso do modelo S.H. Spurr os valores estimados foram superestimados e para os modelos de Stoate e Näslund os valores abaixo de 20 cm foram subestimados.

Os resíduos para o modelo Schumacher-Hall estão mais próximos ao eixo-x do que os outros modelos e, pelo fato deste modelo ter obtido resultados para as demais estatísticas entre as melhores, o mesmo foi escolhido para estimar o volume total das árvores.

A equação de volume selecionada teve restrita utilização nesta pesquisa, a mesma foi utilizada apenas para a mensuração do volume total do fuste das árvores destinadas à produção de energia, isto é, as árvores do grupo II. As demais árvores tiveram seus volumes mensurados por meio da função de afilamento ajustada.

Existem diversos trabalhos científicos com ajustes de equações de volume para espécies nativas, principalmente, para as espécies da região amazônica. Conforme relatado anteriormente compara-se os resultados da uva-do-japão com os resultados obtidos para as espécies nativas. Desta forma, pode-se afirmar que os modelos ajustados neste trabalho possuem estatísticas de regressão semelhantes as demais estatísticas de regressão dos modelos utilizados para determinar o volume total de espécies nativas, dentre os quais podem-se citar os

trabalhos de Silva et al. (1984); Gomes (2008); Barros e Silva Junior (2009); Monteiro (2009), Thaines et al. (2010); Santos et al. (2012) e Ramos (2012).

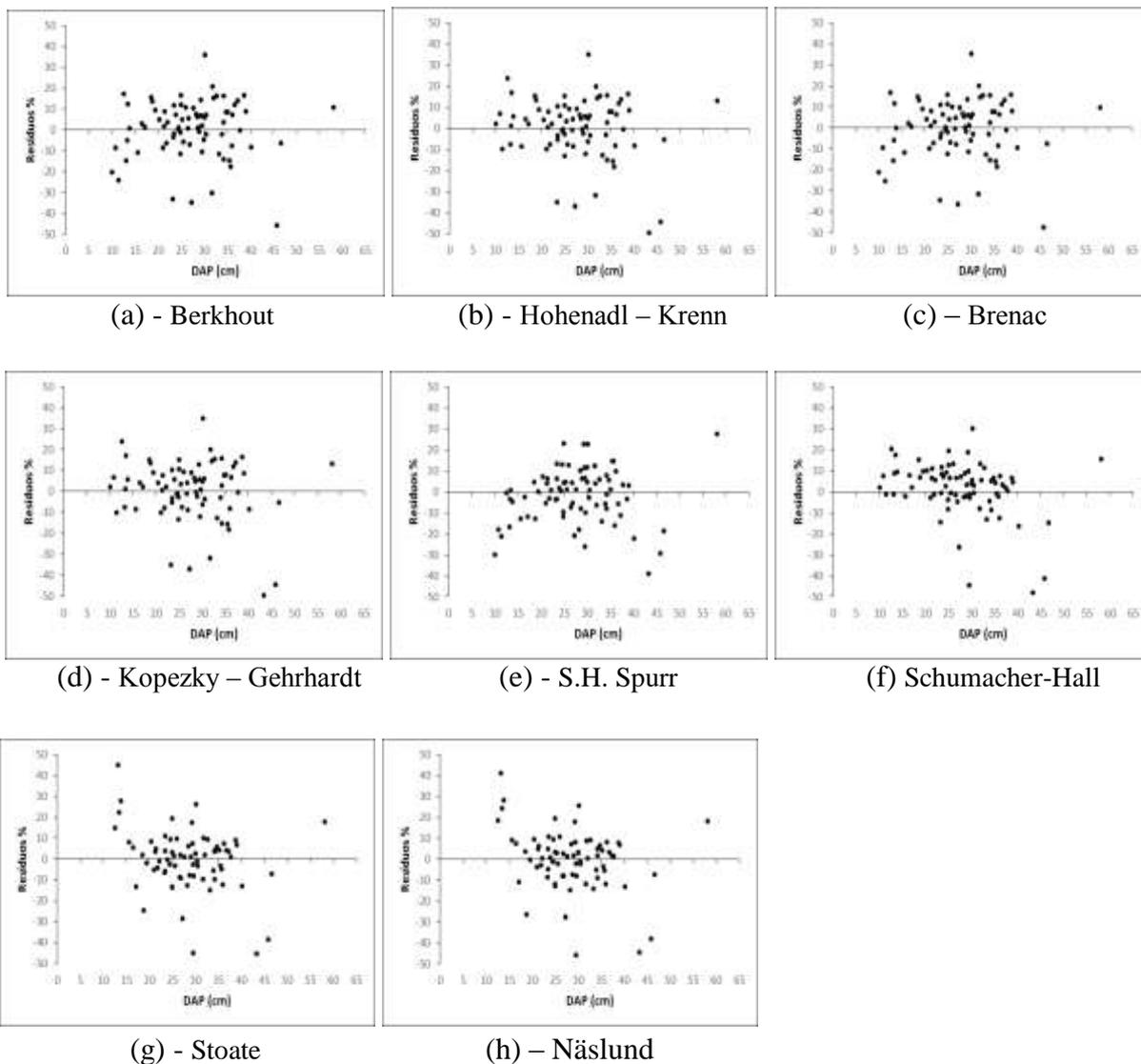


Figura 11. Distribuição dos resíduos (%) para os modelos volumétricos

5.2.3 Funções de afilamento

Na Tabela 17 estão apresentados os parâmetros estimados para o afilamento do tronco dos cinco modelos testados, com os respectivos valores para o Coeficientes de Determinação Ajustado (R^2_{adj}) e Erros Padrões da Estimativa em percentagem ($Sy_x\%$). Essas estatísticas retratam valores médios e muitas vezes não fornecem um bom indicativo do comportamento ao

longo do fuste, por este motivo, o gráfico dos resíduos é fundamental na análise do modelo mais adequado. Para o caso das funções de afilamento, a melhor forma de observar se há tendenciosidade nas estimativas ao longo do fuste é a plotagem da curva estimada média sobre os pontos reais.

De modo geral, os modelos apresentaram um R^2_{adj} superior a 0,92 e um Syx entre 12 e 15%. Os modelos de Schöpfer (1966) e Hradetzky (1976) tiveram resultados próximos entre si e superiores aos demais em especial para as estatísticas R^2_{adj} e Syx%, acima de 0,94 e abaixo de 12,5%, respectivamente. A análise do *valor p* mostrou que todos os coeficientes dos modelos são significativos ao nível de probabilidade de 5%.

Tabela 17. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar os diâmetros com casca ao longo do fuste.

Autor/Fonte	Coeficientes	Potência	R^2_{adj}	Syx (cm)	Syx (%)	N°
Kozak et al. (1969)	$\beta_0 = 1,29106^*$	-	0,9248	3,10	14,73	[24]
	$\beta_1 = -2,05918^*$	-				
	$\beta_2 = 0,782451^*$	-				
Schöpfer (1966)	$\beta_0 = 1,25644^*$	-	0,9470	2,61	12,37	[25]
	$\beta_1 = -4,88829^*$	1				
	$\beta_2 = 23,75150^*$	2				
	$\beta_3 = -52,74110^*$	3				
	$\beta_4 = 49,75900^*$	4				
Hradetzky (1976)	$\beta_5 = -17,08220^*$	5	0,9465	2,62	12,45	[26]
	$\beta_0 = 21,64720^*$	-				
	$\beta_1 = -20,93010^*$	0,005				
	$\beta_2 = 0,13460^*$	1				
	$\beta_3 = -3,51064^*$	4				
Gracia et al. (1993)	$\beta_4 = 2,78604^*$	5	0,9243	3,11	14,78	[27]
	$\beta_0 = 1,54640^*$	-				
	$\beta_1 = -1,62043^*$	-				
	$\beta_2 = 0,08985^*$	-				

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns*: não significativo; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: coeficientes dos modelos.

A distribuição dos diâmetros (d_i) observados e a curva média do afilamento do tronco ajustado pelas funções de afilamento estão representados na Figura 12. Observam-se que as curvas médias dos modelos Schöpfer e Hradetzky passam pelo centro da nuvem de pontos (diâmetros observados) indicando que o ajuste teve resultados satisfatórios.

O maior desvio da curva média do afilamento para todos os modelos encontra-se na porção inferior do tronco, onde as estimativas subestimam os dados. Queiroz et al.(2006) citaram a mesma situação para a estimativa da porção inferior do tronco no ajuste de funções

de afilamento para *Mimosa scabrella* Bentham (Bracatinga). Esses autores afirmaram que o ajuste dos modelos de afilamento para as porções inferiores do tronco possui maiores dispersões dos resíduos, pois, nestes pontos, a variação do diâmetro ocorre geralmente de modo mais acentuada.

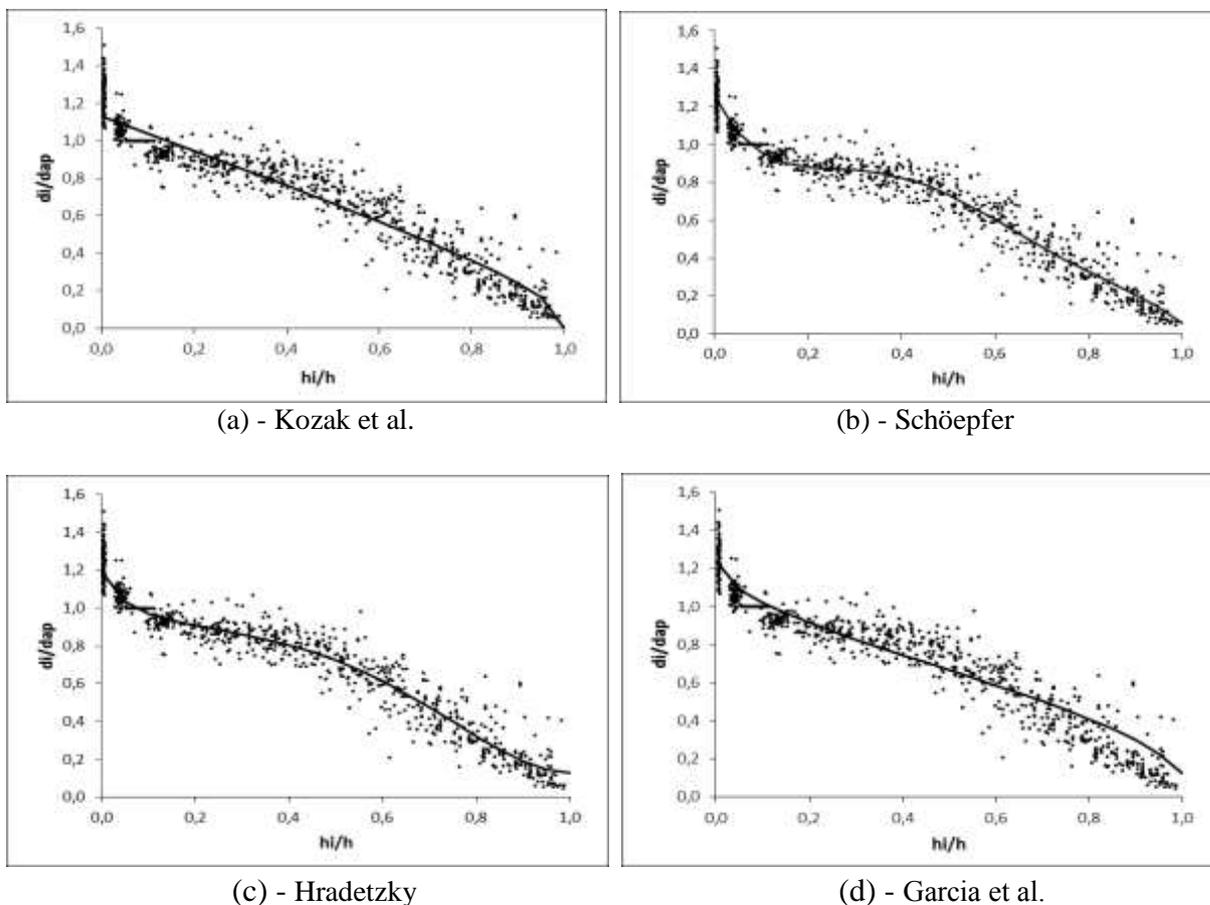


Figura 12. Distribuição dos diâmetros (d_i) observados e a curva média ajustada do afilamento dos troncos de *Hovenia dulcis*.

Os modelos de Kozak et al. (1969) e de Garcia et al. (1993) apresentam certa tendenciosidade nas estimativas da porção mediana e superior do tronco, subestimando e superestimando, respectivamente nas porções mediana e superior.

O modelo de Schöpfer, também conhecido como polinômio de 5°. grau, foi o que melhor representou o perfil do tronco, sendo superior nas estatísticas e na distribuição gráfica dos resíduos.

A função de afilamento foi fundamental nesta pesquisa para avaliar o sortimento das árvores (volume serraria e energia), a partir do qual foi possível definir o valor monetário de

cada indivíduo, base para as propostas de manejo. Devido à grande importância dada a estas funções, outras estatísticas foram geradas a partir do ajuste para estimar o diâmetro ao longo de todo o fuste. Assim sendo, tais estatísticas não devem ser confundidas com a execução de novos ajustes.

Os parâmetros estatísticos dos cinco modelos para a estimativa do diâmetro em alturas parciais, encontram-se descritos na Tabela 18. Os ajustes dos modelos foram avaliados nas seguintes alturas: 2,3; 6,3 e 10,3 m. Como constatado para o ajuste do diâmetro em todas as alturas, o polinômio de 5º Grau também apresentou o maior R^2_{adj} e o menor Syx (%) para os diâmetros estimados nas alturas parciais de 2,3 e 6,3 m. Nessas alturas encontra-se grande parte do volume serraria. Resultados semelhantes foram obtidos pela função de Hradetzky, também conhecida como polinômio de Potências Fracionárias.

Tabela 18. Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar os diâmetros com casca nas seguintes alturas: 2,3; 6,3 e 10,3 m.

Autor/Fonte	Altura	R^2_{adj}	Syx (cm)	Syx (%)	Nº
Kozak et al. (1969)	2,3	0,8336	3,26	12,62	[24]
	6,3	0,9005	2,45	10,61	
	10,3	0,8265	3,01	17,67	
Schöpfer (1966)	2,3	0,9495	1,79	6,95	[25]
	6,3	0,9253	2,12	9,20	
	10,3	0,8047	3,18	18,75	
Hradetzky (1976)	2,3	0,9457	1,86	7,21	[26]
	6,3	0,9227	2,16	9,36	
	10,3	0,8175	3,08	18,13	
Gracia et al. (1993)	2,3	0,8964	2,57	9,95	[27]
	6,3	0,8745	2,75	11,92	
	10,3	0,8260	3,01	17,70	

As demais equações quando comparadas às duas funções citadas tiveram estatísticas para o R^2_{adj} e para o Syx (%) muito inferiores. Na altura de 10,3 m todas as estatísticas utilizadas apontaram o modelo de Kozak et al. como superior para estimar o diâmetro. Outro modelo que não havia alcançado até então estatísticas superiores, foi o modelo de Garcia et al. que, para a altura parcial de 10,3 m, obteve um R^2_{adj} próximo a 0,82 e um Syx(%) de 17,70.

Na análise do gráfico dos resíduos (Figura 12) foi constatada uma maior dispersão dos resíduos para as porções finais do fuste nos dois modelos que apresentaram estatísticas superiores na altura de 10,3 m. Em um primeiro momento, a situação colocada mostra um certo conflito de informações, porém quando analisada mais profundamente observa-se que 10,3 m

para a maioria das árvores é apenas a metade ou um pouco mais da metade da altura total, sendo que a média da altura para as 80 árvores utilizadas nos ajuste foi de 17,84 m. Os resultados apresentados são perfeitamente possíveis de ocorrerem e mostram que a qualidade do ajuste varia entre os modelos ao longo do fuste, ora mais precisos, ora menos precisos.

Com base na Tabela 18 e na Figura 12 todos os modelos, excluindo a porção inferior do fuste, a partir de certa altura, apresentam estatísticas inferiores conforme ocorre o aumento gradual da própria altura. Este fato reforça a informação de que os modelos testados são incapazes de estimar com a mesma precisão os diâmetros ao longo do tronco.

Nesta pesquisa, a avaliação dos volumes parciais ao longo do fuste, calculados por meio das funções de afilamento, foi considerada tão importante quando avaliar o ajuste dos modelos para o diâmetro ao longo do fuste, em razão da metodologia dos regimes de manejo que define o momento de exploração das árvores de acordo com o seu valor monetário que, por sua vez, depende totalmente dos volumes parciais do fuste.

Todos os modelos foram avaliados para a estimativa do volume total e parcial do fuste, nas alturas 0,1 a 2,3 m; 0,1 a 6,3 m e 0,1 a 10,3 m. Apesar das funções de afilamento possibilitarem o cálculo do volume total do fuste, esta quantificação é pouco usual na área florestal, pois para isto utilizam-se as equações de volume ajustadas que, quase sempre, possuem estatísticas superiores. No caso desta pesquisa, avaliou-se os modelos para o ajuste do volume total do fuste devido a necessidade de quantificar a porção superior do tronco não considerado como volume serraria, calculado por meio da diferença entre o volume total e o volume serraria. Com a aplicação desta metodologia evita-se situações de incompatibilidade na quantificação do volume.

Na Tabela 19 observam-se os resultados estatísticos para os volumes total e parcial. Os dois modelos que possuem as melhores estatísticas para as duas primeiras alturas parciais (0,1 a 2,3 m e 0,1 a 6,3 m) foram gerados pelos modelos de Schöepfer e Hradetzky. Entre os demais modelos os volumes parciais para as duas primeiras alturas foram melhores estimados pelo modelo de Garcia et al. Para a última altura parcial (0,1 a 10,3 m) novamente, tem-se o modelo de Schöepfer como sendo superior, seguido pelo modelo Garcia et al. No caso do volume total, os modelos são bastante semelhantes entre si, com estatísticas similares. No entanto, o modelo de Garcia et al. apresentou os melhores resultados, seguidos pelos modelos de Schöepfer e Hradetzky.

Tabela 19. Estatísticas dos modelos de afilamento testados para estimar os volumes parciais e total com casca.

Autor/Fonte	Altura (m)	R²adj	Syx (cm)	Syx (%)	N°
Kozak et al. (1969)	total*	0,8902	0,13	22,62	[24]
	0,1 - 2,3	0,9492	0,02	13,48	
	0,1 - 6,3	0,9188	0,07	18,28	
	0,1 - 10,3	0,9184	0,10	18,77	
Schöpfer (1966)	total	0,8929	0,13	22,34	[25]
	0,1 - 2,3	0,9761	0,01	9,25	
	0,1 - 6,3	0,9482	0,05	14,60	
	0,1 - 10,3	0,9341	0,09	16,86	
Hradetzky (1976)	total	0,8921	0,13	22,43	[26]
	0,1 - 2,3	0,9525	0,02	13,04	
	0,1 - 6,3	0,9416	0,05	15,51	
	0,1 - 10,3	0,9222	0,09	18,33	
Gracia et al. (1993)	total	0,8947	0,13	22,15	[27]
	0,1 - 2,3	0,9515	0,02	13,20	
	0,1 - 6,3	0,9366	0,06	16,16	
	0,1 - 10,3	0,9229	0,09	18,24	

*volume total do fuste.

De modo geral, os modelos se comportaram de maneira semelhante para as estimativas dos volumes. As estatísticas R²adj e Syx% decrescem na medida que aumenta a altura da árvore. As melhores estatísticas encontram-se na primeira altura parcial até 2,3 m. Conforme o avanço da altura, as estatísticas tornam-se inferiores, culminando finalmente na altura total com as piores estatísticas.

O modelo de Kozak et al. distingue-se dos demais por apresentar os piores resultados estatísticos para todas as estimativas do volume e quando avaliado para o ajuste dos diâmetros ao longo do fuste as estatísticas foram superiores a outros modelos. Esta correlação mostra a grande variação existente entre os modelos para as diferentes estimativas do diâmetro ao longo do fuste e volumes parciais. Por exemplo, o modelo de Schöpfer apresenta superioridade aos demais para as estimativas do volume na primeira altura e inferior aos demais para a altura até 10,3 m e para a altura total. Os resultados mostram que existem grandes variações dentro do próprio modelo, no que diz respeito às estimativas dos volumes parciais e total.

Com base em todas as análises anteriores, optou-se pela adoção do modelo de Schöpfer, o polinômio de 5° Grau, que, por sua vez, mostrou de maneira geral ser superior nas estimativas dos diâmetros ao longo do fuste e dos volumes parciais.

5.2.4. Modelagem do crescimento diamétrico com funções globais

Os ajustes dos modelos testados para estimar o crescimento em diâmetro em função da idade para *Hovenia dulcis* estão na Tabela 20. Observa-se que os modelos biológicos apresentaram estatísticas para o R²adj (0,5945 a 0,5967) e para o Syx% (22,01 a 22,07). Os modelos não biológicos apresentaram estatísticas menos semelhantes entre si e, no geral, as mesmas foram inferiores comparando com os modelos biológicos. Entretanto, os resultados para o R²adj e para o Syx% foram muito similares para todo os modelos.

Tabela 20. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos globais testados para estimar o crescimento em diâmetro (cm).

	Autor/Fonte	Coeficientes	R ² adj	Syx (cm)	Syx (%)	Nº
Modelos Biológicos	Chapman-Richards	$\alpha = 63,37300^*$ $b = 0,93872^*$ $k = 0,01042^*$ $m = 0,38587^*$	0,5945	4,79	22,07	[28]
	Gompertz	$\alpha = 51,89310^*$ $b = 1,88577^*$ $k = 0,04632^*$	0,5962	4,78	22,02	[29]
	Logístico	$\alpha = 43,60820^*$ $b = 3,99119^*$ $k = 0,08212^*$	0,5967	4,78	22,01	[30]
Outras relações funcionais	Hossfeld	$\beta_0 = 1,36227^*$ $\beta_1 = 3,55214^*$ $\beta_2 = 0,45060^*$	0,5935	4,80	22,10	[31]
	Korf	$\beta_0 = 3,067,580^*$ $\beta_1 = 7,11747^*$ $\beta_2 = -0,13036^*$	0,5897	4,82	22,20	[32]

*significativo ao nível de 1% de probabilidade; α : valor assintótico; b: parâmetro de escala, sem interpretação biológica; k: taxa de crescimento biológico intrínseca; m: parâmetro de forma que define o ponto de inflexão; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: coeficientes estimados pelo modelo.

Os modelos de Gompertz e Logístico, ambos modelos biológicos, tiveram os melhores resultados estatísticos. Entre os modelos não biológicos o modelo de Hossfeld foi o modelo que apresentou os melhores resultados.

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram superiores aos encontrados por Stepka (2012) que ajustou diversas equações para estimar o crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* (Imbuia) presentes em um fragmento de FOM próximo da região da presente pesquisa, encontrando erros padrões de estimativa de 38,2 e 39,7%, respectivamente

para araucária e imbuia. Entretanto, a mesma pesquisa obteve resultados superiores para o R^2_{adj} , sendo 0,74 para Araucária e 0,69 para Imbuia.

Em relação aos modelos biológicos, observa-se que os valores assintóticos diferem entre si, ou seja, os limites para o DAP da espécie não se estabilizam no mesmo ponto entre os modelos. O modelo de Chapman-Richards possui o maior valor assintótico igual a 63,37 seguido do modelo de Gompertz (51,89) e Logístico (43,60).

Na Figura 13 observa-se que as curvas médias dos modelos são muito semelhantes até onde existem dados observados, neste caso até 41 anos. A diferença entre as curvas passa a ser maior após os 41 anos, observa-se que o modelo Logístico estabiliza-se antes dos demais, conforme o valor assintótico apresentado. O modelo de Chapman-Richards segue uma trajetória ascendente sem estabilizar-se até a última idade igual a 56 anos, nesta idade o diâmetro estimado situa-se próximo a 50 cm. A estabilização da curva ocorrerá próxima a 63,3 cm (valor assintótico) e, quando isto ocorrer a idade neste momento será superior aos 56 anos.

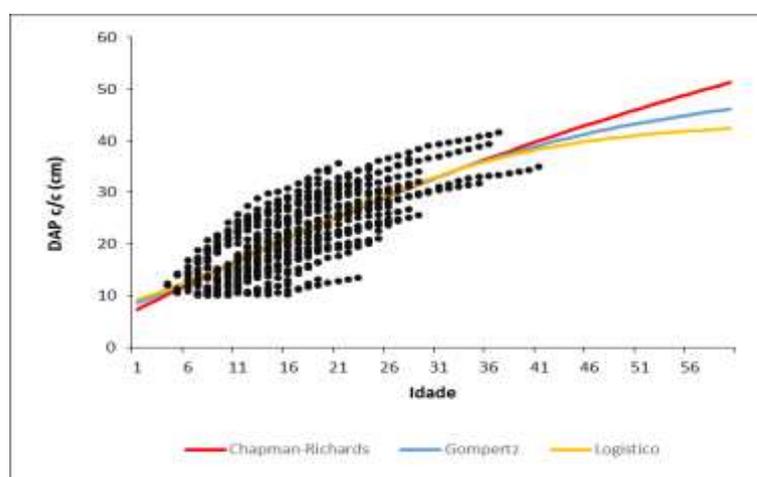
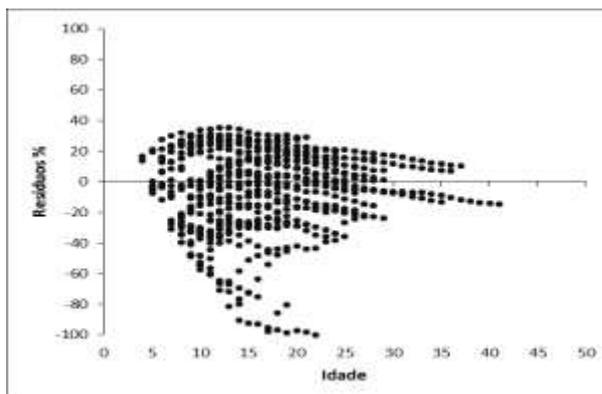
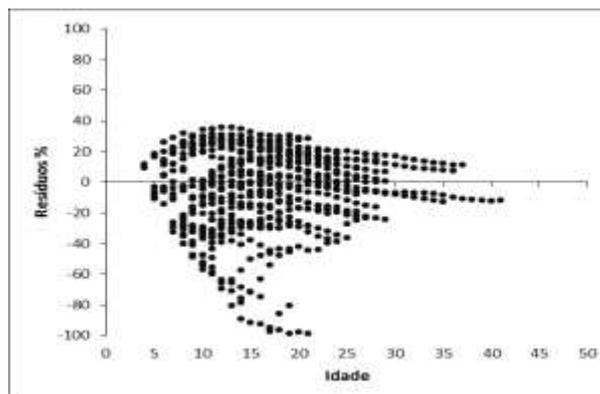


Figura 13. Curva média dos modelos biológicos em relação aos dados observados.

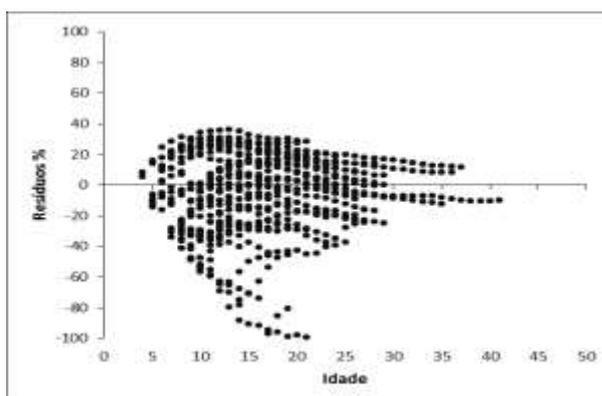
Por meio da análise gráfica de resíduos (Figura 14) pode-se observar a similaridade na distribuição dos resíduos entre todos os modelos, apresentando alguns pontos mais dispersos nas idades de 10 a 20 anos. Há uma pequena diferença entre os modelos biológicos e não biológicos. Os modelos não biológicos apresentam tendência apenas para a idade igual a 5 anos, pois todas as estimativas subestimam os diâmetros observados. Diferentemente dos modelos biológicos que para a mesma idade não se observa tendência.



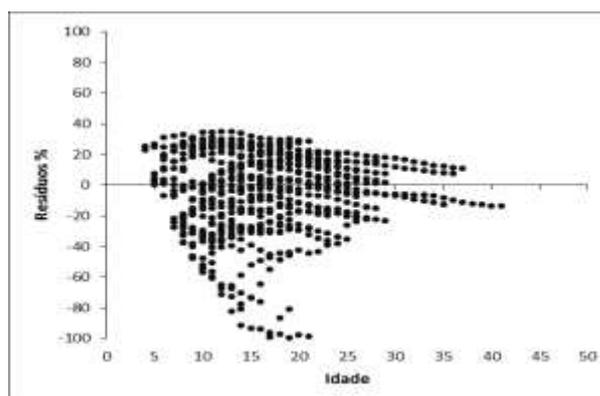
(a) - Chapman-Richards



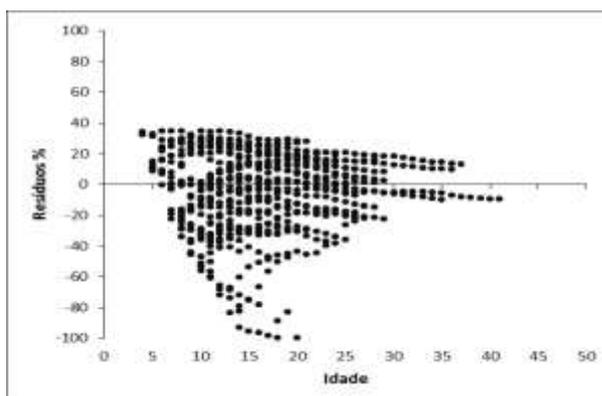
(b) - Gompertz



(c) - Logístico



(d) - Hossfeld



(e) - Korf

Figura 14. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca.

Os modelos biológicos expressaram as melhores estatísticas e, além disto, o gráfico dos resíduos não mostrou tendenciosidade em nenhuma idade. Em razão dos motivos descritos qualquer um dos modelos biológicos poderia ser utilizado para estimar o crescimento em diâmetro de *Hovenia dulcis*, com a idade sendo a única variável independente do modelo.

5.2.4.1 Adaptação dos modelos de crescimento em diâmetro com funções globais em função da idade relativa

Como mencionado na metodologia, o inventário a 100% ou censo da espécie disponibiliza apenas o DAP com casca, inviabilizando o uso dos modelos de crescimento em diâmetro apresentados no item anterior. Houve, portanto, a necessidade de uma adaptação para a geração de modelos de crescimento em diâmetro em função do DAP para uso nas projeções do DAP e construção do HP do projeto.

Desta forma, os mesmos modelos ajustados no item anterior foram ajustados com a escala de idades relativas proposta nesta pesquisa. Na Tabela 21 constam os resultados do ajuste para a metodologia proposta.

Tabela 21. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos globais testados para estimar o crescimento em diâmetro (cm) em função da idade relativa.

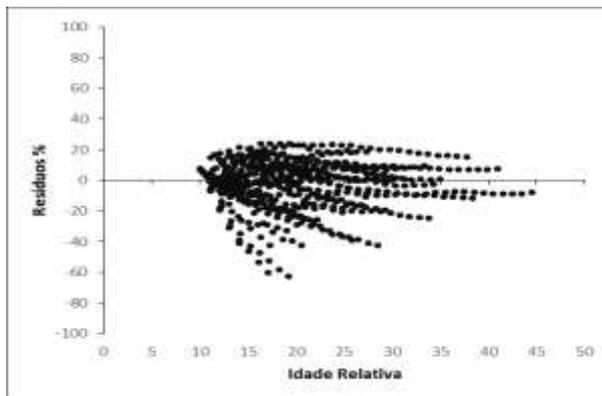
	Autor/Fonte	Coeficientes	R ² adj	Syx (cm)	Syx (%)	Nº
Modelos Biológicos	Chapman-Richards	$\alpha = 44,04480^*$ $b = 1,28033^*$ $k = 0,04790^*$ $m = 0,01052^*$	0,8276	3,13	14,39	[28]
	Gompertz	$\alpha = 38,49820^*$ $b = 3,41521^*$ $k = 0,09286^*$	0,8280	3,12	14,37	[29]
	Logístico	$\alpha = 36,18350^*$ $b = 9,61308^*$ $k = 0,13788^*$	0,8264	3,14	14,44	[30]
Outras relações funcionais	Hossfeld	$\beta_0 = 0,23454^*$ $\beta_1 = -4,32198^*$ $\beta_2 = 0,34658^*$	0,8090	3,29	15,15	[31]
	Korf	$\beta_0 = 60,48860^*$ $\beta_1 = 16,30380^*$ $\beta_2 = -0,93813^*$	0,8277	3,12	14,39	[32]

*significativo ao nível de 1% de probabilidade; α : valor assintótico; b; parâmetro de escala, sem interpretação biológica; k: taxa de crescimento biológico intrínseca; t_i : refere-se ao tempo na i -ésima medição; m: parâmetro de forma que define o ponto de inflexão; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: coeficientes estimados pelo modelo.

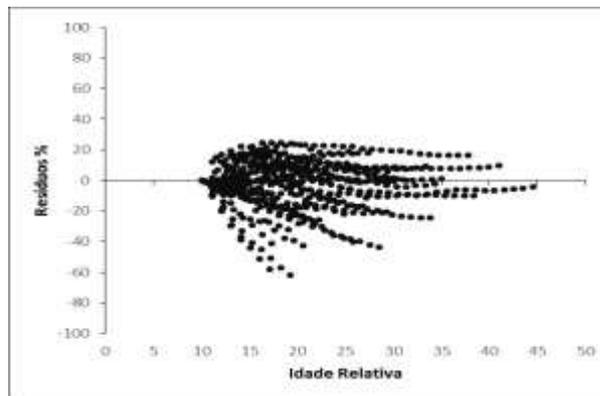
O desempenho do R²adj foi superior a 0,82, com erros (Syx%) inferiores a 14,5%. Para esta primeira análise, os resultados mostraram-se bastante satisfatórios. Todos os modelos apresentaram resultados muito próximos entre si, sendo poucas as diferenças existentes entre eles de acordo com as estatísticas empregadas. Além disto, a análise do *valor p* mostrou que todos os coeficientes dos modelos são significativos ao nível de 5% de probabilidade. Apesar

da proximidade dos modelos com relação às suas respectivas estatísticas observa-se que o modelo de Gompertz foi ligeiramente superior aos demais, seguido do modelo Korf.

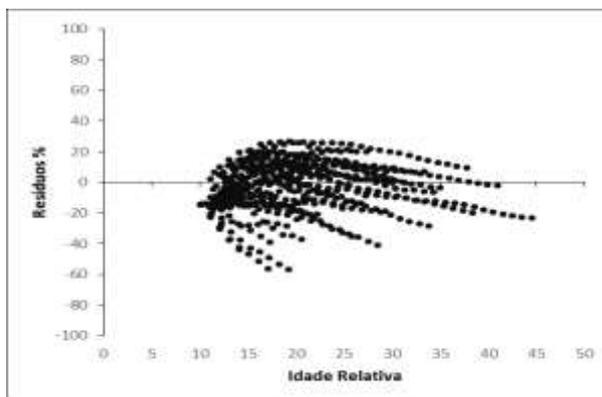
Na Figura 15 observa-se o gráfico dos resíduos para o ajuste dos modelos segundo a escala de idades relativas. De maneira geral, há pouca diferença entre os modelos para o gráfico dos resíduos, os mesmos não apresentam tendenciosidade. Observa-se apenas uma maior dispersão dos resíduos nas idades relativas entre 10 a 20.



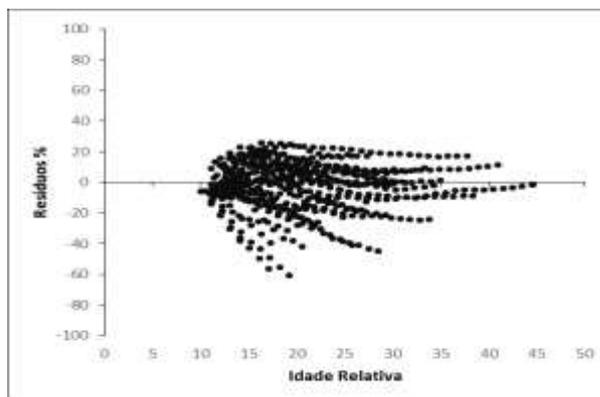
(a) - Chapman-Richards



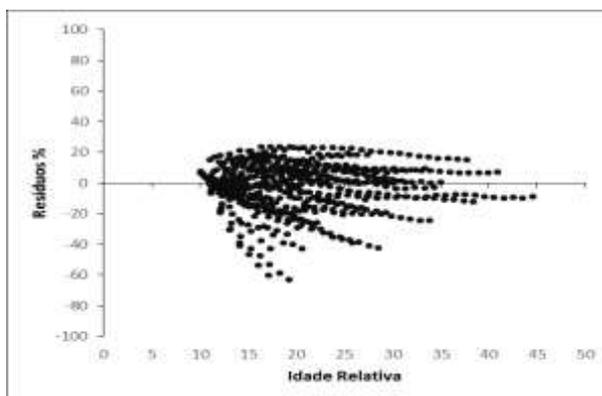
(b) – Gompertz



(c) - Logístico



(d) – Hossfeld



(e) – Korf

Figura 15. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca.

5.2.4.2 Comparação entre os modelos globais em função da idade observada e em função da escala de idades relativas

Os resultados das estatísticas (R^2_{adj} , Syx%) entre as metodologias (Tabela 22) foram superiores para o ajuste em função da escala de idades relativas. O R^2_{adj} entre os modelos em função da idade observada teve uma média de 0,59 que passou para 0,83 quando os modelos foram ajustados em função da idade relativa. Isto significa que, a escala de idades relativas explica melhor a variável dependente $Y = f(I)$. Assim, a relação existente entre as idades relativas e o DAP mostrou ser superior à relação existente entre DAP e idade observada.

Tabela 22. Comparação entre as estatísticas das duas metodologias de ajuste dos modelos globais para estimar o crescimento em diâmetro (cm).

Autor/Fonte	R^2_{adj}		Syx(%)	
	Original $d = f(I)$	Modificado $d = f(IR)$	Original $d = f(I)$	Modificado $d = f(IR)$
Chapman-Richards	0,5945	0,8276	22,07	14,39
Gompertz	0,5962	0,8280	22,02	14,37
Logístico	0,5967	0,8264	22,01	14,44
Hossfeld	0,5935	0,8090	22,10	15,15
Korf	0,5897	0,8277	22,20	14,39

I: idade observada; IR: idade relativa.

A superioridade da escala de idades relativas em relação a idade observada para o R^2_{adj} pode ser explicada pela relação entre os diâmetros observados ser mais forte para a primeira idade relativa (próprio DAP) do que a própria idade observada. Para esta pesquisa, a situação colocada é extremamente importante, pois quanto maior a correlação da escala de idades relativas com o DAP mais adequada será a prognose dos diâmetros ao longo do tempo para as árvores que serão manejadas. Sendo que, a primeira idade da escala de idades relativas é justamente a única informação existente para estas árvores.

O desempenho para o Syx(%) também foi muito superior para modelagem em função da escala de idade relativas. Ele passou de uma média de 22,1% para 14,5%, ou seja, o Syx% diminuiu cerca de 7,5%, valor bastante representativo que influencia diretamente na precisão do modelo em ajustar as estimativas do crescimento em diâmetro.

A diferença entre os $Syx(\%)$ pode ser comprovada por meio da análise dos gráficos dos resíduos (Figura 16). No ajuste em função da idade observada, a dispersão dos resíduos para as idades inferiores a 15 anos é muito maior que no ajuste em função da idade relativa. Nesta faixa de idade existem resíduos próximos a -100% para o ajuste em função da idade observada, valor aproximadamente 40% superior ao resíduo mais disperso para os ajustes em função da idade relativa. De modo geral, a dispersão dos resíduos é consideravelmente maior na modelagem pela idade observada.

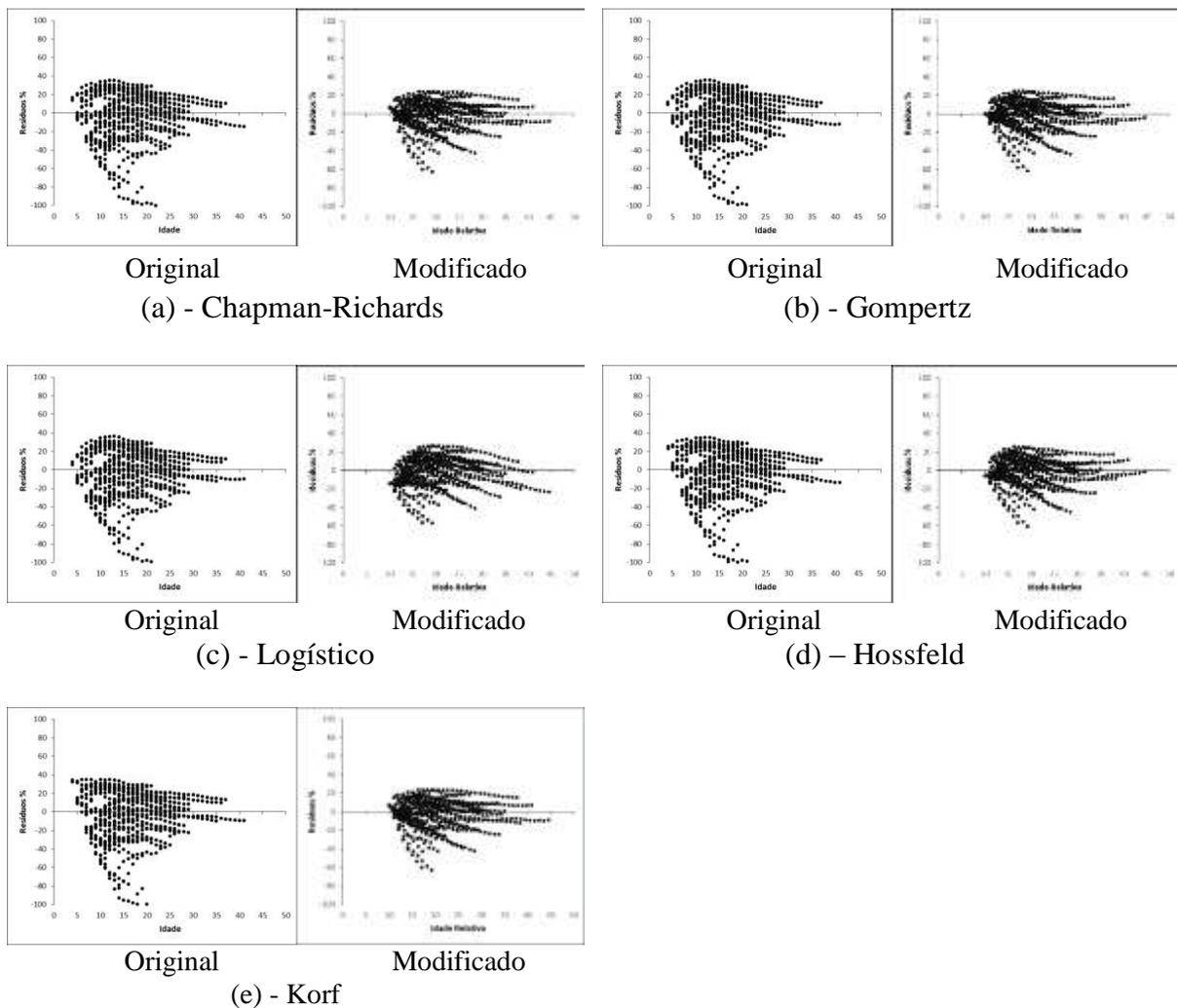


Figura 16. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca entre os diferentes métodos de ajuste.

Para os modelos biológicos, a diferença entre os valores assintóticos em relação às duas metodologias de ajuste (idade observada e idade relativa) chama a atenção. Como se trata da

curva média para os diâmetros da espécie, a grande diferença entre os valores pode demonstrar falta de realismo biológico por parte dos modelos. Como a metodologia que utiliza a idade observada no ajuste do crescimento em diâmetro não pode ser utilizada no banco de dados do censo da espécie, a avaliação se há ou não realismo biológico, foi feita apenas para a metodologia que faz uso da escala de idades relativas. O item 5.2.6 traz o resultado desta análise que passa a ser um dos critérios na determinação do modelo escolhido.

5.2.5 Modelagem do crescimento em diâmetro e altura com modelos de árvores individuais

5.2.5.1 Crescimento em diâmetro

Da mesma forma que os modelos de crescimento relacionando o DAP em função da idade, a modelagem de árvores individuais foi ajustada para a idade observada e para a idade relativa. No entanto, neste caso, os modelos incluem outra variável independente, o DAP do ano anterior. Um segundo modelo foi ajustado utilizando apenas o DAP do ano anterior como única variável independente.

Os resultados estatísticos do ajuste dos modelos estão apresentados na Tabela 23. Como todos os modelos, apesar de distintos entre si, utilizam o diâmetro do ano anterior (atual) como variável independente, pode-se afirmar que a idade observada é a variável que menos explica o diâmetro futuro. Os modelos (33b) e (34c) mostraram alto R^2_{adj} e baixo $Syx(\%)$ na estimativa do diâmetro futuro quando comparados ao modelo (33a). Os resultados entre estes dois modelos estão muito próximos para o conjunto de estatísticas, no entanto, o modelo (34c) apresentou pequena superioridade. Isto mostra que a idade relativa contribui menos na melhoria da qualidade do modelo, sendo o DAP anterior a variável com maior peso na estimativa do diâmetro futuro.

Vanclay (1994) explica que o incremento do fuste em diâmetro pode ser expresso como uma função de produção que estima o diâmetro futuro ($d_n = f(d_0, t) + \epsilon$), onde d_n é o diâmetro futuro estimado em função do diâmetro anterior (d_0) ao diâmetro futuro. Os resultados descritos nesta pesquisa reafirmam que a variável diâmetro pode ser usada para modelagem de crescimento, em substituição à idade.

Chassot et al. (2011) ajustaram modelos de árvores individuais para *Araucaria angustifolia* em um remanescente florestal nativo usando diferentes variáveis independentes e a variável melhor correlacionada com o diâmetro do ano de 2007 foi o diâmetro do ano de 2000, apresentando um R^2_{adj} de 0,99.

Tabela 23. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos individuais testados para estimar o crescimento em diâmetro (cm).

Autor/Fonte	Modelo	Coeficientes	R^2_{adj}	Syx (cm)	Syx (%)	N
Pienaar e Shiver (1981)	$d_2 = d_1 \exp^{-\beta_0(I_2^{\beta_1} - I_1^{\beta_1})}$	$\beta_0 = 6910,238^*$ $\beta_1 = -0,00011^*$	0,5943	4,29	19,10	[33a]
Pienaar e Shiver (1981) Modificado	$d_2 = d_1 \exp^{-\beta_0(IR_2^{\beta_1} - IR_1^{\beta_1})}$	$\beta_0 = 9,18292^*$ $\beta_1 = -0,54853^*$	0,7604	3,29	14,68	[33b]
Desconhecido	$d_2 = \beta_0 + \beta_1 d_1$	$\beta_0 = 1,55765^*$ $\beta_1 = 0,97350^*$	0,8007	3,11	14,35	[34c]

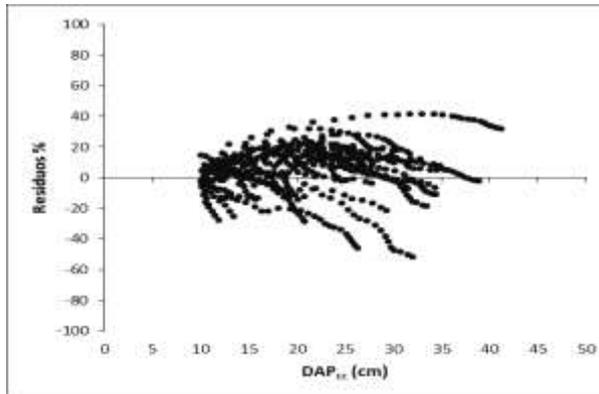
*significativo ao nível de 1% de probabilidade; d_2 : diâmetro futuro; d_1 : diâmetro atual (anterior); I_2 : idade futura; I_1 : idade atual; IR_2 : idade relativa futura; IR_1 : idade relativa atual.

O modelo (33a) proposto por Pienaar e Shiver (1981) mostrou não ser adequado para a realização de prognoses em florestas inequiâneas, pois mesmo com a utilização de uma variável de difícil determinação em florestas nativas, no caso a idade, o modelo apresentou os piores resultados estatísticos.

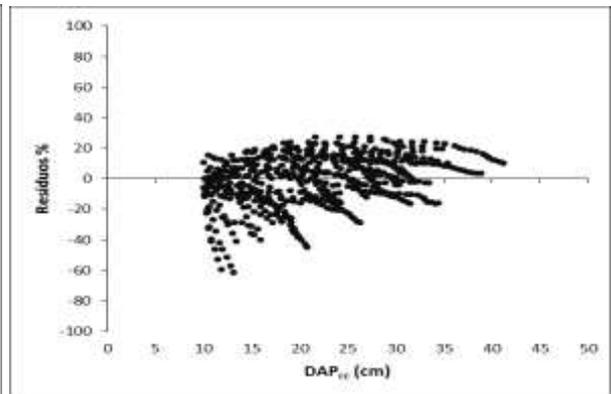
Os resíduos (Figura 17) foram plotados contra o DAP para que os modelos fossem comparados por meio da única variável independente presente em todos os modelos, no caso o próprio DAP. Observa-se que o modelo (34c), tem características bastante distintas na distribuição dos resíduos quando comparado aos demais modelos que, por sua vez, apresentam características mais similares. O modelo (33a) apresenta tendenciosidade com o aumento dos diâmetros e a dispersão dos resíduos para diâmetros abaixo de 20 cm é menor do que para os demais modelos. Entretanto, de acordo com o gradual aumento do diâmetro, a dispersão dos resíduos aumenta consideravelmente.

O modelo (34c) é tendencioso para diâmetros abaixo de 15 cm e acima de 30 cm. Sendo que para os diâmetros menores que 15 cm quase todas as estimativas estão abaixo da linha do eixo-x, ou seja, o modelo praticamente superestima todos os dados nesta faixa de diâmetro. Acima de 30 cm o modelo passa a subestimar os diâmetros. Apesar da tendenciosidade

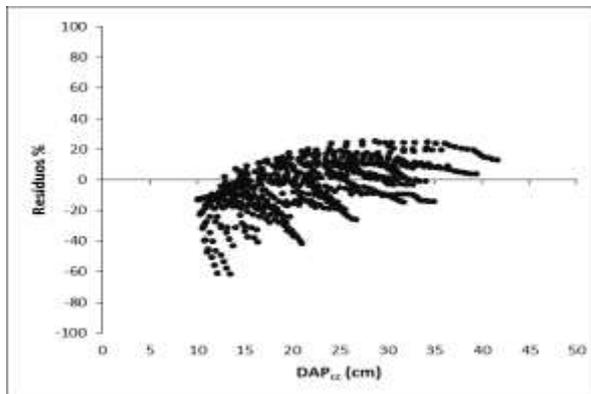
observada no modelo (34c), a dispersão dos resíduos de modo geral é menor quando comparada aos demais modelos, fato também comprovado pelo resultado do Syx(%).



(a) - Pienaar e Shiver (1981)



(b) - Pienaar e Shiver (1981) (modificado)



(c) - ($d_2 = \beta_0 + \beta_1 d_1$)

Figura 17. Distribuição dos resíduos (%) para a projeção do DAP com casca.

Observa-se que a maior dispersão dos resíduos para os modelos (33b) e (34c), ocorre nos diâmetros abaixo de 20 cm, situação contrária ao modelo (35a) que contém a maior dispersão dos resíduos nos diâmetros acima de 20 cm.

O modelo (33b), apesar de expressar estatísticas pouco inferiores ao modelo (34c), de modo geral, ajusta-se melhor ao conjunto de dados da espécie, principalmente, por ser menos tendencioso nas estimativas dos diâmetros abaixo de 20 cm.

5.2.5.2 Crescimento em altura

O modelo de Pienaar e Shiver modificado e o modelo em função da variável altura anterior ($h_2 = f(h_1)$) foram ajustados para a determinação do crescimento em altura. O motivo deste ajuste está na necessidade em obter resultados adequados para a prognose da altura total, sendo o objetivo final a determinação do volume energia de todas as árvores amostradas no censo que, por sua vez, é obtido pela função de afilamento e obrigatoriamente requer como variável independente a altura total. Os resultados estatísticos do ajuste dos modelos estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24. Coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados para estimar o crescimento em altura (m).

Autor/Fonte	Modelo	Coeficientes	R ² adj	Syx (m)	Syx (%)	Nº
Pienaar e Shiver (1981) Modificado	$h_2 = h_1 \exp^{-\beta_0(IR_2^{\beta_1} - IR_1^{\beta_1})}$	$\beta_0 = 7,10957^*$ $\beta_1 = -0,77986^*$	0,7195	1,61	9,65	[35]
Desconhecido	$h_2 = \beta_0 + \beta_1 h_1$	$\beta_0 = 1,83797^*$ $\beta_1 = 0,91652^*$	0,7401	1,66	10,23	[36]

*significativo ao nível de 1% de probabilidade; h_2 : diâmetro futuro; h_1 : diâmetro atual (anterior); I_2 : idade futura; I_1 : idade atual; IR_2 : idade relativa futura; IR_1 : idade relativa atual.

O modelo de Pienaar e Shiver (1981) modificado apresentou Syx(%) abaixo de 10% e R²adj acima de 0,70. Isto se deve ao uso como variável independente a idade relativa. Segundo a metodologia proposta, a primeira idade relativa é a própria altura total, esta imposição aproxima os valores entre os dados (idade relativa e altura total) fato determinante no resultado do ajuste.

O modelo (36) contém estatísticas semelhantes ao modelo (35), sendo superior para o R²adj e inferior para Syx(%). Um modelo difere do outro por possuir a altura anterior como única variável independente e, pelos resultados apresentados comprova-se que, a variável independente altura anterior apresenta maior influência que a variável idade relativa na estimativa da altura futura.

Na análise gráfica dos resíduos (Figura 18) observam-se resultados distintos entre os modelos. O modelo (35), apresenta uma distribuição homogênea dos resíduos com valores próximos ao eixo-x para todas as alturas. No caso do modelo (36), observa-se uma distribuição

menos homogênea dos resíduos, especialmente, nas alturas abaixo de 15 m. Para estas alturas, o modelo superestima os valores e, após os 20 m de altura o modelo volta a ser tendencioso. Fora alguns pontos isolados, os resíduos apresentam-se pouco dispersos ao longo do eixo-x para ambos os modelos.

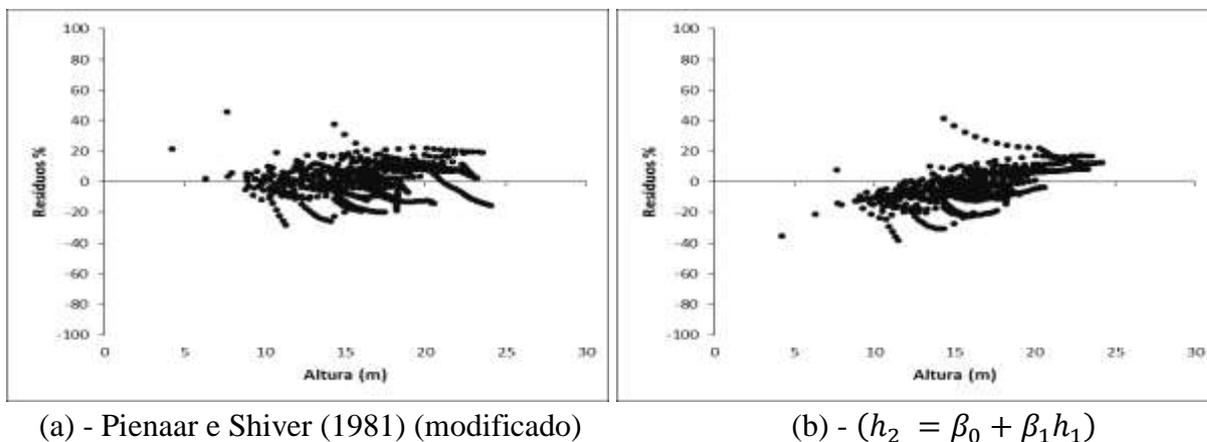


Figura 18. Distribuição dos resíduos (%) para a estimativa da altura total.

Entre os dois modelos, o ajuste mais adequado para a estimativa da variável dependente altura total foi obtido no modelo (35), principalmente, por apresentar o menor $Sy_x(\%)$ juntamente com uma distribuição dos resíduos mais homogênea que o modelo (36). Portanto, o mesmo foi escolhido para a projeção das alturas totais ao longo dos anos. Como este modelo depende da altura anterior para prognosticar a altura futura, a primeira altura total foi determinada por outro modelo, no caso o modelo que melhor ajustou a altura em função do DAP (h/d) (item 5.2.1).

5.2.6 Avaliação dos modelos de crescimento em diâmetro quando ao realismo biológico

Na Tabela 25 constam os valores para o IMC observado e os valores estimados pelos modelos, ou seja, o IMC estimado. O IMC observado segue uma tendência decrescente de acordo com o aumento dos diâmetros. No entanto, a primeira classe possui um valor menor do que a segunda classe, significando que o crescimento possui uma curva unimodal assimétrica.

Após a segunda classe, o IMC assume valor decrescente até sua última classe, passando de 1,26 cm para 0,45 cm.

Tabela 25. Erro percentual absoluto e erro percentual absoluto médio na avaliação quanto ao IMC.

Classes de diâmetro (cm)	IMC Obs. (cm)	Erro Percentual Absoluto (EPA)						
		Chapman-Richards (28)	Gompertz (29)	Logístico (30)	Hossfeld (31)	Korf (32)	Pienaar e Shiver Mod. (33b)	$d_2 = \beta_0 + \beta_1 d_1$ (34)
1.[10 – 13)	1,19	29,1	9,21	8,66	7,55	17,00	12,92	3,99
2.[13 – 16)	1,26	11,3	13,84	12,17	15,73	14,00	0,40	6,62
3.[16 – 19)	1,18	6,6	9,19	10,85	14,25	8,25	0,75	7,70
4.[19 – 22)	0,98	14,7	6,38	8,56	0,05	6,79	11,69	3,60
5.[22 – 25)	0,85	15,9	10,58	10,34	11,57	10,54	18,18	10,45
6.[25 – 28)	0,74	15,2	12,65	9,54	24,94	13,94	24,67	17,07
7.[28 – 31)	0,66	7,2	12,37	13,80	34,54	13,75	26,59	18,04
8.[31 – 34)	0,61	7,0	16,13	19,14	40,76	13,06	24,16	13,89
9.[34 – 37)	0,60	29,0	39,07	40,56	35,95	35,53	10,45	0,39
10. (>37)	0,45	25,6	100	100	79,07	2,61	32,73	20,39
EPA Médio		16,6	22,9	23,4	26,4	13,5	16,2	10,2

IMC: incremento médio da classe de diâmetro.

De modo geral, os modelos expressaram valores distintos entre si, porém há um comportamento similar para os modelos biológicos, já para os demais, o comportamento não segue um padrão evidente. Os modelos biológicos (Gompertz e Logístico) apresentaram EPA relativamente baixo até a classe 8, variando entre 6,38 até 19,14%, na classe 9 e 10 o erro supera 39%. Estes erros nas duas classes superiores mostram que os dois modelos biológicos não ajustaram adequadamente o crescimento em diâmetro para os indivíduos com DAP superior a 34 cm.

Erros superiores a 100% indicam que o modelo não estimou valores para a classe em questão, ou seja, nenhum indivíduo teve seu diâmetro estimado nessa classe, por este motivo, não existem estimativas para o IMC. Assim sendo, conclui-se que estes modelos, não possuem realismo biológico para os dados desta pesquisa e a alteração da idade real para uma escala de idades relativas neste caso mostrou falta de relação funcional, deixando de ser uma opção

aplicável. Além disto, o valor para o EPAM para estes dois modelos foi o mais alto, superando 23%.

O modelo de Chapman-Richards não segue exatamente o padrão dos demais modelos biológicos, e os erros para as duas maiores classes são menores. Neste caso, a principal diferença está na classe 10, que contém estimativas de diâmetro para a classe.

Os outros dois modelos não biológicos (Hossfeld e Korf) que utilizam a idade relativa como única variável independente apresentaram valores bastante variáveis em todas as classes. Observa-se que em todas as classes de diâmetros foram atribuídos valores estimados. Ambos os modelos mostraram oscilações no EPA, com diminuição e aumento do erro sem seguir nenhum padrão. Com relação aos menores EPA, o modelo de Hossfeld exibe valor próximo a zero na classe 4 e o modelo de Korf tem valor de 2,6% na classe 8. O EPAM para o modelo Hossfeld foi de 26,4% e para o modelo Korf de 13,5%. Com estes resultados, deduz-se que o modelo de Korf teve resultados mais próximos da característica de crescimento da espécie.

Os modelos de árvores individuais comportaram-se de maneira distinta quanto ao EPA e quanto ao EPAM. O modelo (33b) apresentou EPA superior ao modelo (34) para 8 classes de diâmetro, assim o EPAM também foi superior para o modelo em questão. O modelo (34) resultou em erros abaixo de 10% para cinco classes e, apenas, a classe 10 apresentou erro acima de 20%. Com estes resultados, o modelo (34) gerou o menor EPAM, ou seja, o erro médio está mais próximo de zero do que qualquer outro modelo ajustado. Apesar de apresentar o menor EPAM o modelo (34) gerou uma distribuição dos resíduos bastante tendenciosa e, por este motivo, não foi selecionado.

O modelo (33b) além de apresentar resultados satisfatórios quanto a avaliação do IMC, com EPAM de 16,2%, gerou resultados adequados para as estatísticas de regressão e para o gráfico dos resíduos. Portanto, este foi o modelo selecionado para a prognose do crescimento em diâmetro.

5.3 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INGRESSO E MORTALIDADE

A base de dados do inventário utilizado no cálculo do ingresso e da mortalidade está descrita na Tabela 26. O número de árvores vivas passou de 59 para 70 em 3 anos e este acréscimo de 11 árvores não condiz com o valor encontrado pelo ingresso, que foi de 15 árvores.

A diferença é decorrente das árvores exploradas pelos proprietários, que cortaram 4 árvores do total das árvores vivas em 2014.

Tabela 26. Dados do inventário utilizados no cálculo do ingresso e da mortalidade entre 2011 e 2014.

Propriedade	Área da parcela (m ²)	Vivas 2011	Vivas 2014	Ingresso 11/14	Mortalidade 11/14	Colhidas 11/14
1	2000	5	6	1	0	0
	2000	1	0	0	0	1
2	2000	2	0	0	0	2
	2000	1	3	2	0	0
	2000	11	14	3	0	0
	2000	11	15	4	0	0
3	2000	19	22	3	0	0
4	2000	3	3	0	0	0
5	2000	2	3	1	0	0
	2000	2	2	0	0	0
	2000	0	0	0	0	0
6	2000	0	0	0	0	0
	2000	0	0	0	0	0
	2000	0	0	0	0	0
7	1200	1	2	1	0	0
	1600	0	0	0	0	0
	1200	0	0	0	0	0
8	400	0	0	0	0	0
	400	1	0	0	0	1
TOTAL	28.800	59	70	15	0	4

O resumo dos dados do inventário com as taxas de ingresso, mortalidade e colheita encontram-se na Tabela 27. Entre os períodos analisados nenhuma árvore morre, fato que resulta em uma taxa de mortalidade igual a zero. O resultado com relação a mortalidade reforça o que se observa atualmente na FOM, uma expansão da espécie sem nenhuma forma de controle natural, que ocorre, justamente pela vantagem que as espécies exóticas invasoras têm fora de seus ambientes de origem. Entretanto, observa-se que 4 indivíduos foram colhidos pelos proprietários rurais e, com base nestes indivíduos determinou-se uma taxa de colheita anual de 2,26%.

A taxa de ingresso encontrada para a espécie foi de 8,5%, ou seja, para cada 100 árvores 8,5 árvores ingressam na floresta anualmente. A taxa de ingresso é um dos parâmetros mais importante para a determinação do número de árvores a serem cortadas por ciclo, pois parte-se do princípio que, a estabilização da expansão somente irá ocorrer quando o balanço entre as entradas e as saídas no número de indivíduos esteja equalizado.

Tabela 27. Ingresso, mortalidade e colhidas em relação a quantidade total inicial de árvores e por espécie.

Área (ha ⁻¹)	Vivas 2011	Vivas 2014	Vivas (%)	Mortas	Mortas (%)	Col.	Col. (%)	Ing.	Ing. (%)	Diferença (%)
2,88	59	70	100	0	0	4	2,26	15	8,47	6,54

Col.: colhidas; Ing: ingresso.

A coluna descrita como diferença dada em porcentagem (Tabela 27) foi definida pela taxa de ingresso menos a taxa de colheita. Apesar de ter sido calculada, esta taxa não foi utilizada como base para este trabalho, principalmente, em razão da inconsistência existente no próprio parâmetro que, por sua vez, depende da colheita aleatória e opcional feita pelos proprietários rurais.

5.4 AVALIAÇÃO DO ESTOQUE ATUAL E DETERMINAÇÃO DO PADRÃO ÓTIMO DE CORTE DO FUSTE EM NÍVEL INDIVIDUAL

A seguir são apresentados os resultados obtidos para o estoque atual da população. O estoque atual equivale ao estoque para o ano zero, ou seja, é o potencial florestal instalado antes de qualquer intervenção na floresta. As avaliações dos volumes e das receitas foram feitas separadamente para os componentes fuste e galhos, posteriormente, avaliou-se conjuntamente ambos os componentes.

5.4.1 Volume e receita para o componente fuste

O resultado para as estimativas volumétricas do fuste estão na Tabela 28. As 904 árvores amostradas no censo possuem um volume total de 260,1 m³, do qual, 108,8 m³ é volume para serraria e 151,4 m³ é volume para energia. Com esta divisão, o volume energia contribui com quase 60% do volume total, devido a contribuição das quatro primeiras classes.

As três primeiras classes não apresentam volume serraria e a classe 4 contém apenas 34,4% de seu volume destinado a serraria. Por outro lado, as classes 6 e 7 têm a maior conversão do volume total em volume serraria, representando 37% do volume serraria com apenas 23,4% do volume total entre todas as classes de diâmetro. Apesar das três maiores classes apresentarem os maiores indivíduos em diâmetro, a conversão do volume total em volume serraria foi inferior

às classes 5, 6 e 7. Isto ocorre devido alguns fatores como, por exemplo, qualidade e altura do fuste para serraria. Estes fatores não dependem das classes de diâmetro, mas dos próprios indivíduos amostrados.

Tabela 28. Distribuição em classes de diâmetro dos volumes e das receitas: total, serraria e energia.

Classes de diâmetro (cm)	Pop.	Total				Serraria			Energia		
	Freq. Obs. Abs.	Volume (m ³)	(%)	Receita (R\$)	(%)	Vol. (m ³)	Rec. (R\$)	Vol. e Rec. (%)*	Vol. (m ³)	Rec. (R\$)	Vol. e Rec. (%)*
1.[10 – 13)	150	11,11	4,3	498	2,2	0,00	0	0,0	11,11	498	7,3
2.[13 – 16)	176	22,02	8,5	986	4,3	0,00	0	0,0	22,02	986	14,5
3.[16 – 19)	161	30,84	11,9	1.382	6,0	0,00	0	0,0	30,84	1.382	20,4
4.[19 – 22)	143	39,50	15,2	3.154	13,7	13,16	1.973	12,1	26,35	1.180	17,4
5.[22 – 25)	95	35,45	13,6	3.697	16,0	19,99	2.980	18,4	15,59	698	10,3
6.[25 – 28)	57	27,18	10,5	3.033	13,1	17,25	2.586	15,9	9,94	445	6,6
7.[28 – 31)	56	33,64	12,9	3.921	17,0	22,94	3.441	21,1	10,71	480	7,1
8.[31 – 34)	26	19,83	7,6	2.189	9,5	12,36	1.854	11,4	7,47	335	4,9
9.[34 – 37)	21	19,02	7,3	2.110	9,1	11,96	1.794	11,0	7,06	316	4,7
10. (>37)	19	21,48	8,3	2.134	9,2	11,14	1.671	10,2	10,34	463	6,8
Total	904	260,1	100	23.104	100	108,8	16.299	100	151,4	6.784	100

*neste caso a receita é calculada multiplicando o volume a um preço fixo para todas as árvores, assim os percentuais são os mesmos tanto para o volume como para a receita; Pop.: população; Freq. Obs. Abs.: frequência observada absoluta; Rec.: receita; Vol.: volume.

Em relação ao volume energia, a classe 3 gerou a maior contribuição, seguida da classe 4 com um total de 57,0 m³. As classes 8 e 9 foram as que menos contribuíram para o volume energia, com apenas 9,6% do total, equivalente a 14,53 m³.

O valor monetário do estoque atual para o componente fuste é de R\$ 23.104,00, neste cálculo utilizou-se o de valor 150 R\$/m³ para o volume serraria e de 44,80 R\$/m³ para o volume energia. O volume serraria contribuiu com cerca de 73% deste valor, equivalentes a R\$ 16.299,00, o restante faz parte da contribuição do volume energia, com uma receita de R\$ 6.784,00. As maiores rentabilidades, isto é, a maior conversão do volume total em receita total, foram observadas nas classes 6 e 7, onde 23,4% do volume produziram 30,1% da receita total. Conforme relatado anteriormente, estas duas classes possuem as duas melhores taxas de conversão do volume total em volume serraria, fato que explica o melhor desempenho relativo.

Em contrapartida, as menores relações na conversão do volume total em receita total são encontradas nas classes 2 e 3, onde 20,4% do volume total fornece 10,3% da receita total.

Em termos absolutos, as maiores receitas correspondem às classes 4, 5 e 7 que geram um total de R\$ 10.772,00. Isto significa quase 46,6% da receita total com apenas 32,5% do total de indivíduos. Na outra ponta, encontram-se as classes que possuem apenas volume energia (1, 2 e 3) que com 53,8% do total de indivíduos fornecem apenas 12,4% da receita total, equivalentes a R\$ 2.866,00.

As proporções entre a quantidade de indivíduos e receita total gerada para os mesmos indivíduos deixam bastante claro que quando as árvores encontram-se na faixa de DAP entre 10 e 19 cm o resultado financeiro da exploração das mesmas é menor. O objetivo das propostas de manejo desta pesquisa devem justamente definir o melhor momento de exploração de cada indivíduo, onde a receita deve ser a máxima. Desta forma, os resultados financeiros serão potencializados, o que certamente, acarretará em uma exploração tardia (últimos ciclos de corte) dos indivíduos da classe 1, 2 e 3. Na Figura 19 observa-se, para o estoque atual, o volume médio individual (VI) de cada classe.

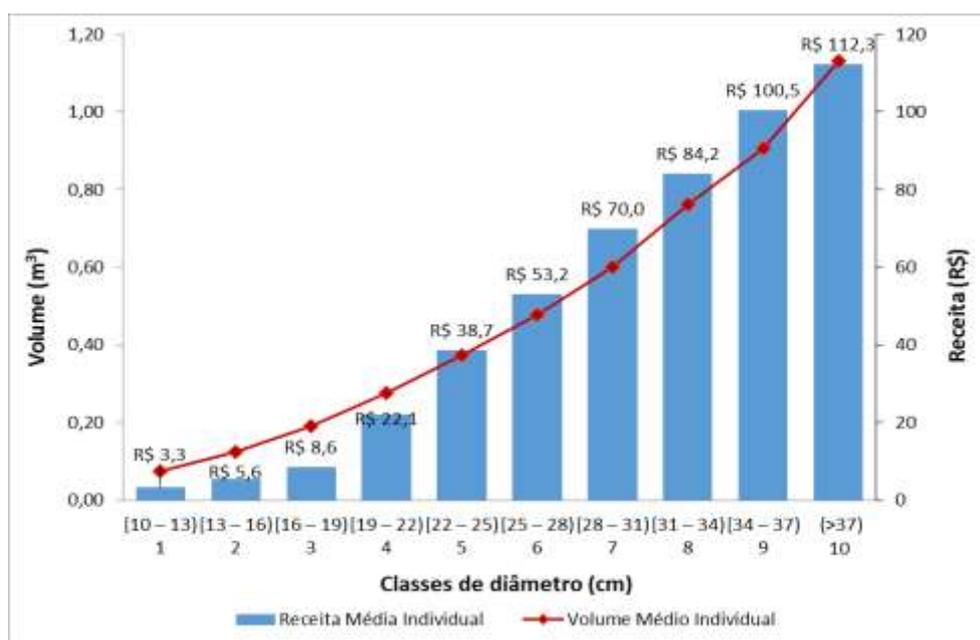


Figura 19. Relação existente entre o volume médio individual (m³) do fuste e a receita média individual (R\$) em classes de diâmetro.

A relação do VI com a receita média individual (RI) por classe de diâmetro indica em qual classe a espécie apresenta o melhor retorno econômico em relação ao seu volume. Quanto

mais a linha média do volume individual estiver acima da coluna que representa a receita média individual, pior é a conversão do volume em receita. Assim, as classes 1 a 4 têm os piores resultados na conversão do volume em receita e, por outro lado, as classes 6 a 9 apresentam os melhores resultados. As classes 5 e 10 expressam resultados intermediários, não possuem a melhor e nem a pior conversão do volume em receita.

As informações obtidas são importantes para o manejo e podem ser utilizadas como ferramenta de apoio na avaliação de outras propostas de manejo para a espécie. No entanto, estas informações devem ser utilizadas com cuidado, pois as mesmas são dependentes de cada uma das árvores amostradas e, por este motivo, os resultados podem variar para outros indivíduos amostrados.

Na Figura 20, observa-se o comportamento da produção total, serraria e energia em porcentagem para o componente fuste por classe diamétrica. A curva do volume total explica de maneira adequada o comportamento da produção, por ser justamente a somatória das duas outras curvas (Vol. Energia e Vol. Serraria). O volume total segue uma tendência de crescimento nas três primeiras classes conforme ocorre o aumento do volume energia. Na classe 4 o volume energia assume uma tendência decrescente, porém o volume total continua aumentando, em razão da contribuição do volume serraria que, anteriormente não existia, fato que culmina na produção máxima entre as classes (39,5 m³).

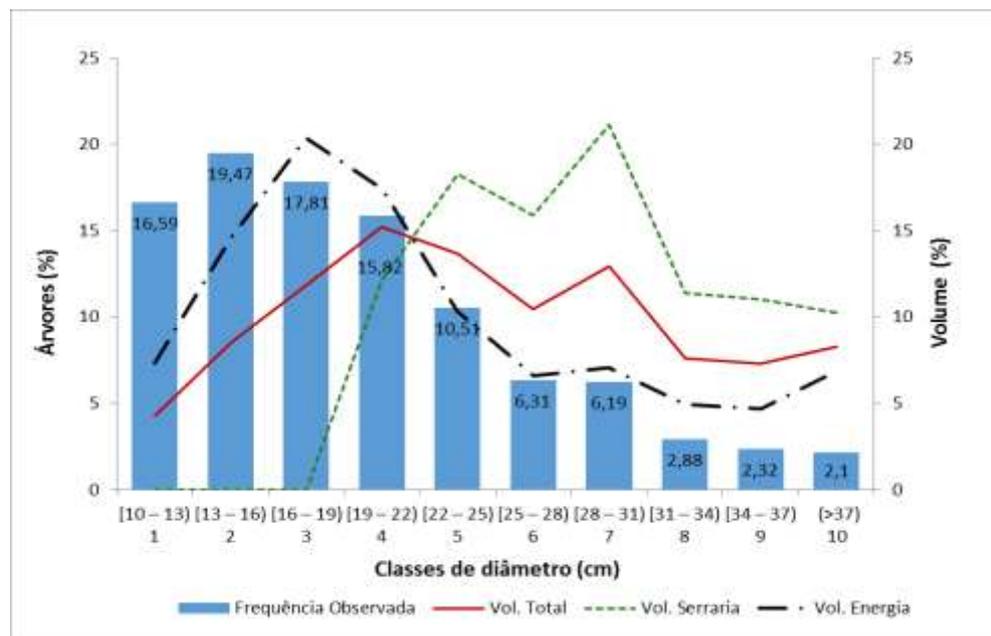


Figura 20. Comportamento da produção total, serraria e energia para o componente fuste por classe diamétrica, em porcentagem.

A curva do volume total passa a diminuir a partir da classe 5, principalmente, pelo decréscimo acentuado do número de indivíduos, diminuição de 40% entre as classes e pela queda do volume energia (2,5%). A curva do volume total volta a assumir uma posição crescente na classe 7, devido à grande contribuição do volume serraria. Posteriormente, observa-se o decréscimo no número de indivíduos e a consequente queda no volume serraria que, por sua vez, traz a curva do volume total para baixo, seguindo em queda até a classe 10. Nesta última classe ocorre o aumento do volume energia mesmo com menos indivíduos do que a classe anterior, situação que promove uma leve tendência de alta no volume total.

A Figura 21 exibe para os fustes das 904 árvores amostradas as receitas total, receitas serraria e receitas energia relacionadas com o volume total por classes de diâmetro e em porcentagem. Nas três primeiras classes observa-se que o aumento gradual do volume traz consigo um aumento bastante acentuado da receita energia que, em consequência, resulta em um aumento suave na curva da receita total. A partir do momento em que a receita serraria deixa de ser igual a zero (classe 4) verifica-se um aumento severo na receita total apesar da diminuição drástica da receita energia. Com apenas um aumento de 3,3% no volume total, observa-se um aumento de pouco mais de 5% para quase 15% da receita total.

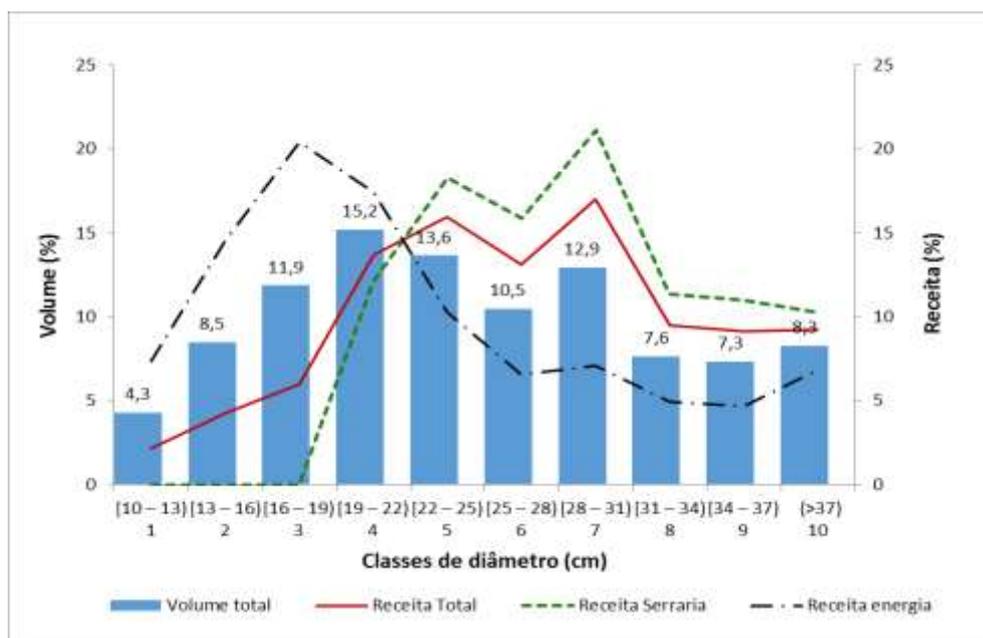


Figura 21. Comportamento da receita total, serraria e energia para o componente fuste por classe diamétrica, em porcentagem.

A classe 5 mantém o crescimento da receita total, em virtude da receita serraria continuar crescente, na classe seguinte o decréscimo do volume total promove a queda da receita serraria que, como consequência, traz o declínio da receita total. Na classe 7 com um pequeno acréscimo no volume (2,4%), a receita total aumenta 4,0%. A receita energia a partir da classe 3 assume uma posição decrescente. Com a diminuição de 5,3% no volume total, a receita total sofre queda de 7,7%, sob influência direta da receita serraria. Nas três últimas classes tanto o volume total quanto a receita total praticamente estabilizam-se, o que ocorre é uma leve queda da receita serraria compensada pelo aumento da receita energia.

5.4.2 Volume e receita do componente galhos

O volume dos galhos por classes de diâmetro (Tabela 29) foram estimados a partir da biomassa total de cada classe. A biomassa total gerada para todas as árvores foi de 62,23 toneladas, convertendo este valor em metros cúbicos tem-se um total de 97,24 m³. As classes 4, 5 e 7 são as classes que possuem maior volume dos galhos, cerca de 39,83%, na média cada uma destas classes contribuem com 13,28%. Os menores volumes para os galhos são observados nas classes 1, 8 e 9, que totalizam 19,64% do total, cerca de 6,55% do volume total dos galhos por classe. A diferença entre as classes com maior e menor volume dos galhos na média é de 6,73%, ou seja, 6,54 m³ de diferença entre as classes.

A receita total obtida com o volume dos galhos foi de R\$ 4.356,00, valor aproximadamente 5 vezes menor do que a receita do fuste. Como a obtenção da receita é função direta do volume, as três classes com maiores volumes exibem maiores receitas. A relação inversa é verdadeira, as classes com menos volume geram menos receitas. Em termos absolutos, a maior receita por classe é de R\$ 657,00 (classe 4) e a menor é de R\$ 226,00 (classe 1). Esta última classe por apresentar 150 indivíduos, 16,6% do total, tem a pior relação entre quantidade relativa de indivíduos e a receita/volume dos galhos (5,18%), taxa de conversão de 0,31. Com esta relação entende-se que o volume dos galhos depende diretamente do diâmetro.

A taxa de conversão nada mais é do que a razão entre a receita/volume percentual dos galhos e o número de indivíduos percentuais de cada classe. A maior taxa de conversão pode ser observada na classe 10, onde 2,1% dos indivíduos geram 8,0% do volume/receita, taxa de conversão de 3,8. Observa-se por meio desta classe que o diâmetro é o principal fator que define o volume/receita dos galhos.

Tabela 29. Distribuição do volume e da receita total em classes de diâmetro para o componente galhos.

Classes de diâmetro (cm)	Freq. Obs. Abs.	Biomassa (t)	Vol. (m³)	Rec. (R\$)	Vol. e Rec. (%)*	Taxa de Conversão**
1.[10 – 13)	150	3,22	5,04	226	5,18	0,31
2.[13 – 16)	176	5,68	8,88	398	9,13	0,47
3.[16 – 19)	161	7,53	11,77	527	12,10	0,68
4.[19 – 22)	143	9,38	14,66	657	15,08	0,95
5.[22 – 25)	95	8,31	12,98	581	13,35	1,27
6.[25 – 28)	57	6,33	9,88	443	10,16	1,61
7.[28 – 31)	56	7,80	12,19	546	12,53	2,02
8.[31 – 34)	26	4,59	7,18	322	7,38	2,57
9.[34 – 37)	21	4,41	6,88	308	7,08	3,05
10. (>37)	19	4,98	7,78	349	8,00	3,81
Total	904	62,23	97,24	4356	100,00	-

*neste caso a receita é calculada multiplicando o volume a um preço fixo para todas as árvores, assim os percentuais são os mesmos tanto para o volume como para a receita; **relação entre quantidade relativa de indivíduos e a receita/volume dos galhos; Freq. Obs. Abs.: frequência observada absoluta; Vol.: volume; Rec.: receita.

Em termos percentuais, o volume e a receita por classe são idênticos entre si, pois a receita depende única e exclusivamente do volume multiplicado pelo preço. Na Figura 22, observa-se a linha volume/receita em porcentagem em relação à quantidade percentual de indivíduos em cada classe. Quanto maior a diferença entre o volume/receita e o número de indivíduos de cada classe, melhor é a taxa de conversão.

Constata-se que, em razão do número de indivíduos, as três primeiras classes contribuem pouco em termos relativos para o volume/receita, sendo a contribuição da classe 1, inferior à contribuição das classes 8 a 10. O volume/receita sofre oscilação em todas as classes com pontos altos e baixos nas classes após as tendências de acréscimo e decréscimo.

Na Figura 23, observa-se a relação entre o volume médio individual (m³) e a receita média individual (R\$) por classe diamétrica. Com o aumento gradual do volume, ocorre também o aumento equivalente das receitas. Assim sendo, para a primeira classe com 0,033 m³ obtém-se em média R\$ 1,50, já para a classe 10, com 0,409 m³ obtém-se R\$ 18,34. A relação estabelecida mostra a mesma proporção na conversão do volume dos galhos em receita.

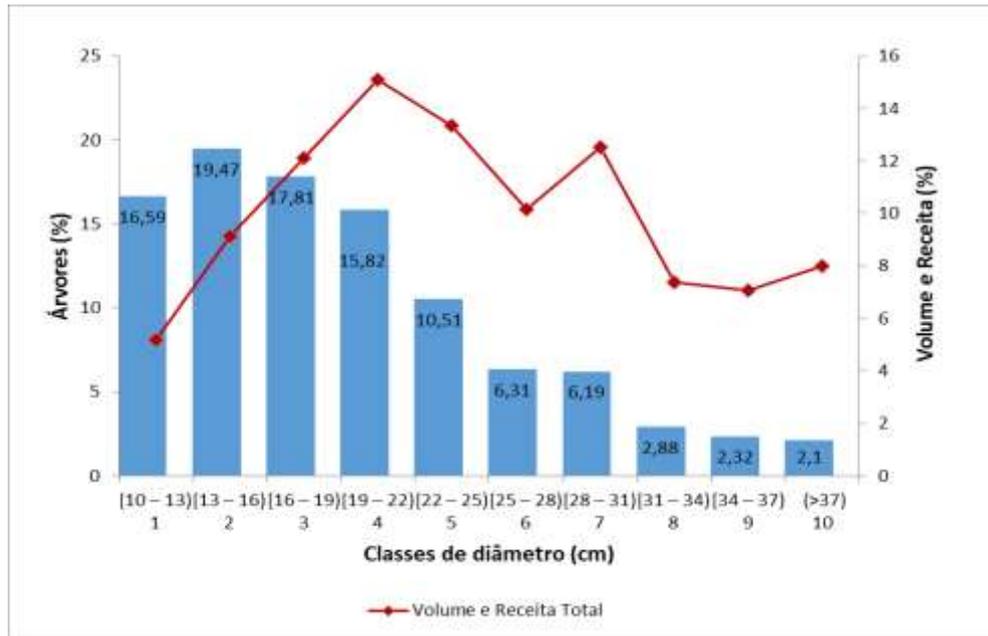


Figura 22. Comportamento do volume total em porcentagem para o componente galhos por classes diamétricas.

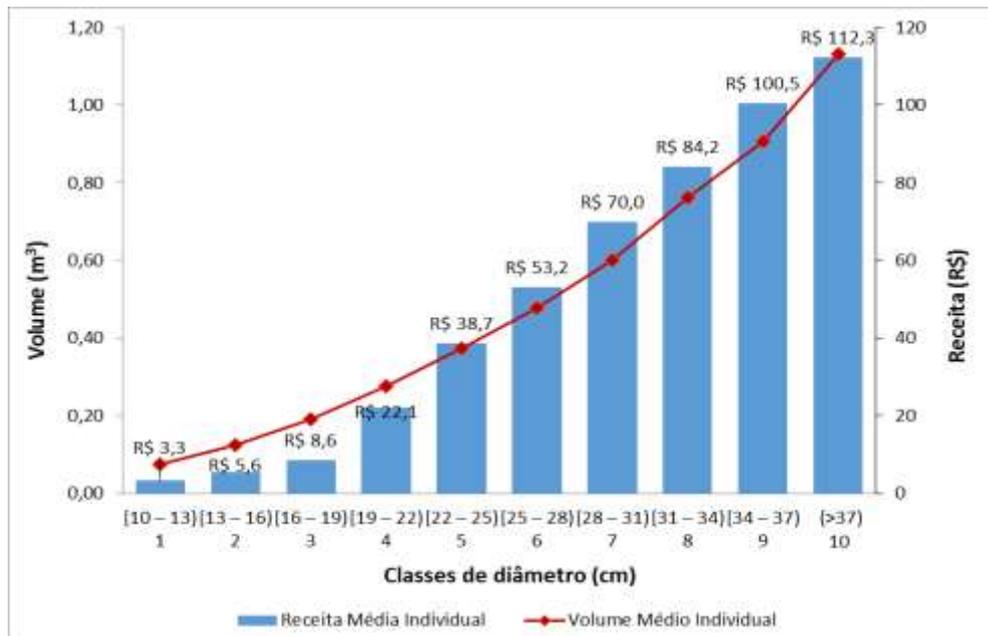


Figura 23. Relação existente entre o volume médio individual (m³) e a receita média individual (R\$).

5.4.3 Volume total e receita total (fuste mais galhos)

O volume total (fuste mais galhos) para todas as árvores amostradas foi de 357,3 m³, o qual gera um valor monetário de R\$ 27.439,00 (Tabela 30) e uma taxa média de conversão de R\$ 76,8/m³. A classe 4 contém o maior volume entre as classes: 54,16 m³, ou seja, cerca de 15,2% do total do volume, porém em termos financeiros esta classe localiza-se na terceira posição, perdendo para as classes 5 e 7 que, respectivamente, que possuem o segundo (13,6%) e o terceiro maior volume (12,8%).

Os maiores volumes e receitas individuais médias encontram-se nas três maiores classes. Este resultado é bastante óbvio, porém estas classes não são as mais produtivas, ou seja, não possuem as melhores taxas na conversão da madeira em dinheiro. As classes mais produtivas são justamente as duas classes logo abaixo (classes 6 e 7). Para estas classes as taxas de conversão foram de R\$ 93,74/m³ e R\$97,45/m³, respectivamente. Na outra extremidade estão as classes 1, 2 e 3 com as piores taxas de conversão, equivalente a R\$ 44,8/m³. A classe 10, por possuir os maiores indivíduos (>37 cm), apresenta a maior produção média individual, porém exibe apenas a sexta melhor taxa de conversão. Isto mostra que não há uma relação direta entre o tamanho dos indivíduos e a taxa de conversão.

Tabela 30. Distribuição em classes de diâmetro do volume e da receita total para o componente fuste e galhos.

Classes de diâmetro (cm)	Pop. Freq. Obs. Abs.	Volume total			Receita total			Taxa de Conversão Vol. em R\$
		(m ³)	(%)	Média	(R\$)	(%)	Média	
1.[10 – 13)	150	16,15	4,5	0,108	724	2,6	4,82	44,83
2.[13 – 16)	176	30,90	8,6	0,176	1.384	5,0	7,87	44,79
3.[16 – 19)	161	42,60	11,9	0,265	1.909	7,0	11,86	44,81
4.[19 – 22)	143	54,16	15,2	0,379	3.810	13,9	26,65	70,35
5.[22 – 25)	95	48,43	13,6	0,510	4.260	15,5	44,84	87,96
6.[25 – 28)	57	37,06	10,4	0,650	3.474	12,7	60,94	93,74
7.[28 – 31)	56	45,83	12,8	0,818	4.466	16,3	79,76	97,45
8.[31 – 34)	26	27,01	7,6	1,039	2.510	9,1	96,56	92,93
9.[34 – 37)	21	25,91	7,3	1,234	2.419	8,8	115,19	93,36
10. (>37)	19	29,26	8,2	1,540	2.483	9,0	130,67	84,86
Total	904	357,3	100,0		27.439	100,0		

Pop.: População; Freq. Obs. Abs.: frequência observada absoluta.

A Figura 24 exibe a relação existente entre o volume total (fuste mais galhos) da população amostrada e suas receitas total, serraria e energia, por classe. A população apresenta uma curva de produção tri-modal, com três picos de produção entre movimentos crescentes e decrescentes (classes 4, 7 e 10). A receita total segue uma tendência similar se comparada com a produção total. A única diferença para os picos de receita está na classe 4, que apesar de conter maior produção volumétrica, perde em receita para a classe 5, em razão do aumento da receita serraria.

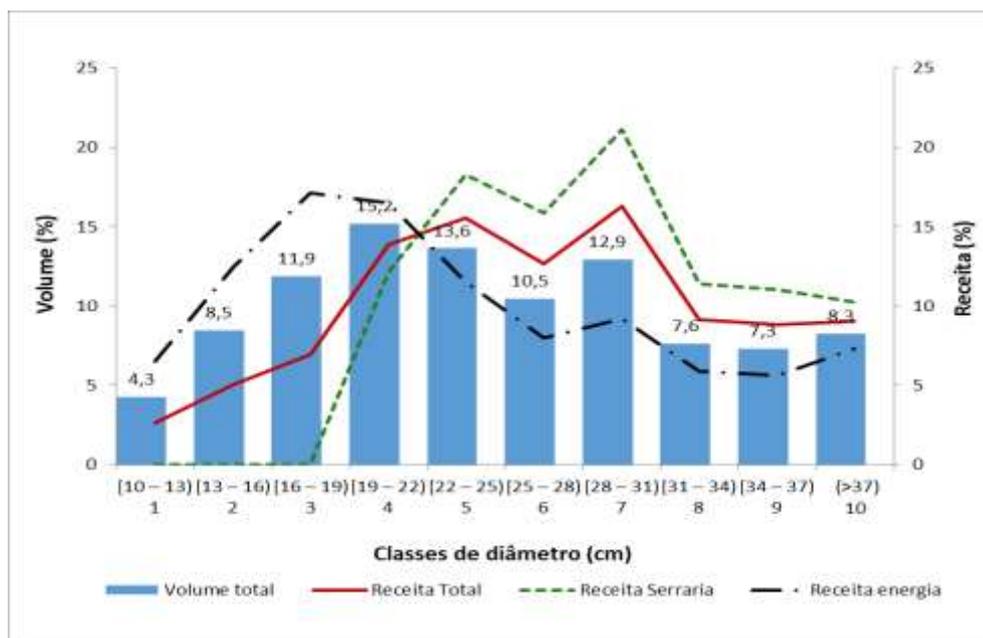


Figura 24. Comportamento das curvas inerentes à receita total, serraria e energia em relação ao volume total.

A curva da receita total é composta diretamente pela receita energia e serraria, porém observa-se que a curva da receita serraria influencia de maneira mais acentuada a receita total. O peso da receita serraria sob a receita total é facilmente notado a partir do momento em que a mesma passa a existir (classe 4). Após a classe 4, a curva da receita total aproxima-se intensamente da curva representada pela receita serraria e distancia-se em maiores proporções da curva da receita energia. Isto significa que a receita serraria contribui de forma mais acentuada para a receita total a partir da classe 4. Por outro lado, a curva receita energia influencia única e exclusivamente a receita total nas três menores classes. Com o avanço do diâmetro, a receita energia passa a afetar de maneira mais branda a receita total até a classe 10.

Nesta classe, a curva receita energia muda de sentido e passa a ter maior influência sob a curva da receita total, comprovado pela proximidade entre ambas.

Na Figura 25 observa-se a relação existente entre a receita média individual, volume médio individual total (VIT) e o volume médio individual dos componentes galhos (VIG) e fustes (VIF), por classe de diâmetro. A curva do VIT mostra a relação direta na conversão do volume em receita por classe e, quanto mais próximo a curva estiver do ápice das colunas representadas pelas receitas, melhor é a relação da conversão do volume em receita. Assim, é possível observar que as classes 1 a 4 e 10 possuem as piores relações de conversão, ao contrário das classes 6 e 7. Com relação à conversão intermediária, encontram-se as classes 5, 8 e 9. Estas classes exibem uma distância intermediária entre a curva do VIT e as colunas das receitas, nem próxima como é o caso das classes 6 e 7 e nem distante como as classes inferiores à classe 10.

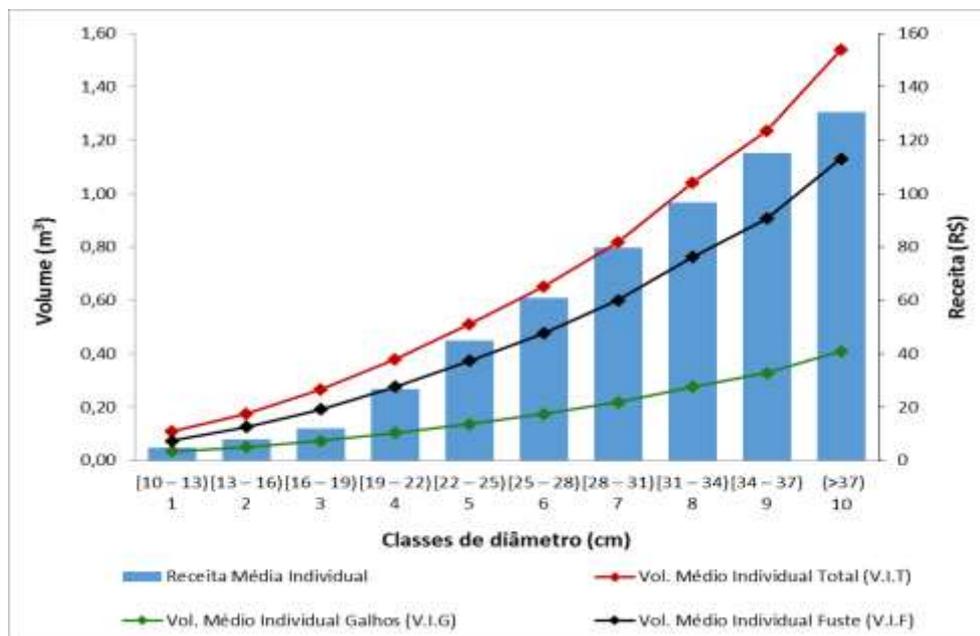


Figura 25. Relação existente entre a receita média individual e o volume médio individual total, volume médio individual dos galhos e volume médio individual do fuste.

Observa-se que o VIF, conforme ocorre o aumento gradual do diâmetro, estabelece uma tendência de aumentar a diferença para a contribuição da receita média em relação ao VIG. Isto significa que, com o aumento do diâmetro, o impacto na receita é proporcionalmente maior, em razão da superioridade na conversão do volume do fuste em receita quando comparado com a relação de conversão do volume dos galhos em receita.

O VIG possui uma curva ascendente com o aumento gradual do diâmetro, no entanto, esta curva é menos inclinada que a curva do VIF, significando uma menor contribuição proporcional na receita. A situação estabelecida é o reflexo direto dos preços dos produtos (volume serraria e volume energia). O volume serraria, que faz parte apenas da composição do volume do fuste, tem valor de R\$ 150,00/m³. Por outro lado, o volume energia composto por parte do volume do fuste e a totalidade do volume dos galhos tem valor de R\$ 44,80/m³, ou seja, para cada metro cúbico de madeira energia, o resultado financeiro é 3,35 vezes inferior que o metro cúbico da madeira para serraria. Assim, explica-se a maior contribuição do VIF para a receita média individual por classe, pois com o aumento gradual do diâmetro, as árvores passam a ter volume serraria em maiores quantidades que resultaram em maiores resultados financeiros.

As informações sobre o estoque atual serviram de base para a avaliação das propostas de manejo, as quais deverão resultar em maiores volumes e receitas, pois as mesmas possuem um grande diferencial: a exploração gradual das árvores ao longo do HP. Com o tempo determinado pelo HP ocorrerá o crescimento das árvores que, ao final do HP, deverão resultar em maiores volumes e receitas quando comparado com a exploração do estoque atual. Outro fator importante descrito na avaliação do estoque atual são as aproximações quanto ao volume médio individual e receita média individual por classe. Estas informações trazidas pela pesquisa, certamente, podem ser utilizadas como base para outras propostas de manejo da espécie, pois o banco de dados que gerou as informações médias por classe é bastante representativo. Assim sendo, o manejador poderá estimar rapidamente os volumes e as receitas médias por classe, para o total ou de maneira segmentada, apenas com o esforço de distribuir a população a ser manejada em classe de diâmetro, as quais, deverão ser idênticas às utilizadas nesta pesquisa.

A taxa de conversão do volume em receita é outro fator determinante que pode ser utilizado em trabalhos de manejo e controle de *Hovenia dulcis*. Ao saber o quanto do volume é revertido em receita por classe, o manejador poderá optar pela exploração nas classes com as melhores taxas, ou seja, poderá esperar as árvores atingirem os diâmetros (DAP máximo) que resultam nos melhores resultados financeiros relativos. Lembrando que a taxa de conversão por classe de diâmetro encontrada pertence ao banco de dados da espécie para esta pesquisa, assim os resultados podem variar para outros bancos de dados. Entretanto, as taxas de conversão

podem servir como ferramenta da análise e apoio na definição de critérios para o manejo de *Hovenia dulcis*.

5.4.4 Padrão ótimo de corte do fuste em nível individual

O padrão ótimo de corte do fuste para o estoque atual depende diretamente do comprimento do fuste de cada árvore com dimensões ideais para serraria, definido por meio da função de afilamento. O padrão de corte só será considerado ótimo se o mesmo maximizar o aproveitamento do fuste.

A população amostrada tem uma variação bastante grande entre DAP e altura para serraria, por este motivo, observa-se uma enorme variação no que se refere ao comprimento do fuste das árvores para o processo de otimização do padrão de corte. Os padrões de corte foram elaborados para uma amplitude de comprimentos de fuste que variou de 3 m (mínimo) a 13 m (máximo). Fustes com comprimento de 3 m geram um único padrão de corte, porém fustes com 13 m metros de comprimento geram muitas opções de padrões de corte.

O limite da altura para serraria (13 m) para as árvores listadas no censo e o menor comprimento de tora do sortimento comercial (3m) foram justamente os valores que determinaram a quantidade máxima e mínima de padrões de corte para uma única árvore, por meio da razão entre a maior ou a menor altura para serraria e o menor comprimento de tora do sortimento comercial. Desta forma, com 13 m podem ser geradas no máximo quatro toras e com 3 m apenas uma única tora. Assim, dispõe-se de um valor teórico variável no que se refere as opções de padrões de corte para cada árvore. Cada padrão de corte é uma combinação do comprimento para a quantidade máxima de toras, que varia de acordo com a árvore.

A população amostrada possui 353 indivíduos com dimensões de fuste adequados para a realização da otimização dos padrões de corte, o restante da população, 551 indivíduos, cerca de 61%, não possuem dimensões mínimas ou o fuste não apresenta qualidade para serraria (tortuoso). A fim de aumentar a compreensão na determinação dos padrões de corte foi elaborado um exemplo para a árvore 873¹⁵.

¹⁵ A numeração das árvores seguem uma sequência para os 904 indivíduos amostrados, por este motivo, apesar de existirem apenas 353 indivíduos na função objetivo o número das árvores permanecem o mesmo quanto determinado no banco de dados total.

A árvore 873 contém um fuste com dimensões ideais para serraria de 12 m. A opção do padrão ótimo de corte selecionado é descrita da seguinte forma:

(3,50 Tora 3 + 3,50 Tora 2 + 5,00 Tora 1) = opção de padrão de corte 54 da árvore 873.

Observa-se que a terceira e a segunda tora possuem comprimento de 3,5 metros, enquanto a primeira tora apresenta 5 metros e a soma das três toras é igual ao comprimento máximo do fuste (12 m), assim o aproveitamento do fuste é o máximo possível, portanto não haverá sobras de madeira.

Na Tabela 31 estão os resultados para o conjunto dos padrões ótimos de corte selecionados. Observa-se que apenas 17 padrões de corte foram selecionados após a avaliação de todas as árvores. Isto significa que estes padrões ótimos de corte maximizam o comprimento do fuste e os demais não o fazem, pois, certamente, possuem valores que não utilizam o fuste em sua plenitude, restando resíduos ou sobras.

Tabela 31. Dados para 17 árvores que representam os padrões ótimos de corte do fuste em nível individual.

N° Arv.	DAP (cm)	h (m)	hs (m)	Comprimento das toras (m)			Apr. hs (m)	Apr. hs (%)	Res. (%)	Apr. h (%)
				T3	T2	T1				
517	20,48	16,55	3,01	-	-	3,00	3,00	99,67	0,33	18,19
539	21,02	16,65	3,56	-	-	3,50	3,50	98,26	1,74	21,39
574	21,78	16,79	4,26	-	-	4,20	4,20	98,63	1,37	25,36
618	22,69	16,94	5,04	-	-	5,00	5,00	99,22	0,78	29,74
667	23,91	17,14	6,04	-	3,00	3,00	6,00	99,33	0,67	35,24
689	24,52	17,23	6,53	-	3,00	3,50	6,50	99,54	0,46	37,90
699	25,14	17,32	7,01	-	3,50	3,50	7,00	99,82	0,18	40,49
712	25,39	17,35	7,20	-	3,00	4,20	7,20	99,95	0,05	41,51
733	26,06	17,44	7,72	-	3,50	4,20	7,70	99,72	0,28	44,26
747	26,50	17,50	8,04	-	3,00	5,00	8,00	99,44	0,56	45,97
756	26,99	17,56	8,41	-	4,20	4,20	8,40	99,91	0,09	47,87
765	27,30	17,60	8,63	-	3,50	5,00	8,50	98,47	1,53	49,03
780	28,23	17,71	9,00	3,00	3,00	3,00	9,00	100,00	0,00	50,81
784	28,54	17,75	9,49	-	4,20	5,00	9,20	96,88	3,12	53,46
790	28,70	17,77	9,59	3,00	3,00	3,50	9,50	99,05	0,95	53,98
809	29,47	17,85	10,09	-	5,00	5,00	10,00	99,08	0,92	56,53
873	35,41	18,40	12,00	3,50	3,50	5,00	12,00	100,00	0,00	65,21
.....										
TOTAL				21	193	353				
MÉDIA								96,36	4,03	35,89

N° Arv: número da árvore; h: altura total estimada pela função hipsométrica; hs: altura para serraria; Apr. hs: aproveitamento da altura para serraria; Apr. h: aproveitamento altura total; Res.: resíduo.

A aplicação da metodologia para determinar o padrão de corte do fuste gerou um aproveitamento médio de 96,36% do comprimento do fuste, enquanto os resíduos ou sobras foram na média, inferiores a 4,1%. O procedimento de otimização gerou uma relação entre o comprimento total disponível e o comprimento real do fuste aproveitado consideravelmente elevada, próxima a 100%. Fazendo uma correlação em termos financeiros a cada R\$ 150,00 (valor do metro cúbico madeira serraria) aproveita-se na média 96,36%, ou seja, R\$ 143,85. Assim, para os dados desta pesquisa o padrão de corte otimizado resulta, em média, na perda de apenas R\$ 6,15/m³.

O procedimento referente a determinação dos padrões de corte resultou em 353 toras na primeira seção, valor igual ao número de árvores, pois cada árvore possui no mínimo uma primeira tora, 193 toras na segunda seção e 21 toras na terceira seção. Da primeira para a segunda tora houve uma queda de 45,3% na quantidade de toras, independentemente dos comprimentos das mesmas, decréscimo bastante acentuado que pode ser explicado pela presença de muitos indivíduos com diâmetros pequenos ou pela altura na base da copa limitante que, independentemente do diâmetro, torna incapaz de gerar, por exemplo, duas toras com as menores dimensões, no caso 3 metros para cada tora totalizando um fuste aproveitável de 6 metros. A diferença torna-se ainda mais acentuada da primeira para a terceira tora, decréscimo de 94%, que é explicado pelos mesmos motivos descritos anteriormente, diâmetro e altura na base da copa limitantes.

O aproveitamento da altura total do fuste é bastante variável para as 353 árvores, pois depende de fatores individuais relativos a cada árvore como DAP, altura total, altura para serraria. O aproveitamento médio da altura total do fuste foi de 35,89%, indicando que, a cada 10 metros de fuste, tem-se um aproveitamento médio de 3,5 m. Esta relação poderia ser melhorada, principalmente, com o crescimento em diâmetro dos indivíduos de pequenas dimensões, fato que só ocorrerá com uma exploração seletiva ao longo de um determinado período.

Por outro lado, a outra variável que influencia diretamente o aproveitamento da altura total do fuste é a altura na base da copa que, foi considerada nesta pesquisa como uma variável fixa, não influenciada pelo crescimento em diâmetro. Portanto não sofre mudanças em qualquer que seja o período de exploração. Mudanças da altura na base da copa podem ocorrer ao longo dos anos, porém para a avaliação dos padrões de corte no ano de medição (estoque atual) e para a prognose do volume serraria a variável altura na base da copa permaneceu fixa.

O resultado geral da otimização dos padrões de corte para o estoque atual em classes de produtos e por comprimento de tora está apresentado na Tabela 32. Dentre as classes de produtos, a mais representativa em volume e em quantidade de toras é a classe com diâmetro de tora na ponta fina entre 18 e 25 cm. Esta classe contém 417 toras de diferentes comprimentos e um volume total de 61,9 m³. A segunda classe mais representativa (25 a 35 cm) contém 144 toras, cerca de 65% a menos que na classe descrita anteriormente. O volume total não segue a mesma proporção e corresponde a 40,91 m³, diferença de apenas 33,9% com relação à classe entre (18 a 25 cm). A menor diferença para o volume entre as classes é função direta do diâmetro das toras. A classe de produto menos representativa (>35 cm) contém apenas 6 toras com volume total de 2,83 m³. Somando as classes de produtos, obtém-se um total de 567 toras e um volume de 105,63 m³.

Com relação ao comprimento das toras, o de 3 m é o mais representativo em número de toras, com 233 toras, porém para o volume total classifica-se em segundo com 36,73 m³. O maior volume total pertence ao comprimento de tora igual a 5 m, no qual, o volume obtido foi de 39,09 m³ ou 37% do total. Os outros dois comprimentos de toras (3,5 e 4,2 m) contribuem com 17,6% e 10,6% do volume total, respectivamente.

Tabela 32. Número de toras e seus respectivos volumes para as classes de diâmetros correspondentes ao comprimento das toras.

Classe de diâmetro de tora (cm)	Comprimento das toras (m)								Total		
	3		3,5		4,2		5				
	n°	Vol. (m ³)	n°	Vol. (m ³)	n°	Vol. (m ³)	n°	Vol. (m ³)	n°	Vol. (m ³)	
>35	3	1,19	1	0,47	0	0,00	2	1,18	6	2,83	
25 – 35	74	16,67	24	6,48	0	0,00	46	17,76	144	40,91	
18 – 25	156	18,88	100	11,68	69	11,19	92	20,15	417	61,90	
Total	un.	233	36,73	125	18,63	69	11,19	140	39,09	567	105,63
	%	41,1	34,8	22,0	17,6	12,2	10,6	24,7	37,0	100	100

un.: unitário; Vol.: volume; n°: número de toras.

A relação existente entre a frequência observada e o volume serraria gerado no processo de otimização dos padrões de corte (Figura 26), mostra uma tendência de crescimento na proporção do volume em relação ao percentual de árvores conforme ocorre o aumento gradual do diâmetro. A quarta classe apresenta a menor proporção existente entre o volume serraria otimizado e o percentual de árvores, com diferença de 17,3%. Os diâmetros a 1,3 m do solo

nesta classe estão entre 19 e 21,99 cm e, em razão destas pequenas dimensões a contribuição do volume otimizado proporcionalmente ao número de indivíduos é bastante inferior quando comparada as demais classes. Os indivíduos desta classe, certamente, apresentam apenas uma tora por árvore, pois o limite do diâmetro na ponta fina da tora (18 cm) está muito próximo da amplitude do DAP da classe.

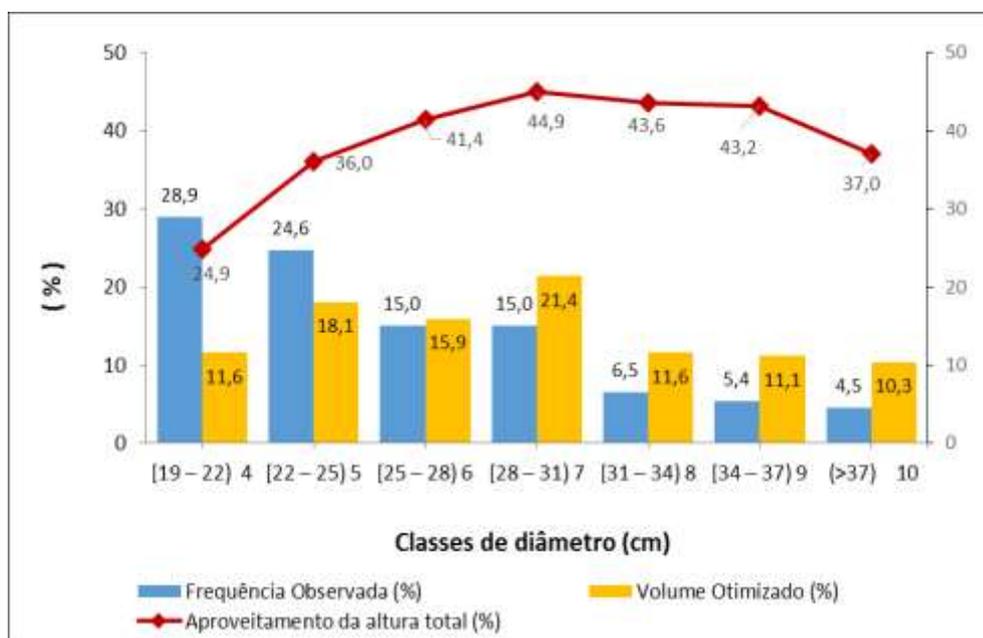


Figura 26. Relação entre a frequência observada, o volume serraria otimizado e o aproveitamento da altura total, em percentagem.

A quinta classe também apresenta proporções negativas para a relação entre o volume otimizado e o percentual de indivíduos da classe. Entretanto, neste caso o volume otimizado apresenta uma maior contribuição proporcional quando comparado com a quarta classe, a diferença passa a ser de -7,5%.

A partir da sexta classe ocorre a inversão na proporção entre o volume otimizado e o percentual de árvores. Isto significa que, à medida que o diâmetro aumenta as árvores passam a contribuir mais para o volume otimizado. Entretanto, após a classe 7, observa-se um decréscimo na proporção do volume em relação ao percentual de indivíduos. O motivo do decréscimo está na grande proporção do volume para a classe 7, com 6,4% a mais que o percentual de indivíduos. A partir da classe 8, a proporção do volume em relação ao percentual de indivíduos das classes continua ascendente, sendo o volume superior em 5,1% na própria classe 8 e 5,8% na classe 10.

A curva que descreve o percentual de aproveitamento da altura total em volume otimizado segue uma trajetória irregular. Primeiramente, a curva tem uma tendência de crescimento nas primeiras classes até alcançar um pico de aproveitamento na classe 7, posteriormente, observa-se um decréscimo no aproveitamento da altura total que permanece até a última classe. A curva foi analisada em duas partes, segmentada da seguinte forma: tendência crescente e tendência decrescente.

Na primeira parte da curva até a sexta classe, o DAP é o principal limitador para o aproveitamento da altura total, já na segunda parte da curva, o que explica a diminuição no aproveitamento da altura total é a própria altura para serraria. Apesar dos indivíduos aumentarem em diâmetro, o aproveitamento da altura total não deixa de decrescer. Por este motivo, o diâmetro não é o fator limitante, mas sem dúvida o que promove o decréscimo é a influência da altura para serraria que, por sua vez, diminuí a proporção do volume serraria otimizado em relação a altura total.

Os resultados da quantidade e do volume das toras por classe de produtos são apresentados na Figura 27. A primeira classe de produtos (18-25 cm) é a mais representativa em termos totais, com 58,6% do volume total e 73,5% do número de toras. A segunda classe (25-35 cm) apresenta um volume total de 38,7% e um número de toras de 25,4%. Observa-se que a relação entre o volume total otimizado e o número percentual de toras difere de maneira acentuada da primeira classe.

Na primeira classe de produtos, o volume tem um percentual inferior de 14,9% em relação ao percentual de toras; a segunda classe estabelece uma relação totalmente contrária, o percentual do volume supera o percentual de toras em 13,3%. Cada tora desta classe de produtos contribuí para o volume total de maneira muito superior quando comparada as toras da primeira classe, isto é o reflexo direto das diferentes dimensões de toras entre as classes. A terceira classe de produtos possui valores bastante inferiores às demais classes tanto para o volume total quanto para o número de toras, incluindo apenas 2,7% do volume total e 1,1 do percentual total de toras.

O procedimento de otimização dos padrões de corte mostrou um alto aproveitamento do comprimento do fuste com geração mínima de resíduos e, a partir do aproveitamento máximo do fuste os resultados financeiros tendem a aumentar. Ainda mais interessante que maximizar o aproveitamento do fuste seria maximizar a receita pelas variações de preço existentes entre as dimensões da toras. Entretanto, tal procedimento somente seria possível caso

houvesse diferenciação no preço dos produtos da espécie. Assim, como a espécie não possui tal diferenciação de preço foi utilizado o procedimento de otimização pela maximizaç. Para outras espécies com diferenciação no preço dos produtos, como por exemplo, o Pinus, o sortimento poderia buscar a maximização da receita, assim a prioridade na busca pela maximização seria dada aos produtos com melhor remuneração.

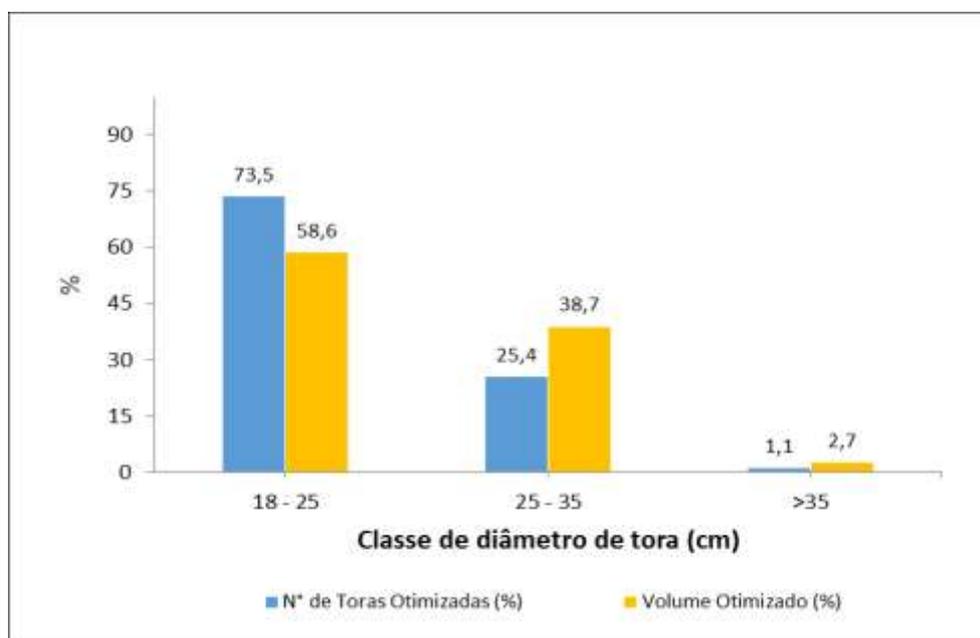


Figura 27. Relação entre quantidade e volume das toras por classes de produtos, em porcentagem.

A elaboração do sortimento é um processo extremamente importante para todos os agentes da cadeia produtiva, pois o mesmo quantifica e qualifica a floresta ou, uma população, como é o caso desta pesquisa. Com a identificação do potencial madeireiro existente na floresta, há consequentemente um maior esclarecimento do potencial financeiro que a mesma pode gerar e, assim, serve como ferramenta na tomada de decisão dos agentes da cadeia produtiva.

5.4.5 Estoque do carbono

Os resultados do estoque do carbono total, do carbono no volume serraria otimizado e do carbono fixado na madeira beneficiada para a população de *Hovenia dulcis* estão na Tabela 33. A população com 904 indivíduos estoca um total de 114,35 toneladas de carbono. Os maiores estoques de carbono total estão nas classes 4, 5 e 7. Como a quantificação do carbono

apresenta uma relação direta com o volume, estas três classes também possuem os maiores volumes totais. Desta forma, as classes que menos estocam carbono total são as classes (1, 8 e 9) que também possuem os menores volumes.

Avaliando o estoque de carbono total pela média individual, observa-se um padrão de crescimento conforme ocorre o aumento do diâmetro. Assim sendo, pode se dizer que quanto maior o diâmetro maior o estoque de carbono médio acumulado. A amplitude do estoque do carbono médio entre as classes é de 458,4 kg, que oscila de 34,45 kg na primeira classe até 492,85 kg na décima classe.

Tabela 33. Distribuição em classes de diâmetro do estoque de carbono total, do estoque de carbono no volume serraria do fuste otimizado e do estoque de carbono na madeira beneficiada.

Classes de diâmetro (cm)	Freq. Obs. Abs.	Carbono Total			Carbono Volume serraria otimizado			Carbono Madeira Beneficiada		
		(t)	(%)	Média (kg)	(t)	(%)	Média (kg)	(t)	(%)	Média (kg)
1.[10 – 13)	150	5,17	4,5	34,45	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00
2.[13 – 16)	176	9,89	8,6	56,18	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00
3.[16 – 19)	161	13,63	11,9	84,68	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00
4.[19 – 22)	143	17,33	15,2	121,21	3,99	11,6	27,90	2,16	11,6	15,10
5.[22 – 25)	95	15,50	13,6	163,15	6,22	18,1	65,46	3,36	18,1	35,42
6.[25 – 28)	57	11,86	10,4	208,08	5,48	15,9	96,09	2,96	15,9	51,99
7.[28 – 31)	56	14,67	12,8	261,90	7,37	21,4	131,67	3,99	21,4	71,23
8.[31 – 34)	26	8,64	7,6	332,44	3,99	11,6	153,57	2,16	11,6	83,08
9.[34 – 37)	21	8,29	7,3	394,79	3,84	11,1	182,77	2,08	11,1	98,88
10. (>37)	19	9,36	8,2	492,85	3,56	10,3	187,50	1,93	10,3	101,44
Total	904	114,35	100	-	34,45	100	-	18,64	100	-

Freq. Obs. Abs.: frequência observada absoluta; t: toneladas;

O volume serraria otimizado contém 34,5 toneladas de carbono acumulado, quase 70% a menos que o estoque de carbono total. Esta quantidade equivale a 79,85 toneladas de carbono que compõem o volume energia, que após a sua combustão voltará à atmosfera. O único carbono que permanecerá acumulado por tempo indeterminado é o carbono acumulado na madeira beneficiada, pois o mesmo permanecerá fixado nos produtos que esta madeira originará. A estimativa para o carbono total fixado na madeira beneficiada foi de 18,64 toneladas, equivalentes a 16,3% do carbono total acumulado e apenas 54% do carbono total

acumulado no volume serraria otimizado. Por meio das relações estabelecidas, é possível determinar as taxas de conversão, assim sendo, para cada tonelada de carbono fixado na madeira beneficiada necessita-se em média de 6,13 toneladas de carbono total e 1,85 toneladas de carbono do volume serraria otimizado.

Quando se trata das médias individuais do carbono acumulado no volume serraria ou na madeira beneficiada, a relação segue a mesma tendência descrita anteriormente para as médias individuais do carbono total, ou seja, quanto maior o diâmetro das árvores maiores as médias. Ao utilizar uma taxa única de conversão da biomassa em carbono (0,5) fica estabelecido uma relação invariável em todas as classes de diâmetro e, por este motivo, o carbono médio individual acumulado por classe tem sua variação conforme o volume médio individual por classe.

A relação entre o número de indivíduos (%) e o carbono total fixado, o carbono fixado no volume serraria otimizado e o carbono fixado na madeira beneficiada está na Figura 28. Ambas as curvas, carbono total e carbono volume serraria otimizado/carbono na madeira beneficiada por serem uma função direta do volume, possuem o mesmo comportamento das curvas do volume total e do volume serraria, respectivamente.

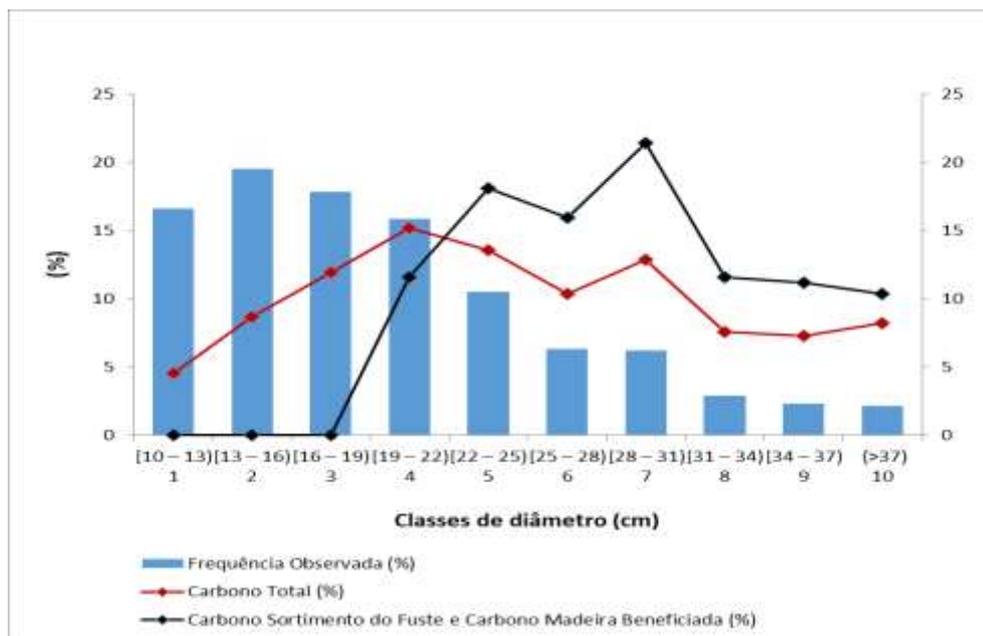


Figura 28. Relação entre a frequência observada e o carbono total, do volume serraria otimizado e da madeira beneficiada, em porcentagem

A classe com maior contribuição para o carbono fixado no volume serraria otimizado e para o carbono fixado na madeira beneficiada foi a classe 7, seguida da classe 5 e 6 (Figura 29). Observa-se que as classes 9 e 10 possuem as menores contribuições para o carbono do volume serraria otimizado e, conseqüentemente, também apresentam as menores contribuições para o carbono madeira beneficiada. Apesar da classe 4 possuir uma quantidade muito maior para o carbono total comparado com a classe 8, ambas apresentam a mesma contribuição para o carbono do volume serraria otimizado e para o carbono madeira beneficiada. Isto mostra que a classe 4 tem baixa conversão do volume total em volume serraria otimizado, pois é o volume serraria otimizado que define os teores do carbono na madeira beneficiada.

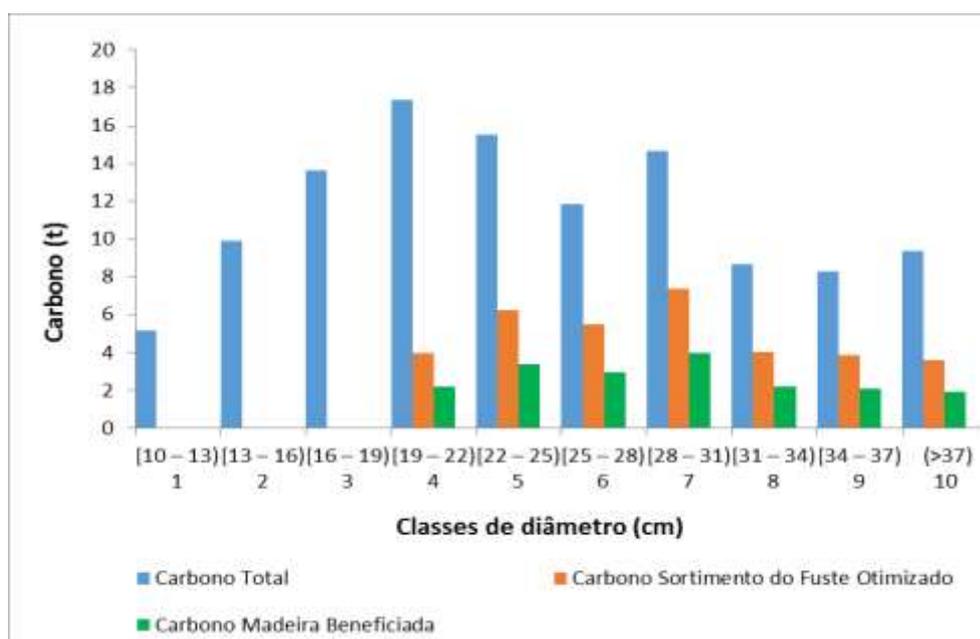


Figura 29. Relação entre o carbono total, do volume serraria otimizado e da madeira beneficiada, em toneladas.

5.5 MÉTODO DO MÁXIMO VALOR PRESENTE INDIVIDUAL (MVPI)

O método do máximo valor presente individual é o critério técnico de seleção do momento de exploração das árvores durante os ciclos de corte. Busca sempre o mesmo objetivo, porém pode ser utilizado de diferentes formas, como é o caso da *MaxR*, *MaxRB* e *MaxRC*. Para aplicar o método uma série de etapas foi cumprida e encontra-se descrita a seguir:

a) Prognose do crescimento em diâmetro

Os resultados da prognose do crescimento em diâmetro foram demonstrados e avaliados apenas para as árvores que encontravam-se no ano zero na menor classe (classe 1) com DAP \geq 10 e $>$ 13 cm e na maior classe (classe 10) com DAP $>$ 37. Na Tabela 34 estão as projeções do crescimento em diâmetro ao longo do HP para o conjunto de 150 árvores da menor classe de diâmetro. Observa-se que o crescimento médio acumulado em diâmetro ao final dos 10 anos foi de 11,11 cm, equivalente a um Incremento Médio Anual (IMA) de 1,11cm. Assim, as árvores que possuíam diâmetros entre 10 a 13 cm no ano zero do HP atingem diâmetros entre 20,5 e 22,8 cm ao passar de dez anos. Utilizando os dados da ANATRO para traçar uma correlação com o realismo biológico do modelo de crescimento, o IMA real das árvores com DAP entre 10 e 24,99 cm (classes de 1 a 4) foi de 1,10 cm (Apêndice 1), valor próximo ao encontrado para as estimativas.

Tabela 34. Projeções do crescimento em diâmetro (DAP) para 10 anos das árvores com DAP entre 10 e 13 cm no ano zero do horizonte de planejamento (HP).

Nº Árv	Ano											Inc. Ac. (cm)
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	10,00	11,29	12,55	13,78	14,97	16,13	17,26	18,36	19,43	20,47	21,49	11,49
2	10,00	11,29	12,55	13,78	14,97	16,13	17,26	18,36	19,43	20,47	21,49	11,49
3	10,00	11,29	12,55	13,78	14,97	16,13	17,26	18,36	19,43	20,47	21,49	11,49
4	10,03	11,32	12,58	13,80	14,99	16,15	17,28	18,38	19,45	20,49	21,51	11,48
5	10,03	11,32	12,58	13,80	14,99	16,15	17,28	18,38	19,45	20,49	21,51	11,48
:												
146	12,89	14,11	15,29	16,44	17,57	18,66	19,72	20,76	21,76	22,74	23,70	10,81
147	12,89	14,11	15,29	16,44	17,57	18,66	19,72	20,76	21,76	22,74	23,70	10,81
148	12,89	14,11	15,29	16,44	17,57	18,66	19,72	20,76	21,76	22,74	23,70	10,81
149	12,92	14,14	15,32	16,47	17,59	18,69	19,75	20,78	21,79	22,77	23,72	10,80
150	12,99	14,20	15,38	16,53	17,65	18,74	19,80	20,84	21,84	22,82	23,77	10,79
Média	11,62	12,87	14,09	15,27	16,42	17,55	18,64	19,70	20,74	21,75	22,73	11,11

Inc. Ac.: incremento acumulado.

As estimativas do crescimento em diâmetro para as 19 árvores da maior classe diamétrica ao longo dos 10 anos do HP estão na Tabela 35. Essas árvores tiveram crescimento médio acumulado de 4,64 cm, equivalente a um IMA de 0,46 cm em 10 anos. Para o mesmo grupo de árvores (DAP $>$ 37) o banco de dados da ANATRO resultou em um IMA de 0,45 cm

(Apêndice 2), valor próximo ao encontrado (0,46 cm) na prognose do diâmetro ao longo de 10 anos.

O resultado das estimativas mostra que o modelo de crescimento utilizado estabelece uma relação próxima da realidade com taxas de crescimento que diminuem gradualmente de acordo com o crescimento em diâmetro, por este motivo, os menores diâmetros possuem maiores taxas de crescimento do que os maiores. O decréscimo nas taxas de crescimento conforme ocorre o aumento gradual do diâmetro para *Hovenia dulcis* foi demonstrado na Tabela 27 do item 5.2.6, que traz o IMC (incremento médio por classe). Os valores estimados estão próximos aos valores reais e isto mostra que o modelo possui realismo biológico e boas estimativas para uma grande amplitude de diâmetros.

Tabela 35. Projeções do crescimento em diâmetro (DAP) para 10 anos das árvores com DAP maior do que 37 cm.

N° Árv	Ano											Inc. Ac. (cm)
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
886	37,08	37,66	38,22	38,76	39,29	39,81	40,31	40,80	41,28	41,74	42,19	5,11
887	37,08	37,66	38,22	38,76	39,29	39,81	40,31	40,80	41,28	41,74	42,19	5,11
888	37,24	37,81	38,37	38,91	39,44	39,95	40,45	40,93	41,41	41,87	42,31	5,07
889	37,56	38,12	38,67	39,20	39,72	40,23	40,72	41,20	41,66	42,12	42,56	5,00
890	37,56	38,12	38,67	39,20	39,72	40,23	40,72	41,20	41,66	42,12	42,56	5,00
891	37,88	38,43	38,97	39,50	40,01	40,51	40,99	41,46	41,92	42,37	42,80	4,92
892	38,20	38,74	39,27	39,79	40,29	40,78	41,26	41,72	42,18	42,62	43,04	4,85
893	38,52	39,05	39,58	40,08	40,58	41,06	41,53	41,99	42,43	42,87	43,29	4,77
894	38,52	39,05	39,58	40,08	40,58	41,06	41,53	41,99	42,43	42,87	43,29	4,77
895	38,52	39,05	39,58	40,08	40,58	41,06	41,53	41,99	42,43	42,87	43,29	4,77
896	38,67	39,21	39,73	40,23	40,72	41,20	41,67	42,12	42,56	42,99	43,41	4,74
897	39,15	39,67	40,18	40,67	41,15	41,62	42,07	42,52	42,95	43,37	43,77	4,62
898	39,31	39,83	40,33	40,82	41,29	41,76	42,21	42,65	43,08	43,49	43,90	4,59
899	39,47	39,98	40,48	40,97	41,44	41,90	42,34	42,78	43,20	43,62	44,02	4,55
900	40,43	40,91	41,39	41,85	42,29	42,73	43,16	43,57	43,97	44,37	44,75	4,32
901	40,74	41,22	41,69	42,14	42,58	43,01	43,43	43,83	44,23	44,62	44,99	4,25
902	41,03	41,50	41,96	42,40	42,84	43,26	43,67	44,07	44,46	44,84	45,21	4,18
903	42,02	42,46	42,89	43,31	43,72	44,12	44,51	44,89	45,26	45,62	45,96	3,95
904	43,29	43,70	44,10	44,49	44,87	45,24	45,60	45,94	46,28	46,62	46,94	3,65
Média	39,07	39,59	40,10	40,59	41,07	41,54	42,00	42,45	42,88	43,30	43,71	4,64

Inc. Ac.: incremento acumulado.

b) Prognose do crescimento em altura total

A prognose do crescimento em altura foi demonstrada e avaliada para as mesmas classes diamétrica utilizadas na prognose do crescimento em diâmetro. As árvores com diâmetro entre 10 a 13 cm durante o ano zero do HP estão na Tabela 36.

Tabela 36. Projeções do crescimento em altura (m) para as árvores com DAP entre 10 cm e 13 cm no ano zero do HP.

Nº Árv	DAP (cm) Ano 0	Ano										Inc. Ac. (m)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	10,00	13,56	14,26	14,82	15,29	15,68	16,02	16,31	16,57	16,80	17,01	4,35
2	10,00	13,56	14,26	14,82	15,29	15,68	16,02	16,31	16,57	16,80	17,01	4,35
3	10,00	13,56	14,26	14,82	15,29	15,68	16,02	16,31	16,57	16,80	17,01	4,35
4	10,03	13,57	14,27	14,83	15,30	15,69	16,02	16,32	16,58	16,81	17,02	4,34
5	10,03	13,57	14,27	14,83	15,30	15,69	16,02	16,32	16,58	16,81	17,02	4,34
:												
146	12,89	14,75	15,30	15,76	16,15	16,49	16,78	17,04	17,28	17,49	17,68	3,60
147	12,89	14,75	15,30	15,76	16,15	16,49	16,78	17,04	17,28	17,49	17,68	3,60
148	12,89	14,75	15,30	15,76	16,15	16,49	16,78	17,04	17,28	17,49	17,68	3,60
149	12,92	14,76	15,31	15,77	16,16	16,49	16,79	17,05	17,28	17,49	17,68	3,60
150	12,99	14,78	15,33	15,79	16,17	16,51	16,80	17,06	17,30	17,51	17,70	3,58
Média		14,25	14,87	15,37	15,79	16,15	16,46	16,74	16,99	17,21	17,40	3,92

Inc. Ac.: incremento acumulado.

A estimativa da altura para o ano zero foi realizada com a função hipsométrica e as projeções ao longo de 10 anos com o modelo de árvore individual. Analisando as 150 árvores é possível verificar que o incremento em altura segue uma tendência decrescente conforme ocorre o aumento gradual da altura ao longo do tempo. Esta relação condiz com o comportamento das espécies florestais que geralmente atingem o valor assintótico para altura total antes do diâmetro. O crescimento médio acumulado em 10 anos foi de 3,92 m, equivalente a um IMA de 0,39 m.

As projeções para os indivíduos com DAP acima de 37 cm apresentaram resultados menores em crescimento em altura do que as árvores com diâmetros entre 10 e 13 cm. O crescimento médio acumulado em 10 anos para as 19 árvores avaliadas foi de 1,01 m (Tabela 37). Este resultado indica que as árvores estão próximas do valor assintótico, ou seja, próximas do limite máximo, em razão do crescimento praticamente nulo, com IMA de 0,10 m.

Tabela 37. Projeções do crescimento em altura (m) para as árvores com DAP maior do que 37 cm.

N° Árv	DAP (cm) Ano 0	Ano										Inc. Ac. (m)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
886	37,08	18,59	18,74	18,88	19,01	19,13	19,25	19,36	19,47	19,57	19,67	1,08
887	37,08	18,59	18,74	18,88	19,01	19,13	19,25	19,36	19,47	19,57	19,67	1,08
888	37,24	18,60	18,75	18,89	19,02	19,14	19,26	19,37	19,48	19,58	19,67	1,07
889	37,56	18,63	18,77	18,91	19,04	19,16	19,27	19,38	19,49	19,59	19,69	1,06
890	37,56	18,63	18,77	18,91	19,04	19,16	19,27	19,38	19,49	19,59	19,69	1,06
891	37,88	18,65	18,79	18,93	19,05	19,17	19,29	19,40	19,50	19,60	19,70	1,05
892	38,20	18,67	18,81	18,94	19,07	19,19	19,30	19,41	19,52	19,61	19,71	1,04
893	38,52	18,69	18,83	18,96	19,09	19,21	19,32	19,43	19,53	19,63	19,72	1,03
894	38,52	18,69	18,83	18,96	19,09	19,21	19,32	19,43	19,53	19,63	19,72	1,03
895	38,52	18,69	18,83	18,96	19,09	19,21	19,32	19,43	19,53	19,63	19,72	1,03
896	38,67	18,70	18,84	18,97	19,10	19,21	19,33	19,43	19,54	19,63	19,73	1,02
897	39,15	18,73	18,87	19,00	19,12	19,24	19,35	19,45	19,55	19,65	19,74	1,01
898	39,31	18,74	18,88	19,01	19,13	19,24	19,35	19,46	19,56	19,66	19,75	1,00
899	39,47	18,75	18,89	19,02	19,14	19,25	19,36	19,47	19,57	19,66	19,75	1,00
900	40,43	18,81	18,94	19,07	19,18	19,30	19,40	19,51	19,60	19,70	19,79	0,97
901	40,74	18,83	18,96	19,08	19,20	19,31	19,42	19,52	19,61	19,71	19,80	0,96
902	41,03	18,85	18,98	19,10	19,21	19,32	19,43	19,53	19,62	19,72	19,81	0,95
903	42,02	18,91	19,03	19,15	19,26	19,37	19,47	19,57	19,66	19,75	19,84	0,93
904	43,29	18,98	19,10	19,21	19,32	19,42	19,52	19,61	19,70	19,79	19,87	0,89
Média		18,72	18,86	18,99	19,11	19,23	19,34	19,45	19,55	19,65	19,74	1,01

Inc. Ac.: incremento acumulado.

c) Estimativas volumétricas

O volume serraria foi o único a ter sua quantificação detalhada em razão da complexidade de sua determinação.

Volume serraria

- Determinação do diâmetro (di) na altura da base da copa

A primeira etapa para a quantificação do volume serraria constituiu-se na determinação do diâmetro (di) na altura da base da copa em todos os anos do HP. A altura na base da copa define o limite máximo de aproveitamento do fuste e, para determinar o aproveitamento máximo desta altura, o seu diâmetro foi calculado pela função de afilamento. O diâmetro que

garante o aproveitamento máximo para a altura na base da copa como volume serraria deverá ser igual ou maior do que 18 cm.

O crescimento do (di) na altura para serraria ocorre gradualmente ao longo do tempo e, indivíduos anteriormente com pouco ou nenhum aproveitamento da altura para serraria, passam a contribuir com volume serraria.

Na Tabela 38 estão as estimativas dos diâmetros (di) na altura da base da copa para um conjunto de árvores. Observa-se que para as árvores 1, 2, 4 e 5 o aproveitamento da altura para serraria não será a máxima, mesmo após 10 anos, já que o (di) não atingiu 18 cm na altura da base da copa. Por outro lado, as árvores 3 e 6 possuem o aproveitamento máximo da altura para serraria no ano 10. A diferença entre as árvores com aproveitamento máximo e as demais está no comprimento da altura na base da copa que, para as árvores 3 e 6 foi de apenas 4 e 5 m, respectivamente, já para as outras árvores a menor altura apresentou 7 metros. As árvores com DAP superior a 40 cm (900 – 904) tiveram aproveitamento máximo da altura para serraria desde o primeiro ano.

Tabela 38. Exemplo da determinação do diâmetro (di) em centímetros na altura da base da copa ao longo de 10 anos.

Nº Arv.	DAP (cm) Ano 0	hc (m)	Ano									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10,00	10,00	4,60	5,73	6,81	7,85	8,84	9,79	10,72	11,61	12,47	13,31
2	10,00	8,00	6,96	8,24	9,43	10,56	11,64	12,67	13,67	14,63	15,56	16,46
3	10,00	4,00	9,78	10,90	11,98	13,04	14,06	15,06	16,03	16,97	17,89	18,79
4	10,03	7,00	8,09	9,36	10,55	11,67	12,74	13,78	14,77	15,74	16,67	17,58
5	10,03	7,00	8,09	9,36	10,55	11,67	12,74	13,78	14,77	15,74	16,67	17,58
6	10,03	5,00	9,54	10,70	11,81	12,87	13,91	14,91	15,88	16,82	17,74	18,63
:												
900	40,43	8,00	33,00	33,48	33,94	34,39	34,82	35,23	35,64	36,03	36,41	36,78
901	40,74	5,00	35,88	36,30	36,70	37,09	37,48	37,85	38,21	38,56	38,90	39,24
902	41,03	9,00	31,48	31,97	32,44	32,89	33,33	33,76	34,17	34,57	34,95	35,33
903	42,02	4,00	37,30	37,69	38,07	38,44	38,80	39,16	39,50	39,84	40,16	40,48
904	43,29	3,00	39,26	39,64	40,02	40,38	40,74	41,08	41,42	41,75	42,07	42,38

Nº Arv.: número da árvore; hc: altura na base da copa; di: diâmetro na altura para serraria.

- Determinação do comprimento do fuste com diâmetro mínimo de 18 cm.

O volume serraria depende de um comprimento de no mínimo 3 m e de um diâmetro mínimo de 18 cm. Em razão das dimensões impostas para o produto destinado a serraria

quantificou-se para todas as árvores o comprimento do fuste onde o diâmetro seja igual ou maior do que 18 cm. Sendo que, o comprimento do fuste não pode ultrapassar o limite da altura na base da copa.

O resultado do comprimento do fuste com as dimensões mínimas desejadas apresenta-se na Tabela 39. As árvores de 1 a 6 não possuem dimensões adequadas de fuste nos primeiros 8 anos, portanto, durante este período estas árvores não possuem volume serraria. Apenas a partir do ano 9 este conjunto de árvores irá apresentar dimensões adequadas de fuste para utilização como volume serraria. Isto significa que, estas árvores serão exploradas antes da obtenção do aproveitamento máximo do volume serraria. Para o outro conjunto de árvores (900 a 904) observa-se que desde o primeiro ano o comprimento do fuste possui as dimensões adequadas para serraria, além disto, para estas árvores aproveita-se o máximo da altura para serraria.

Os dois extremos da população (menores e maiores indivíduos) avaliados mostram que o volume serraria tem grande variação dentro da população ao longo dos 10 anos de horizonte de planejamento e, depende diretamente do comprimento do fuste com dimensões adequadas para serraria (comprimento ≥ 3 m e $di \geq 18$ cm). Por sua vez, as dimensões adequadas para serraria são definidas em função do DAP, da altura total e da altura serraria. Todo volume restante não enquadrado como volume serraria faz parte do volume energia.

Tabela 39. Exemplo da determinação do comprimento do fuste igual ou superior a 3 m com diâmetro mínimo de 18 cm.

N° Arv.	DAP (cm) Ano 0	hc (m)	Ano										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	10,00	10,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,91	4,79
2	10,00	8,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,91	4,79
3	10,00	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,91	4,00
4	10,03	7,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,93	4,81
5	10,03	7,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,93	4,81
6	10,03	5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,93	4,81
:													
900	40,43	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
901	40,74	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
902	41,03	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
903	42,02	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
904	43,29	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

N° Arv.: número da árvore; hc: altura na base da copa; di: diâmetro na altura para serraria.

- Prognose do valor presente individual

A prognose do valor presente individual ao longo do HP tem grande importância para a proposta de manejo da espécie, pois é a partir das estimativas do valor presente de cada indivíduo que se baseia o critério técnico de seleção do momento da exploração das árvores.

O resultado da prognose do valor presente individual (Tabela 40) mostra diferentes tendências para as árvores com DAP igual a 10 cm e para as árvores com DAP acima de 40 cm. Conforme ocorre o aumento gradual do diâmetro ao longo do HP, para o grupo das menores árvores, observa-se o crescimento do valor presente individual, já para o grupo das maiores árvores verifica-se o decréscimo do valor presente individual. Para as 5 árvores deste último grupo ocorre uma desvalorização média individual de R\$ 48,38 ao longo dos 10 anos.

A desvalorização acontece em virtude da aplicação de uma constante taxa de juros anual ao longo do horizonte de planejamento, enquanto a taxa de incremento anual é superior à taxa de juros a árvore continua com o aumento gradual do valor presente, a partir do momento em que, a taxa de incremento anual da árvore for menor do que a taxa de juros, tem-se o decréscimo do capital.

Tabela 40. Estimativa do valor presente individual (R\$) ao longo de 10 anos.

Nº Arv.	DAP (cm) Ano 0	Ano									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10,00	4,375	5,197	6,004	6,778	7,509	8,186	8,804	9,359	17,054	19,105
2	10,00	4,375	5,197	6,004	6,778	7,509	8,186	8,804	9,359	17,054	19,105
3	10,00	4,375	5,197	6,004	6,778	7,509	8,186	8,804	9,359	17,054	17,869
4	10,03	4,397	5,221	6,028	6,803	7,534	8,211	8,829	9,384	17,124	19,175
5	10,03	4,397	5,221	6,028	6,803	7,534	8,211	8,829	9,384	17,124	19,175
6	10,03	4,375	5,197	6,004	6,778	7,509	8,186	8,804	9,359	17,054	19,105
:											
900	40,43	163,84	157,63	151,49	145,44	139,50	133,68	128,00	122,45	117,06	111,82
901	40,74	137,12	131,88	126,70	121,61	116,61	111,72	106,95	102,30	97,77	93,38
902	41,03	177,25	170,36	163,57	156,90	150,36	143,97	137,73	131,67	125,77	120,06
903	42,02	134,85	129,42	124,10	118,88	113,79	108,83	104,01	99,33	94,79	90,41
904	43,29	131,21	125,68	120,28	115,02	109,90	104,94	100,13	95,48	90,99	86,66

Nº Arv.: número da árvore.

A situação colocada refere-se ao custo de oportunidade do capital, enquanto a árvore aumenta seu capital ela deve permanecer na floresta, a partir do momento em que a mesma diminui o capital acumulado em virtude do decréscimo na taxa de incremento, ela deve ser

explorada, uma vez que o capital não está mais sendo remunerado acima da taxa de juros aplicada.

Nesta pesquisa o método utilizado para determinar a seleção dos indivíduos a serem explorados durante os ciclos de corte, busca explorar as árvores no momento do seu maior valor presente. No caso das menores árvores (1 a 6) a exploração deveria ocorrer no último ano do HP, já para o grupo das árvores com maiores diâmetros a exploração deveria ocorrer exatamente no primeiro ano do HP.

Para o conjunto das árvores de menores dimensões, observa-se que o valor presente individual quase dobra do oitavo para o nono ano, isto ocorre, em razão do volume serraria. A partir do nono ano as árvores deixam de possuir apenas volume energia e passam a contribuir com volume serraria.

5.6 PROPOSTAS DE REGIMES DE MANEJO

Os resultados gerados em cada um dos métodos foram avaliados para os três diferentes ciclos de corte. A variação na resposta entre os três métodos que buscam de diferentes formas a maximização das receitas são tratadas a seguir:

5.6.1 Regime de manejo I - Maximização da receita com ciclos de corte a cada dois anos (*MaxR₂*)

Os dados da Tabela 41 demonstram como os resultados obtidos pela otimização foram organizados em cada ciclo de corte. As árvores escolhidas, neste caso no ano 2, localizam-se na primeira coluna com a referência do ano (X2) indicada antes do número da árvore. Observa-se que não há uma ordem na seleção das árvores, já que a escolha é determinada pelo valor presente individual. Posteriormente, na terceira coluna (Receita) todas as árvores têm seu valor presente detalhado e, assim, segue sucessivamente para os outros dados.

O primeiro corte dos 5 ciclos de corte deste regime de manejo foi realizado no segundo ano e explora um total de 181 indivíduos, produzindo 184,38 m³ o que resulta em uma receita de R\$ 15.265,00. A taxa média de conversão do volume em reais foi de R\$ 82,79/m³. O volume serraria contribui com mais de 50% do volume total, motivo pelo qual o resultado financeiro foi bastante representativo. O carbono total presente nas árvores exploradas chegou a 59

toneladas, sendo que apenas 14,12 toneladas foram fixadas na madeira beneficiada, o que resulta em uma taxa de conversão de 23,92%.

Tabela 41. Resultados do primeiro corte (2º ano) para o regime de manejo *MaxR* com ciclos de corte a cada dois anos.

Ref.* ANO e Nº Arv.	Ind.** Exp.	Receita (R\$)	Vol. Total (m³)	CVR (R\$/ m³)	VS (m³)	VE (m³)	C. Total (t)	CEMB (t)	EC (t)
X2_666	1	23,46	0,578	40,59	0,000	0,578	0,185	0,000	0,00
X2_668	1	23,77	0,585	40,63	0,000	0,585	0,187	0,000	0,00
X2_678	1	24,09	0,593	40,62	0,000	0,593	0,190	0,000	0,00
X2_702	1	57,60	0,660	87,27	0,323	0,337	0,211	0,056	26,43
X2_706	1	57,60	0,660	87,27	0,323	0,337	0,211	0,056	26,43
X2_708	1	56,47	0,668	84,54	0,308	0,360	0,214	0,053	24,90
X2_710	1	26,67	0,657	40,59	0,000	0,657	0,210	0,000	0,00
X2_714	1	62,45	0,677	92,25	0,367	0,310	0,217	0,063	29,27
X2_715	1	59,00	0,677	87,15	0,330	0,347	0,217	0,057	26,32
X2_719	1	27,00	0,665	40,60	0,000	0,665	0,213	0,000	0,00
⋮									
Total	181	15.265	184,38		81,54	102,84	59,00	14,12	
Média	-	-	-	82,79	-	-	-	-	23,92

Ind. Exp.: indicação de exploração; Vol. Total: volume total individual; CVR: conversão do volume em receita; VS: volume serraria individual; VE: volume energia individual; C. Total: carbono individual estocado; CEMB: carbono individual estocado na madeira beneficiada; EC: eficiência na conversão do carbono total em carbono na madeira beneficiada. *referência para o ano e para o número da árvore utilizada na construção e resolução do algoritmo pelo LINGO.**o valor igual a 1 indica o momento de exploração da árvore conforme a restrição (a) do item 4.9.1.6.2.

Os resultados do regime de manejo ao final do HP e para todos os ciclos de corte estão na Tabela 42. Nos regimes de manejo com ciclos de corte de 2 anos tem-se um total de 5 intervenções em 10 anos; os regimes de manejo com ciclos de corte de 3 e 4 anos possuem um total de 4 e 3 intervenções em 10 anos, respectivamente. Os três métodos de maximização da receita, com 3 ciclos de corte cada uma, geram no total 36 simulações de intervenções e, naturalmente cada intervenção gera diferentes resultados.

Os resultados estão separados em dois grupos, o primeiro grupo responde pelos resultados da proposta de manejo durante o horizonte de planejamento e, o segundo grupo responde pelos resultados após a proposta de manejo com o objetivo de manter a população regulada.

Observa-se que o número de indivíduos explorados permanece praticamente o mesmo em todos os ciclos de corte. A taxa de ingresso da espécie é o fator que determina o número de

árvores exploradas por ciclo. Entretanto, o volume total explorado e o resultado financeiro em cada ciclo de corte são bastante variados, principalmente, no primeiro corte com relação aos demais.

Tabela 42. Resultados do regime de manejo *MaxR* com ciclos de corte a cada 2 anos.

	ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
Horizonte de planejamento	1	-	-	-	-	395,08	8,49	403,58	129,14	-
	2	181	15.265	184,38	81,54	249,80	19,84	269,64	86,29	14,12
	3	-	-	-	-	280,47	32,73	313,20	100,22	-
	4	181	7.256	107,42	40,96	204,80	48,84	253,63	81,16	7,09
	5	-	-	-	-	228,60	66,92	295,52	94,57	-
	6	181	6.362	100,11	44,00	153,03	88,54	241,57	77,30	7,62
	7	-	-	-	-	169,47	112,32	281,79	90,17	-
	8	181	6.236	104,83	52,14	81,51	139,85	221,36	70,84	9,03
	9	-	-	-	-	89,82	169,73	259,55	83,06	-
	10	180	5.026	98,33	47,02	0,00	203,43	203,43	65,10	8,14
Total	904	40.144	595,07	265,65	-	-	-	-	-	45,99
Floresta Regulada	11	-	-	-	-	-	239,57	239,57	76,66	-
	12	147	-	68,37	-	-	198,73	198,73	63,59	-
	13	-	-	-	-	-	234,18	234,18	74,94	-
	14	147	-	66,75	-	-	194,55	194,55	62,26	-
	15	-	-	-	-	-	229,42	229,42	73,41	-
	16	147	-	65,93	-	-	190,14	190,14	60,84	-
	17	-	-	-	-	-	224,45	224,45	71,82	-
	18	147	-	64,30	-	-	186,55	186,55	59,69	-
	19	-	-	-	-	-	220,45	220,45	70,54	-
	20	147	-	62,21	-	-	184,53	184,53	59,05	-
	21	-	-	-	-	-	218,21	218,21	69,83	-
	22	147	-	60,23	-	-	184,53	184,53	59,05	-
Total	1.786	-	938,35	-	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada.

O motivo da grande variação entre os ciclos de corte é explicado pelo método de otimização utilizado. O *MaxR* busca a maximização da receita em cada ciclo de corte, não havendo restrições específicas que limitam a receita entre os ciclos de corte. Assim sendo, as árvores com maiores DAP por possuírem taxas de incremento próximas ou menores que a taxa de juros aplicada, são exploradas no primeiro ano, já que para estas árvores ocorre o decréscimo no valor presente individual ao longo dos anos.

O momento de exploração está diretamente vinculado com a tendência do valor presente individual, caso a árvore ainda esteja aumentando o seu capital ela terá mais chances de permanecer na floresta, caso ela esteja decrescendo o capital acumulado ela, certamente, tem um maior potencial de ser explorada. No entanto, não é apenas o acréscimo ou o decréscimo do capital acumulado que define o momento de exploração da árvore, mas também o conjunto de restrições que obriga a exploração de uma determinada quantidade de árvores por ciclo. Assim sendo, para respeitar estas restrições podem ser explorados indivíduos com decréscimo do capital acumulado como também indivíduos com acréscimo do capital acumulado.

O regime de manejo gerou um volume total explorado de 595,07 m³ com receita de R\$ 40.144 em 10 anos. O volume serraria foi de 265,65 m³ que equivale a 44,6% do volume total. Analisando o estoque volumétrico das 904 árvores, observa-se o decréscimo contínuo ao longo dos anos, decorrente da exploração dos indivíduos que, termina em zero após o último ciclo de corte no final do HP. A partir do ano 10 todo estoque volumétrico é composto pelas árvores que ingressaram na floresta na floresta desde o primeiro ano do HP.

O estoque do carbono total fixado sofre oscilação no decorrer do tempo e, sua dinâmica depende da quantidade total de árvores, composta basicamente pelas árvores não exploradas e pelas árvores que ingressaram na floresta por meio de regeneração natural, das taxas de crescimento da floresta e finalmente dos ciclos de corte. Ao final do HP, da mesma forma que o volume total, o carbono total fixado é composto apenas pelas árvores que ingressaram no sistema. Em relação ao carbono fixado na madeira beneficiada, obtém-se um total de 45,99 toneladas acumuladas em 10 anos.

O estoque do volume total no decorrer do tempo (Figura 30) expressa um declínio durante os 10 anos do HP, após este período observa-se a sua estabilização. Ao período de estabilidade do estoque volumétrico ao longo do tempo denomina-se de floresta regulada. A principal característica que define a floresta regulada está na relação entre o crescimento em volume e o volume explorado, quando há o equilíbrio entre crescimento e exploração tem-se uma floresta regulada. A floresta regulada para um mesmo ciclo de corte será sempre a mesma independentemente do método empregado, pois as entradas (ingresso) e saídas (exploradas) serão sempre iguais para um mesmo ciclo de corte. No Apêndice 3, observa-se a dinâmica do ingresso com as entradas e saídas anuais ao longo de 22 anos.

O equilíbrio entre o volume explorado e o crescimento em volume foi determinado pelos modelos de crescimento e pela taxa de ingresso, com o objetivo de trazer o conceito de floresta

regulada. Entretanto, nesta pesquisa o equilíbrio a ser estabelecido não se relaciona com o volume, mas exclusivamente com a taxa de ingresso da floresta, ou seja, para controlar a espécie e ao mesmo tempo mantê-la gerando recursos, deve ser estabelecido o equilíbrio entre o número de indivíduos explorados e o número de indivíduos que ingressam na floresta.

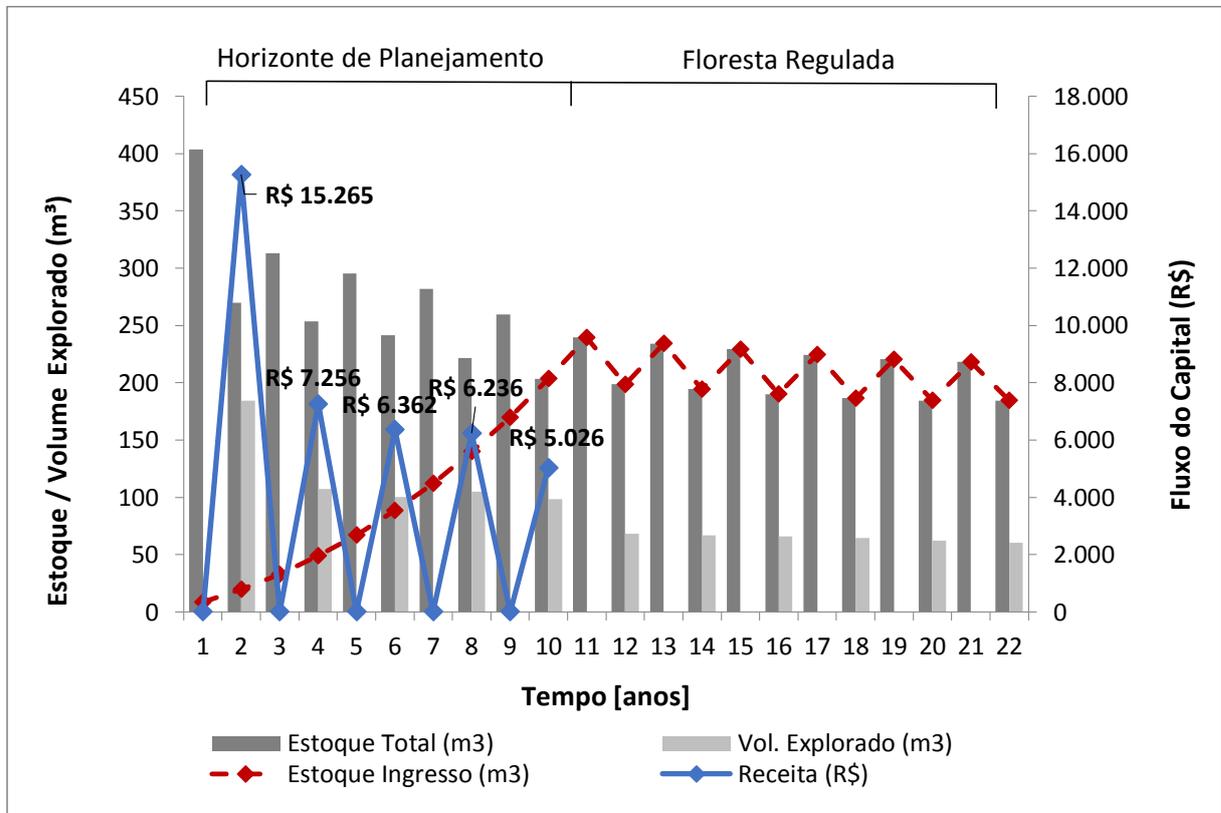


Figura 30. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR2

Nota-se (Figura 30) que o volume do ingresso aumenta gradualmente ao longo do tempo, passando de uma contribuição mínima nos primeiros anos para uma contribuição plena em relação ao volume total no ano 10. Após o décimo ano o estoque do ingresso oscila entre decréscimos e acréscimos dependendo do ano do momento de exploração.

5.6.2 Regime de manejo II - Maximização da receita balanceada com ciclos de corte a cada 2 anos (*MaxR_B2*)

Na Figura 31 consta a síntese do resultado do regime de manejo para a maximização da receita balanceada com ciclos de corte de 2 anos. Neste método a receita permanece equilibrada entre ciclos de corte e, de modo geral, percebem-se apenas pequenas oscilações na receita.

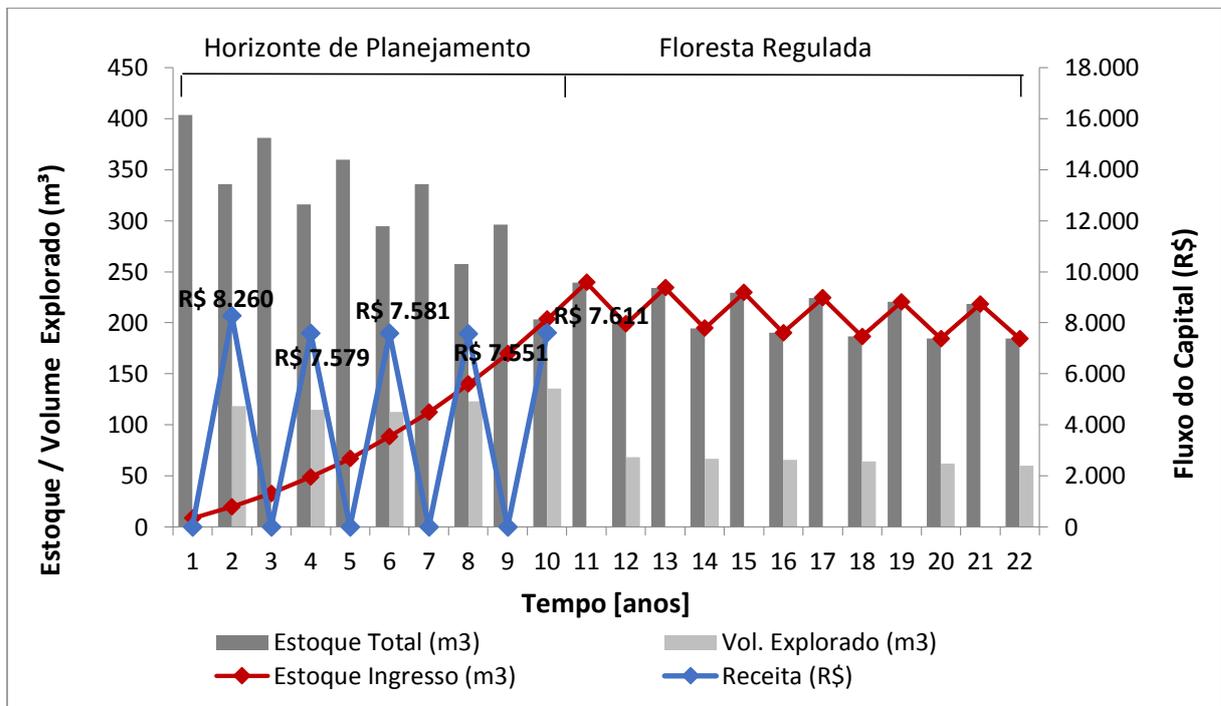


Figura 31. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo *MaxR_B2*

O volume explorado também segue uma tendência de equilíbrio entre os ciclos de corte, observa-se uma diferença um pouco maior no último ciclo de corte referente ao décimo ano. Ao buscar a maximização da receita balanceada o método por meio de um grupo de restrições determina que as receitas entre os ciclos de corte sejam semelhantes. Todavia, como as restrições são inequações com sinal de menor ou igual, os resultados apesar de próximos, não são idênticos entre si.

Os resultados do regime de manejo para a maximização da receita balanceada entre ciclos de corte de 2 anos estão apresentados no Apêndice 4. Neste regime de manejo o número de árvores exploradas em cada ciclo de corte (181) permanece o mesmo que no regime de

manejo anterior, porém há uma grande diferença entre o volume explorado no primeiro ciclo de corte do regime de manejo anterior para o regime de manejo atual. Em razão desta diferença pode-se afirmar que os indivíduos explorados entre os ciclos de corte não são os mesmos. Neste pequeno detalhe está a essência do método, ou seja, buscar o melhor resultado dentro de diferentes critérios estabelecidos. A receita total deste método foi de R\$ 38.582,62, pouco inferior ao método *MaxR*. A floresta regulada segue o mesmo padrão descrito no regime de manejo anterior.

5.6.3 Regime de manejo III - maximização da receita controlada com ciclos de corte a cada 2 anos (*MaxR_C2*)

A maior diferença deste método para os demais está no controle da receita no primeiro e no último ciclo de corte, para ambos os ciclos de corte a receita deve ser superior a R\$ 10.000,00. O valor estabelecido foi definido arbitrariamente e tem como objetivo demonstrar que há infinitas opções de manejo para a população, por exemplo, poderia ter sido definido que no terceiro ciclo de corte o valor da receita deveria ser superior a R\$ 15.000,00. Entretanto, cada restrição estabelecida afeta diretamente o resultado do regime de manejo e, em função disto, o correto é que cada gestor defina o que se pretende buscar com o manejo.

O resultado da receita para o segundo e o décimo ano foram superiores a R\$ 10.000,00 (Apêndice 5). A restrição foi plenamente atendida e, para que isto seja possível, os demais ciclos de corte resultaram em receitas bastante inferiores, entre R\$ 4.000,00 e R\$ 5.000,00. O volume explorado segue a tendência das receitas, isto significa que, no segundo e no décimo ano o volume explorado é proporcionalmente maior do que o volume explorado nos demais ciclos de corte. Apesar da grande diferença entre as receitas nos ciclos de corte, o resultado da receita total obtida pelo método foi de R\$ 38.494,41, valor muito próximo do obtido no método *MaxR_B*.

Na Figura 32 observa-se com clareza os picos de receita entre o primeiro e o último ciclo de corte, também é possível perceber a diferença no volume explorado para estes anos. No primeiro e no último ano para atender à restrição da receita mínima de R\$ 10.000,00, explorou-se um grande volume, sendo inclusive superior a 150 m³, enquanto os demais ciclos de corte não passaram de 100 m³.

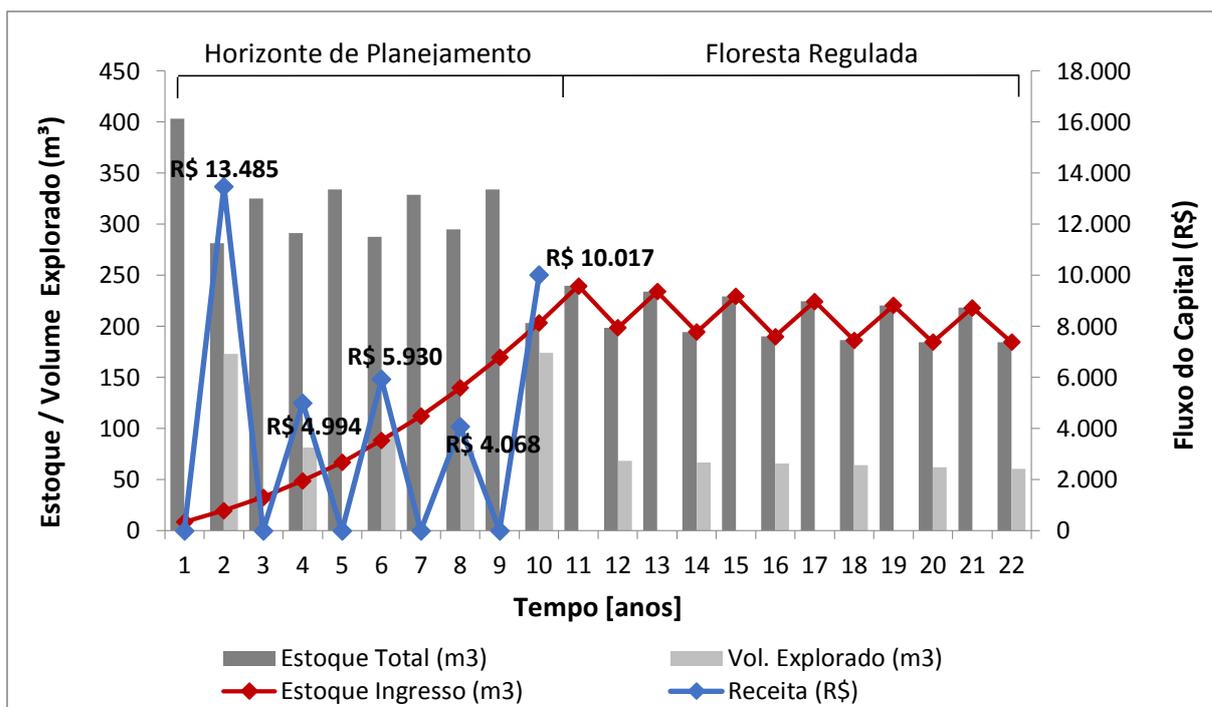


Figura 32. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR_C2.

5.6.4 Regime de manejo IV - maximização da receita com ciclos de corte a cada 3 anos (*MaxR₃*)

O regime de manejo *MaxR₃* apresenta uma grande variação entre as receitas ao longo do HP (Apêndice 6). A receita entre os ciclos de corte varia de R\$ 16.716,00 no primeiro ciclo para R\$ 6.508,00 no último. O volume explorado por ciclo de corte não apresenta um padrão regular, ele sofre acréscimos e decréscimos ao longo do HP a fim de buscar a máxima receita possível. O volume serraria segue a mesma oscilação do volume total.

O regime de manejo gerou um volume total explorado de 573,38 m³ com receita de R\$ 40.112,00 em 10 anos. O volume serraria foi de 258,70 m³ que equivale a 45,1% do volume total. Em cada ciclo de corte exploram-se 226 árvores e ao final do HP todas as 904 árvores foram exploradas.

Na Figura 33 observa-se o fluxo de capital para o regime de manejo que, por sua vez, tem tendência decrescente ao longo do HP. Além disto, observa-se o pico de exploração do primeiro ano que, posteriormente, decresce drasticamente. Para a floresta regulada observa-se que o equilíbrio é mantido ao longo dos anos e durante três anos consecutivos ocorrem ingressos

e ao final do terceiro anos executa-se a exploração. No Apêndice 7 apresenta-se a dinâmica do ingresso para o ciclo de corte a cada 3 anos durante o HP e no período pós exploração (floresta regulada).

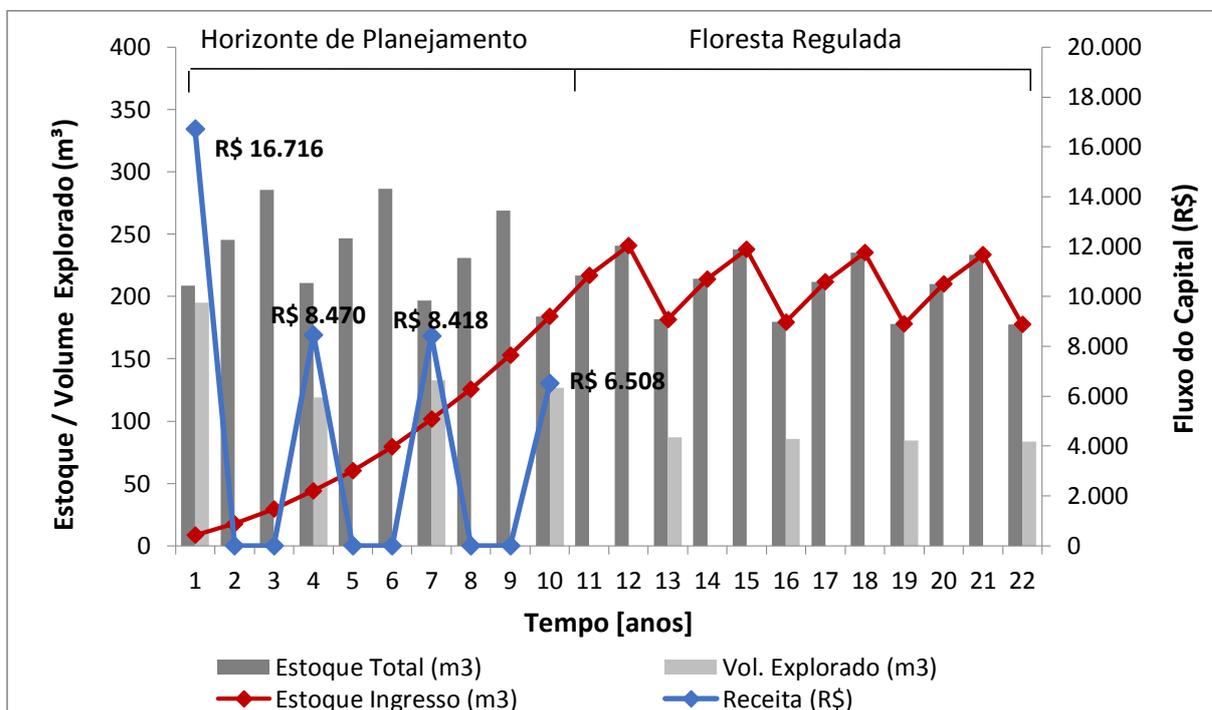


Figura 33. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR3

5.6.5 Regime de manejo V - maximização da receita balanceada com ciclos de corte a cada 3 anos (*MaxR_B3*)

O regime de manejo em questão tem como objetivo principal a maximização da receita deste que a mesma seja equilibrada entre os ciclos de corte. Constata-se na Figura 34 que a restrição foi respeitada, pois as receitas são muito similares entre si. A diferença entre as receitas não passa de R\$ 100,00 e a média foi de R\$ 9.600,00. O volume explorado tem uma tendência crescente que vai de 127,17 m³ no primeiro ciclo de corte até 171,07 m³ no último ciclo de corte, com diferença entre estes volumes de 43,90 m³, iguais a 25,6%. Analisando a diferença entre as receitas, nota-se que a diferença entre os volumes é extremamente alta, pois no último ciclo, explora-se 25,6% a mais de volume com resultado financeiro inferior ao primeiro ciclo.

O maior volume explorado sem ser revertido em receita no último ciclo de corte, é explicado pela baixa taxa de conversão do volume em receita. As árvores exploradas neste ciclo de corte são árvores com menor volume serraria que, conseqüentemente, acarreta na menor conversão do volume em receita. Estas são as árvores que pertenciam às menores classes de diâmetro nos primeiros anos do HP que, por terem as maiores taxas de crescimento permaneceram na floresta até os últimos ciclos de corte. Entretanto, ainda sem apresentar uma alta relação com o volume serraria.

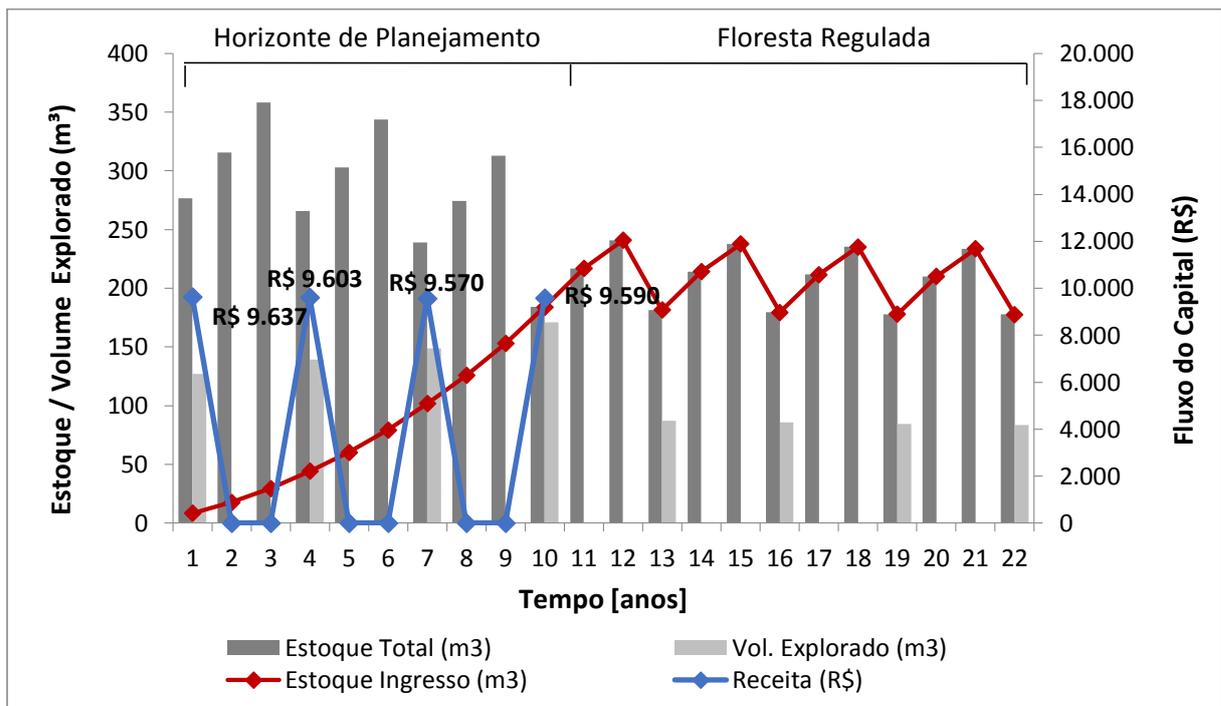


Figura 34. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo $MaxR_{B3}$.

O regime de manejo $MaxR_{B3}$ apresenta uma receita total de R\$ 38.399,53 para um volume total de $586,00 \text{ m}^3$ (Apêndice 8). O volume serraria participa com 45,79% do volume total, equivalente a $268,48 \text{ m}^3$. A taxa de conversão do volume total em receita foi de $65,5 \text{ R\$/m}^3$.

5.6.6 Regime de manejo VI - maximização da receita controlada com ciclos de corte a cada 3 anos (*MaxR_C3*)

Os picos de receita e de volume explorado entre o primeiro e o último ciclo de corte podem ser observados na Figura 35. Constata-se que não há limites para a receita máxima entre os ciclos de corte, apenas um limite mínimo no primeiro e no último ano. Com este pico de receita no primeiro ano fica claro que o método sempre busca a maximização da receita obedecendo apenas às restrições estabelecidas. O que ocorre no ciclo de corte está relacionado com a exploração das árvores maiores que, por sua vez, possuem as menores taxas de crescimento da população. Quanto menor a taxa de crescimento menor será o retorno financeiro e, para que o retorno seja máximo, estas árvores são exploradas nos primeiros anos do regime de manejo.

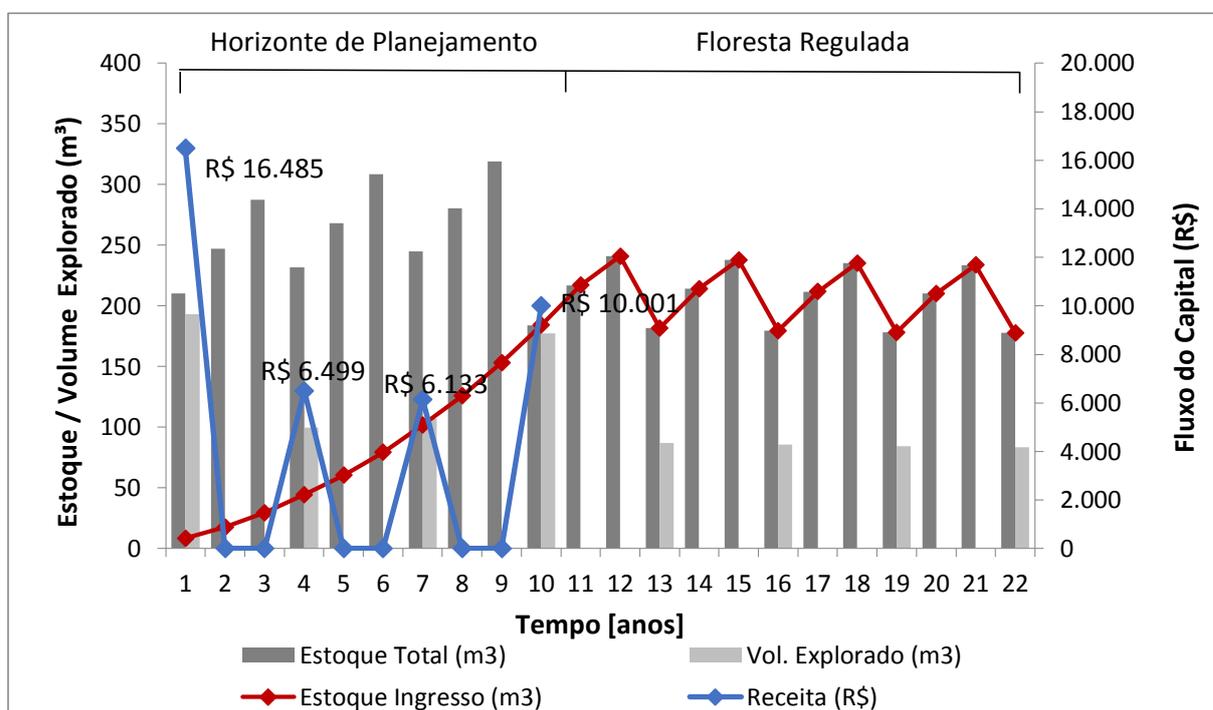


Figura 35. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo *MaxR_C3*.

O regime de manejo *MaxR_C3* segue exatamente o mesmo princípio do regime de manejo *MaxR_C2*. O primeiro e o último ano apresentam receitas superiores a R\$ 10.000,00 (Apêndice 9) e isto implica que a restrição foi plenamente respeitada. Os demais ciclos de corte

também resultaram em receitas inferiores, entre R\$ 6.499,00 e R\$ 6.133,00. O volume explorado segue a tendência das receitas. Desta forma, no segundo e no décimo ano o volume explorado é proporcionalmente maior do que o volume explorado nos demais ciclos de corte. Este regime de manejo produziu uma receita total de R\$ 39.118,92 com um volume total explorado de 578,04 m³ durante os 10 anos do HP.

5.6.7 Regime de manejo VII - maximização da receita com ciclos de corte a cada 4 anos (*MaxR₄*)

A principal diferença entre o regime de manejo *MaxR₄* e seus análogos *MaxR₂* e *MaxR₃* está na quantidade de árvores exploradas por ciclo de corte em razão da diminuição do número de intervenções. Neste regime de manejo são previstas três intervenções com a exploração de 302 árvores no primeiro ciclo de corte e 301 árvores nos demais ciclos de corte (Apêndice 10). Conforme os demais regimes de manejo que buscam a maximização da receita sem restrições para a mesma, o regime *MaxR₄* tem o maior pico de receita e de volume explorado no primeiro ciclo de corte, R\$ 19.396,14 e 242,52 m³, respectivamente. No segundo e no terceiro ciclos de corte ocorrem uma redução drástica na receita e no volume explorado.

A maior diferença entre as receitas ocorre no primeiro e no terceiro ciclo de corte, a diferença na receita foi de R\$ 10.246,84 para o primeiro ciclo, cerca de 40,6%. A redução no volume entre os ciclos de corte foi menos drástica, a diminuição foi de 65,92 m³ entre o primeiro ciclo de corte e o último ciclo, equivalente a menos 27,2%. A disparidade observada entre a redução da receita e do volume entre os ciclos de corte pode ser explicada pela taxa de conversão do volume em receita. No primeiro ciclo a taxa de conversão do volume em receita foi de 79,98 R\$/m³, valor muito superior ao observado no segundo e no terceiro ciclo de corte que produziram uma taxa de 65,19 R\$/m³ e 51,81 R\$/m³, respectivamente. Por meio da taxa de conversão, conclui-se que para cada metro cúbico explorado no primeiro ciclo de corte, obtém-se um retorno financeiro 18,48% maior que no segundo ciclo e, 35,22% maior que no terceiro ciclo.

A diferença entre as taxas de conversão ocorre em razão das diferentes proporções do volume serraria para cada árvore, pois quanto maior for o volume serraria das árvores maior será a conversão do volume da árvore em receita. Para que a taxa de conversão seja maior no

primeiro ciclo de corte as árvores exploradas neste ciclo, certamente, possuem maior volume serraria.

Na Figura 36 observa-se a relação entre as receitas e os volumes em cada ciclo de corte. O primeiro ciclo de corte ocorre apenas no segundo ano e, por este motivo, no primeiro ano constata-se uma alta no estoque volumétrico da população. Como não há exploração no primeiro ano ocorrem apenas entradas (incremento em volume) e nenhuma saída (volume explorado). Na floresta regulada a curva do estoque do ingresso mostra que, para cada três anos consecutivos de incremento no volume do ingresso, executa-se no quarto ano a exploração. A exploração traz como consequência a redução do estoque do ingresso. No Apêndice 11 consta a dinâmica do ingresso para o ciclo de corte a cada 4 anos e durante as duas fases (HP e floresta regulada) têm-se 22 anos de projeções para o ingresso.

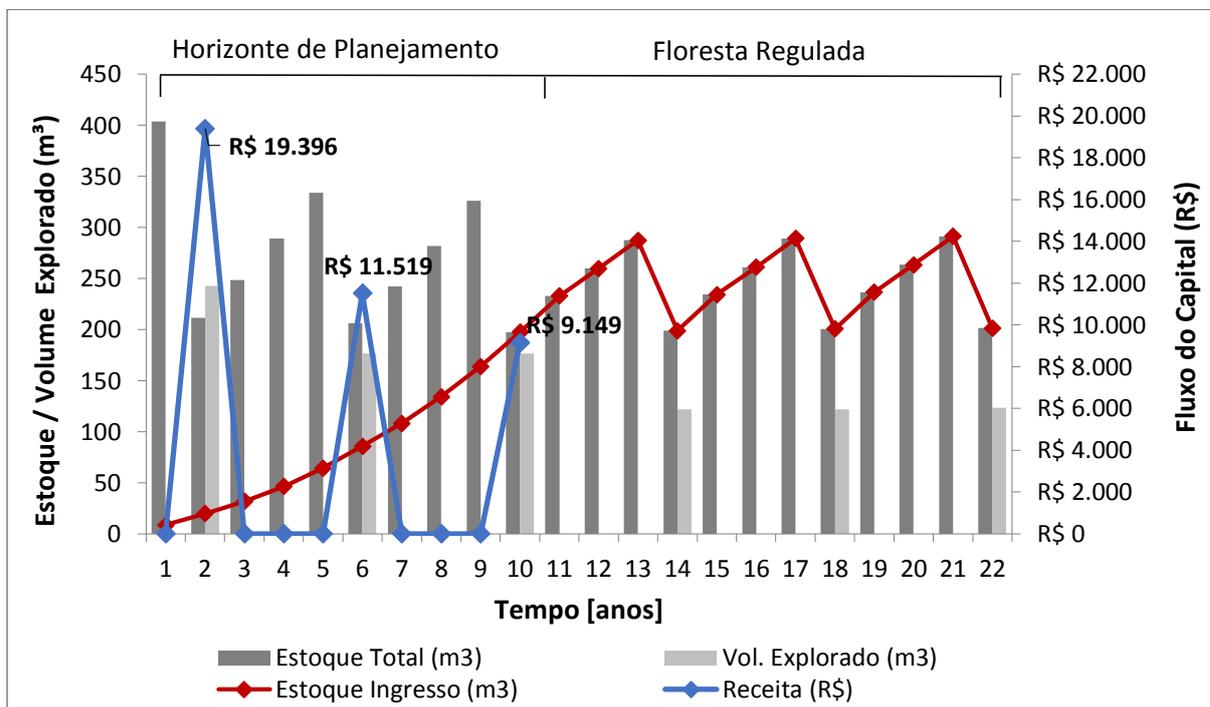


Figura 36. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo MaxR4.

5.6.8 Regime de manejo VIII - maximização da receita balanceada com ciclos de corte a cada 4 anos (*MaxR_{B4}*)

No regime de manejo *MaxR_{B4}* as receitas entre os ciclos de corte apesar de distintas são muito próximas entre si (Figura 37). A relação entre as receitas mostra que as restrições foram perfeitamente obedecidas e que o método cumpriu com seu objetivo principal, ou seja, maximizou a receita total do regime de manejo com a menor diferença possível entre as receitas parciais, geradas pelos ciclos de corte.

O volume explorado entre os ciclos de corte possui tendência crescente, passando de 180,51 m³ no primeiro ciclo para 231,48 m³ no terceiro e último ciclo (Apêndice 12).

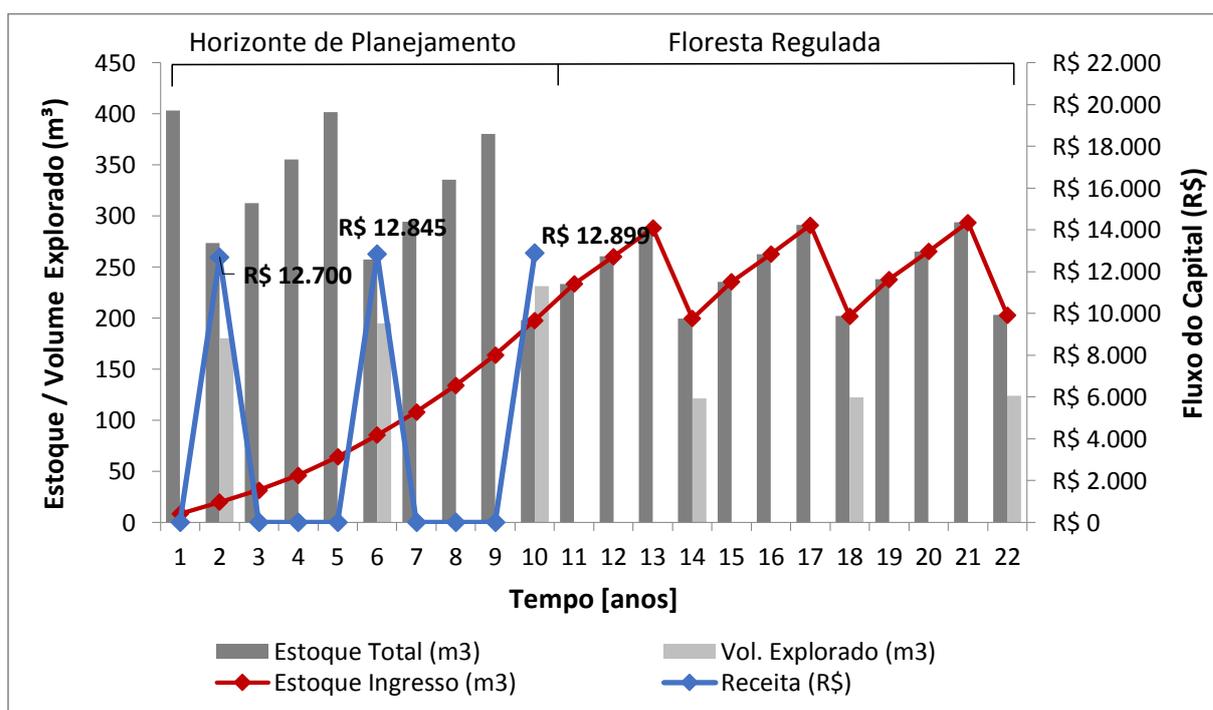


Figura 37. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo *MaxR_{B4}*.

Como no regime de manejo anterior (*MaxR₄*) a diferença no volume explorado entre os ciclos de corte é muito superior a diferença existente entre as receitas. Assim sendo, conclui-se que as árvores exploradas no primeiro ciclo possuem uma taxa de conversão do volume em receita muito superior às árvores exploradas nos demais ciclos de corte. A taxa de conversão é 20,80% superior no primeiro ciclo de corte comparando com o último ciclo, em termos absolutos esta diferença equivale a 14,64 R\$/m³.

5.6.9 Regime de manejo IX - maximização da receita controlada com ciclos de corte a cada 4 anos (*MaxR_C4*)

O regime de manejo *MaxR_C4* apresenta receitas e volumes entre os ciclos de corte muito similares ao regime de manejo *MaxR4*, com uma grande diferença entre o primeiro e o último ciclo de corte (Apêndice 13). A similaridade entre os regimes de manejo pode ser explicada em função da quantidade de árvores explorada por ciclo. Exploram-se no total 301 árvores por ciclo de corte e esta quantidade é suficiente para que a receita do último ciclo de corte seja próxima a R\$ 10.000,00 com pouca interferência na escolha das árvores exploradas no primeiro ciclo.

O fluxo do capital representado pela receita entre os ciclos de corte (Figura 38) oscila intensamente do primeiro para os demais ciclos de corte. Novamente como no item anterior (*MaxR_B4*), a oscilação entre as receitas do primeiro ciclo para os demais ciclos de corte é muito maior do que a oscilação do volume. Por este motivo, a explicação para este fenômeno é exatamente a mesma. As árvores exploradas no primeiro ciclo de corte têm maiores taxas na conversão do volume em receita.

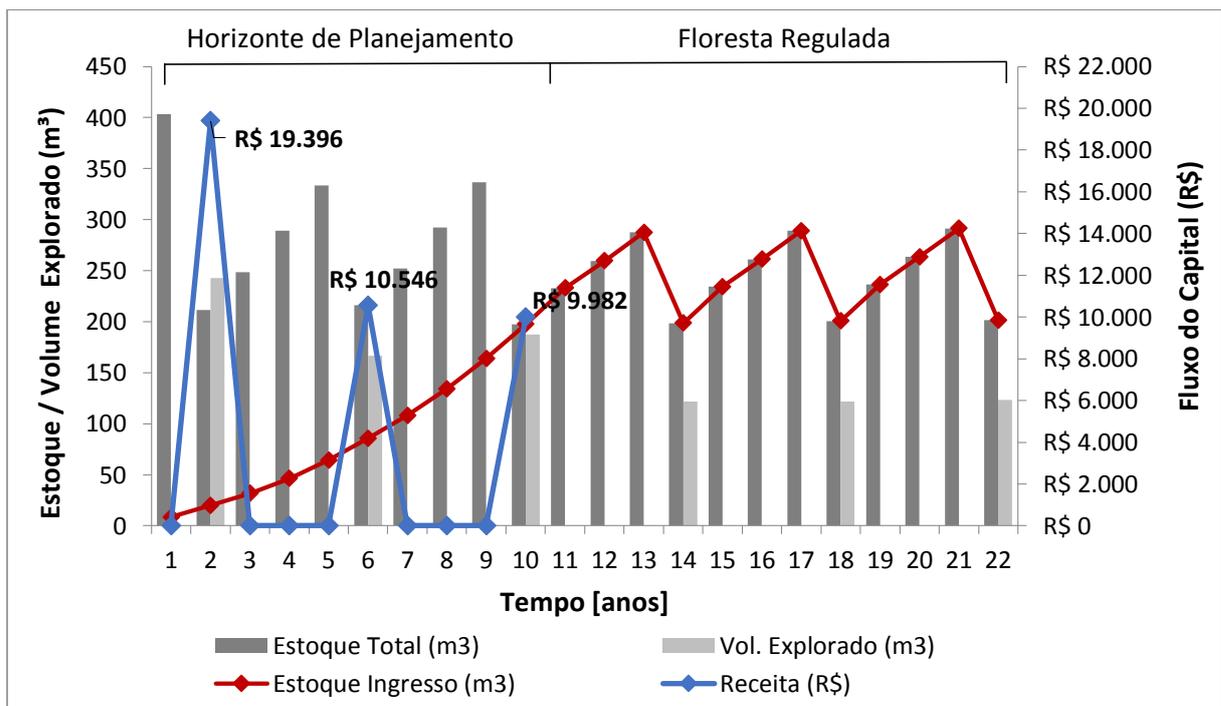


Figura 38. Flutuação do volume total, do volume explorado e das receitas para o regime de manejo *MaxR_C4*.

A restrição estabelecida para a receita no primeiro e no último ciclo de corte no valor mínimo de R\$ 10.000,00 pouco interfere na escolha das árvores, pois com 301 árvores exploradas por ciclo de corte atinge-se a meta estabelecida pela restrição sem que ocorram perdas na receita em razão do momento de exploração das árvores. Árvores que não são exploradas no momento do máximo valor presente individual (MVPI) perdem valor ao longo dos anos à medida que a taxa de juros é maior que a taxa de crescimento das árvores.

Nos demais regimes de manejo pelo método da maximização da receita controlada (2 e 3 anos) constata-se uma maior interferência na seleção dos indivíduos explorados, pois para que o último ciclo de corte respeite a restrição ocorrem perdas na receita total em razão da seleção das árvores estarem cada vez mais distantes do MVPI.

5.7 AVALIAÇÃO DOS REGIMES DE MANEJO

5.7.1 Método da maximização da receita

Na Tabela 43 são apresentados os resultados dos critérios técnicos-econômicos para os três distintos ciclos de corte no método *MaxR*. No geral, os resultados obtidos pelos critérios entre os ciclos de corte diferem pouco entre si, ou seja, a diferença entre a receita total é menor do que R\$100,00 do melhor para o pior resultado. O ciclo de corte a cada 3 anos apresentou resultados superiores para a conversão do volume em receita e para a eficiência da exploração. Por outro lado, nos critérios volume total e volume serraria o ciclo com cortes a cada 4 anos foi superior aos demais.

Tabela 43. Resultados dos critérios técnicos-econômicos para o regime de manejo *MaxR* com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.

Ciclos de corte	Receita Total (R\$)		Volume Total (m ³)		Vol. Ser. (m ³)		CVR (R\$/ m ³)		EE (%)		RG
		RP		RP		RP		RP		RP	
2	40.144	1	595,07	2	265,65	2	67,46	2	32,12	2	9
3	40.112	2	573,38	3	258,70	3	69,96	1	36,75	1	10
4	40.064	3	595,81	1	268,34	1	67,24	3	31,69	3	11

Vol. Ser.: volume serraria individual; CVR: conversão do volume em receita; EE: eficiência da exploração; RP: ranking parcial; RG: ranking geral.

A pequena diferença observada entre os critérios técnico-econômicos mostra a necessidade de ter-se outros critérios para a determinação do modelo mais adequado, pois qualquer que seja o ciclo, os resultados para os critérios técnico-econômicos são similares. Por exemplo, analisando as receitas entre os ciclos de corte observa-se um valor máximo entre a maior e a menor receita de R\$ 50,00. Apesar dos resultados muito próximos entre si, os ciclos foram ranqueados quanto aos critérios e o melhor desempenho pode ser observado no ciclo de corte a cada 2 anos.

Os critérios ambientais e seus resultados são apresentados na Tabela 44. O ciclo de corte a cada 4 anos foi superior quanto ao carbono total estocado e, quanto ao carbono estocado na madeira beneficiada. Isto porque, existe um período maior entre os cortes que reflete em um maior acúmulo de carbono. O menor ciclo entre os cortes confirma a relação existente entre o carbono acumulado e o tempo entre intervenções, ou seja, quanto menor é o tempo entre as intervenções menor é o acúmulo de carbono. No entanto, o menor ciclo de corte teve o melhor desempenho quanto ao índice de equilíbrio, isto significa que, houve um equilíbrio maior entre as árvores exploradas e as árvores que ingressaram no sistema. Quanto mais próximo de 1 for o índice de equilíbrio, melhor será para o controle da espécie, pois para cada árvore que ingressa no sistema outra árvore será explorada. Desta forma, a entrada e a saída das árvores se anulam por completo, o que impediria a expansão da espécie exótica invasora.

Tabela 44. Resultados dos critérios ambientais para o regime de manejo *MaxR* com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.

Ciclos de corte	CTE (t)	RP	CEMB (t)	RP	EC (m ³)	RP	IE	RP	RG
2	67,34	3	45,99	2	24,22	3	1,13	1	9
3	71,81	2	44,79	3	25,30	1	1,24	3	9
4	92,35	1	46,46	1	24,62	2	1,15	2	6

CTE: carbono total estocado; CEMB: carbono estocado na madeira beneficiada; EC: eficiência na conversão do carbono total estocado em carbono estocado na madeira beneficiada; IE: índice de equilíbrio; RP: ranking parcial; RG: ranking total.

Os critérios ambientais mostraram diferenças significativas entre os ciclos de corte, principalmente, para os critérios carbono total estocado e índice de equilíbrio. Como se tratam de critérios que indicam uma melhora nos parâmetros ambientais e na eficiência do controle da uva-do-japão, certamente, em não havendo diferenças entre os aspectos técnicos-econômicos, estes critérios podem ser suficientes para determinar o ciclo de corte mais adequado. Isto posto,

o ciclo de corte a cada 4 anos apresentou os melhores resultados e obteve o melhor ranking geral para os critérios ambientais.

5.7.2 Método da maximização da receita balanceada

Os resultados dos critérios técnicos-econômicos (Tabela 45) para o método *MaxR_B* diferem minimamente com o método anterior. Isto indica que, o processo de otimização é extremamente eficiente, pois mesmo após a criação de situações diferenciadas (ciclos de corte) os resultados são praticamente os mesmos.

Tabela 45. Resultados dos critérios técnicos-econômicos para o regime de manejo *MaxR_B* com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.

Ciclos de corte	Receita Total (R\$)	RP	Volume Total (m ³)	RP	Vol. Ser. (m ³)	RP	CVR (R\$/ m ³)	RP	EE (%)	RP	RG
2	38.583	1	604,86	2	274,65	2	63,79	2	26,39	2	9
3	38.400	3	586,27	3	268,48	3	65,50	1	28,34	1	11
4	38.444	2	607,08	1	277,71	1	63,33	3	25,82	3	10

Vol. Ser.: volume serraria individual; CVR: conversão do volume em receita; E.E: eficiência da exploração; RP: ranking parcial; RG: ranking total.

O ciclo de corte a cada 2 anos foi superior aos demais apenas para o critério receita total, com R\$ 38.583,00, assumindo uma posição intermediária nos demais critérios. O ciclo de corte a cada 3 anos foi inferior aos demais para os três primeiros critérios, ou seja, para a receita total, para o volume total e para o volume serraria, porém com resultados sempre próximos aos outros dois ciclos de corte. Este mesmo ciclo foi superior no critério conversão do volume em receita e na eficiência da exploração, isto significa que, o volume explorado gerou uma receita proporcionalmente maior que os outros ciclos e, o volume total das 904 árvores amostradas foi proporcionalmente mais utilizado ao longo do HP. O ciclo de corte a cada 4 anos conforme o método anterior obteve o maior volume total e serraria.

Na definição do ciclo de corte mais adequado por meio do ranking geral constata-se que o ciclo de corte a cada 2 anos teve melhor desempenho que os demais, somou no total 9 pontos, dois a menos que o ciclo de corte a cada 4 anos.

Na Tabela 46 estão os resultados para os critérios ambientais. O carbono total estocado é o critério com as maiores diferenças proporcionais entre os ciclos de corte. A diferença entre

o ciclo 4 e o 2 foi de 26,3 toneladas de carbono ao longo dos 10 anos, equivalentes a 2,63 toneladas a mais por ano. Isto significa que, a cada ano o ciclo 4 acumula 27,6% a mais de carbono do que o ciclo 2. Do ponto de vista ambiental e sob a ótica do manejo florestal sustentável para a espécie, a diferença no acúmulo do carbono entre os ciclos de corte tornou-se o critério mais relevante na análise dos regimes de manejo. Entre os ciclos de corte todos os demais critérios ambientais apresentam uma diferença menor do que 10% entre o maior e o menor valor.

Tabela 46. Resultados dos critérios ambientais para o regime de manejo *MaxR_B* com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.

Ciclos de corte	CTE (t)	RP	CEMB (t)	RP	EC (m ³)	RP	IE	RP	RG
2	69,00	3	47,55	2	24,34	3	1,13	1	9
3	74,72	2	46,48	3	26,56	1	1,24	3	9
4	95,30	1	48,08	1	24,21	2	1,15	2	6

CTE: carbono total estocado; CEMB: carbono estocado na madeira beneficiada; EC: eficiência na conversão do carbono total estocado em carbono estocado na madeira beneficiada; IE: Índice de Equilíbrio; RP: ranking parcial; RG: ranking total.

Pela superioridade observada no critério carbono total estocado e em razão da proximidade dos resultados nos demais critérios, sejam eles ambientais ou técnico-econômicos, o ciclo de corte a cada 4 anos, mostrou ser o ciclo mais compatível com os objetivos da pesquisa. Este ciclo promove o controle da espécie de maneira eficiente, gera renda aos proprietários rurais da mesma maneira que os demais ciclos e, por fim, melhora os parâmetros ambientais pela maior captação do carbono atmosférico.

5.7.3 Método da maximização da receita controlada

A Tabela 47 apresenta o resumo dos resultados para os critérios técnico-econômicos nos três ciclos de corte testados pelo método da maximização da receita controlada. No método testado observa-se que o critério receita total tem a maior diferença entre os ciclos de corte quando comparado aos outros dois métodos anteriores (Tabelas 43 e 45). Mesmo com as maiores diferenças para a receita total, em termos percentuais ela não passa de 3,6% entre o maior e o menor resultado. Em termos absolutos o ciclo de corte 4 anos gerou R\$ 1.430,00 a mais do que o ciclo de corte 2 anos ao longo de 10 anos. O único critério que tem diferença

entre o maior e o menor resultado superior a 10% é a eficiência na exploração, neste caso o ciclo de corte 3 anos foi 15,9% superior ao ciclo de corte 2 anos.

Tabela 47. Resultados dos critérios técnicos-econômicos para o regime de manejo *MaxR_C* com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.

Ciclos de corte	Receita		Volume		Vol. Ser.		CVR		EE		RG
	Total (R\$)	RP	Total (m ³)	RP	(m ³)	RP	(R\$/ m ³)	RP	(%)	RP	
2	38.494	3	600,35	1	266,48	2	64,12	3	27,36	3	12
3	39.119	2	578,04	3	259,48	3	67,68	1	32,53	1	10
4	39.924	1	596,61	2	269,47	1	66,92	2	31,05	2	8

Vol. Ser.: volume serraria individual; CVR: conversão do volume em receita; EE: eficiência da exploração; RP: ranking parcial; RG: ranking total.

A maximização pelo controle da receita mostra uma inversão no ranking geral quando comparado aos métodos anteriores (Tabelas 43 e 45). Para ambos os métodos anteriores o ciclo de corte a cada 2 anos obteve o melhor ranking geral com variações no segundo e terceiro lugar. O método atual apresenta superioridade para o ciclo de corte 4 anos, com pontuação geral alcançada de 8 pontos, diferença de 4 pontos em relação ao ciclo de corte 2 anos. A diferença de 4 pontos entre ciclos de corte para o ranking geral foi a maior encontrada em todos os métodos testados. A superioridade na diferença entre os ciclos de corte ocorre em virtude de uma questão simples, a diferença no número de intervenções.

O ciclo de corte a cada 4 anos possui apenas 3 intervenções onde são retirados 301 indivíduos em cada uma delas. Neste caso, em razão do número de indivíduos explorados por intervenções, a receita será naturalmente superior ao valor mínimo de R\$ 10.000,00 na primeira e na última intervenção. Desta forma, com ou sem restrição a receita no primeiro e no último ano seria maior do que o valor estabelecido. Por outro lado, o ciclo de corte a cada 2 anos contém 5 intervenções com 181 indivíduos explorados em cada intervenção. O menor número de indivíduos explorados por intervenção gera menores receitas e, para que a restrição referente ao valor mínimo de R\$ 10.000,00 na primeira e na última receita seja respeitada, ocorrem perdas na receita global.

O ciclo de corte a cada 4 anos é superior em quase todos os critérios ambientais (Tabela 48), classificando-se em segundo lugar apenas para o critério índice de equilíbrio, com uma diferença absoluta de 0,02 em relação ao índice que obteve o melhor resultado. Como nos métodos anteriores (Tabelas 44 e 46) as diferenças entre os ciclos de corte são menores do que

10% para os critérios ambientais e, apenas o critério carbono total estocado contém uma diferença maior. O método atual mostra uma diferença máxima entre o maior e o menor resultado de 26,3%, em termos absolutos, ou seja, 24,3 toneladas de carbono acumulado a mais em 10 anos.

Tabela 48. Resultados dos critérios ambientais para o regime de manejo *MaxR_C* com ciclos de corte de 2, 3 e 4 anos.

Ciclos de corte	CTE (t)	RP	CEMB (t)	RP	EC (m ³)	RP	IE	RP	RG
2	68,24	3	46,13	2	22,79	3	1,13	1	9
3	72,86	2	44,92	3	23,92	2	1,24	3	10
4	92,56	1	46,65	1	24,61	1	1,15	2	5

CTE: carbono total estocado; CEMB: carbono estocado na madeira beneficiada; EC: eficiência na conversão do carbono total estocado em carbono estocado na madeira beneficiada; IE: Índice de Equilíbrio; RP: ranking parcial; RG: ranking total.

Para o método da maximização da receita controlada, o ciclo de corte a cada 4 anos, resultaram em valores superiores em ambos os critérios, técnicos-econômicos e ambientais, o que faz deste ciclo de corte o mais adequado segundo a metodologia proposta nesta pesquisa.

5.7.4 Avaliação da opção: manejar ou erradicar a espécie

Todos os nove regimes de manejo avaliados quando comparados com o estoque atual apresentaram resultados significativamente superiores dentre os critérios receita total, volume total e volume serraria. A Tabela 49 mostra toda a amplitude (maiores e menores) de resultados entre os regimes de manejo e o estoque atual para os três critérios passíveis de serem comparados. Os demais critérios não podem ser comparados, pois para o estoque atual não existe um horizonte de planejamento e muito menos ciclos de corte, motivo pelo qual, não é possível determinar todos os critérios utilizados na comparação entre os regimes de manejo.

Conforme descrito no item 4.13.1.1 o termo receita total utilizado nos regimes de manejo refere-se ao Valor Presente das Receitas do regime de manejo. Portanto, os resultados econômicos (receitas) são todos trazidos para o ano zero, em virtude da taxa de juros que incide sobre o valor monetário das árvores ao longo do HP. Por este motivo, é possível comparar a receita obtida na avaliação do estoque atual (ano zero) com as receitas dos regimes de manejo

trazidas para o ano zero. A aplicação da taxa de juros ao longo do HP sobre o capital traz o resultado financeiro do regime de manejo para o ano de análise, ou seja, para o ano zero.

Tabela 49. Resultados da diferença entre os valores obtidos nos regimes de manejo quando comparados ao estoque atual para três critérios: Receita total, Volume total, Volume Serraria.

Critérios	Maior Abs. (R\$)	Maior%	Regime de manejo	Menor Abs. (R\$)	Menor%	Regime de manejo
Receita total	17.788,00	44,31	<i>MaxR₂</i>	16.044,00	41,78	<i>MaxR_B₃</i>
Volume total	346,98	57,15	<i>MaxR_B₄</i>	317,94	55,00	<i>MaxR_C₃</i>
Volume Serraria	168,91	60,82	<i>MaxR_B₄</i>	149,90	57,94	<i>MaxR₃</i>

Maior Abs.: maior absoluto; Menor Abs.: menor absoluto

Observa-se que os regimes de manejo com o maior e o menor resultado para o critério receita total obtiveram uma superioridade em relação ao estoque atual de 44,31% e 41,78%, respectivamente. Esta diferença em termos absolutos é de R\$ 17.788,00 e R\$ 16.044,00 para o maior e o menor resultado, respectivamente. Em termos percentuais, no caso do volume total e do volume serraria as diferenças apresentam-se mais significativas do que a receita total. O volume total e o volume serraria explorado no regime de manejo com maior resultado (*MaxR_B₄*) foi superior ao estoque atual em 57,15% e 60,82%, respectivamente. Para ambos os critérios (volume total e serraria) os dois regimes de manejo com menores resultados obtiveram valores pouco inferiores aos valores descritos pelo regime superior.

6. CONCLUSÕES

Em relação aos modelos dendrométricos conclui-se que:

- Os modelos hipsométricos, volumétricos e de afilamento desenvolvidos para *Hovenia dulcis* apresentam resultados condizentes com aqueles que geralmente se obtém para espécies que crescem em florestas nativas.

Em relação aos modelos biométricos conclui-se que:

- Os modelos globais de crescimento em função da escala de idades relativas apresentam melhores estatísticas de ajuste e precisão que os modelos em função da idade real, no entanto, os modelos biológicos de Gompertz e Logístico não apresentam realismo biológico no ajuste em função da escala de idades relativas.
- Os modelos de árvores individuais em função da escala de idades relativas apresentam melhores estatísticas de ajuste e precisão que os modelos em função da idade real.
- A metodologia proposta pela substituição da idade real em uma escala de idade relativa nos modelos permite simular o crescimento de *Hovenia dulcis* ao longo do horizonte de planejamento, tornando factível a determinação do valor presente de cada indivíduo que serviu como critério na definição do momento de exploração em cada regime de manejo.
- A análise dos modelos de crescimento em diâmetro pelo erro percentual absoluto (EPA) e pelo erro percentual absoluto médio (EPAM) em relação ao incremento médio em classes de diâmetro (IMC) serve para a avaliação do realismo biológico.

Quanto a geração de padrões ótimos de corte conclui-se que:

- O procedimento utilizado para a determinação dos padrões ótimos de corte em nível individual gera resultados adequados e, pode ser empregado na busca pela maximização da utilização do comprimento do fuste em nível individual.

Quanto aos modelos de programação linear conclui-se que:

- Os modelos de programação linear para a otimização do manejo geram resultados adequados dentro da realidade esperada, servindo como metodologia na busca pela maximização da receita nos regimes de manejo para *Hovenia dulcis*, sendo inclusive, possível de aplicação em outras espécies.

Quanto aos regimes de manejo para a espécie e o método de seleção das árvores conclui-se que:

- A metodologia baseada na seleção dos indivíduos pelo máximo valor presente individual, apresenta resultados bastante apropriados e, pode ser empregado na busca pela maximização do resultado financeiro dos regimes de manejo.
- Os regimes de manejo cumprem com os principais objetivos propostos inicialmente nesta pesquisa, ou seja, a geração de renda e o controle de *Hovenia dulcis* e, certamente, podem servir de modelo para o manejo de outras espécies nativas. Como se trata de um método de manejo de seleção individual, a aplicação do mesmo direciona-se a florestas inequidâneas.

Quanto ao critério de avaliação dos regimes de manejo conclui-se que:

- A metodologia aplicada nas avaliações dos regimes de manejo mostrou ser uma ferramenta adequada, servindo de apoio na determinação do regime de manejo mais adequado de acordo com os objetivos do manejador. A determinação dos critérios técnicos-econômicos e ambientais proposto pelo método de avaliação alcançou seu objetivo principal: servir de base para a escolha do regime de manejo o mais sustentável.

Quanto a comparação entre os regimes de manejo e a exploração para a erradicação da espécie conclui-se que:

- Todos os regimes de manejo propostos apresentam resultados superiores para os critérios passíveis de comparação frente a opção da erradicação da espécie. Além da superioridade observada na exploração das 904 árvores, os regimes de manejo propostos

mantêm a espécie na floresta de forma equilibrada e, naturalmente, os novos indivíduos proporcionarão futuros ganhos financeiros.

- A opção de manejar a população também traz consigo diversos ganhos ambientais, como por exemplo, aumenta o estoque do carbono total e aumenta a eficiência na conversão do carbono total estocado em carbono estocado na madeira beneficiada. Na opção referente a erradicação da espécie não há ganhos ambientais como é o caso do sequestro de carbono, tão desejado e buscado pela sociedade em razão do acúmulo do carbono advir do crescimento das árvores já existentes e das árvores que ingressam na floresta ano a ano ao longo do tempo.
- A avaliação do estoque atual permite a comparação entre a opção de exploração visando a erradicação (colheita de todos os indivíduos) e as opções de manejo.

7. RECOMENDAÇÕES

Quanto ao método de seleção das árvores:

- O método do máximo valor presente individual (MVPI) tem como princípio determinar o momento de exploração das árvores de maneira individual e de acordo com o máximo valor presente atingido durante o horizonte de planejamento (HP). Para que o método tenha validade e possa ser aplicado, a construção do mesmo, deve ser realizada o mais próximo possível da realidade. Por este motivo, na projeção do valor presente das árvores durante o HP, diferentes critérios daqueles que foram utilizados nesta pesquisa poderiam ser estabelecidos. Por exemplo, diferentes custos de exploração poderiam compor o valor presente individual como: distância da estrada principal, dificuldade de extração, tempo de extração, custos operacionais em R\$/m³ ou em R\$/hora, entre outros.

Quanto ao controle da espécie em ambientes naturais

- Mais estudos com relação à dinâmica da espécie (crescimento, ingresso e mortalidade) nos ecossistemas naturais contaminados são fundamentais, para que com base nestes conhecimentos sejam geradas alternativas de controle da espécie que ao mesmo tempo sejam eficazes e passíveis de serem aplicadas.

Quanto ao modelo de programação linear para a otimização do manejo.

- Estudos incluindo diversas outras restrições poderiam ser utilizadas nos modelos de otimização do manejo, os quais devem ser definidos pela necessidade do manejador. Por exemplo, poderiam ser estabelecidas restrições na distância (máxima) entre árvores exploradas por ciclo de corte ou restrições na distância máxima das árvores em relação a um ponto médio, para que o custo de exploração fosse minimizado devido ao menor deslocamento de pessoas ou máquinas dentro das florestas.

Quanto à avaliação da prognose do crescimento e da produção

- Estudos relativos à prognose do crescimento podem ser realizados para a uva-do-japão por meio de modelos de projeção diamétrica com base na taxa de regeneração natural e em índices definidos por classe. Conforme proposto nesta pesquisa, durante a avaliação do estoque atual (ano zero), índices por classe diamétrica foram gerados. Estes mesmos índices relevam informações do volume serraria, volume energia e receitas para a árvore média da classe que, por conseguinte, poderiam ser utilizados na quantificação da produção e da receita da classe para cada ano de projeção do crescimento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Coletânea de manejo florestal**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 42 p.

ABREU, E. C. R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**. n. 61, p. 86-102, jun. 2002.

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

ARAUJO, P. A.; SOUZA, A.L.; CAMPOS, J. C.; PAULA NETO, F. Idade relativa como subsídio à determinação de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos. **Revista Árvore**, v.17, n.1, p.100-116, 1993.

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

ARCE, J. E. FlorExel, versão 3.1.2. Suplemento para Microsoft Excel®. Curitiba, 2007

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

ASSIS, A.L. et al. Avaliação de modelos polinomiais não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v.12, n.1, p.89-107, 2002.

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

BARTOSZECK, A. C. P.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dynamics of hipsometric relationship as a function of age, site and initial density in *Mimosa scabrella* stands in the Metropolitan Region of Curitiba, PR. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.

BERGAMIN FILHO, A. Análise matemática de epidemias. In: GALLI, F. (coord.) **Manual de Fitopatologia**. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1978. 373 p.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº11.428 de 22 de dezembro de 2006: Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BRASIL. Decreto Legislativo nº 2, de 1994. Aprova o texto do Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na Cidade do Rio de Janeiro, no período de 5 a 14 de junho de 1992. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 4 fev. 1994. Seção I, p.1693.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº. 278 de 2001. Dispõe contra corte e exploração de espécies ameaçadas de extinção da flora da Mata Atlântica. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=276>>. Acesso em: 15 set. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=597>>. Acesso em: 10 set. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONABIO nº. 05, de 21 de outubro de 2009. Dispõem sobre a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-Invasoras/estrategia-nacional>>. Acesso em: 30 nov. 2014.

BROWN, S.; LUGO, A. E.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 16, n. 2, p. 390-394, 1986.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J.K. **Decision Methods for Forest Resource Management**. San Diego, CA: Academic Press, 2003. 439 p.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J.K. **Forest Management and Economics: A primer in Quantitative Methods**. New York: MacMillan Publishing Company, 1987.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal 1: a produção florestal**. 4. ed. Curitiba: FUPPEF, 1980. 124 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.; **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. atual. ampl. Viçosa: Editora UFV, 2009. 548 p.

CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. A.; ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D. B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v.19, n. 1, p. 96-115, 1989.

CARMINATTI, A. F.; VIANA, M. A. Teste de germinação com a uva-do-japão, testando-se sementes dos três estratos de matrizes porta-sementes. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. v.2, p.678-685.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA -CNPQ, 1994.

CARVALHO, J. O. P. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL. **Tópicos em manejo florestal sustentável**. Colombo: Embrapa-CNPQ, 1997. p. 43-55.

CERDÁ, E.; MARTÍN-BARROSO, D. Optimal control for forest management and conservation analysis in dehesa ecosystems. **European Journal of Operational Research**, v.227, n.3, p.515-526, 2012.

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v.21, p.303-313, 2011.

CIFLOR – **Testing criteria and indicators for the sustainable management of forests**: phase 1, final report. Indonésia, 1996. 72 p.

CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber Management**: a quantitative approach. New York: J. Wiley & Sons, 1983.

CLUTTER, J. L.; JONES, E. P. Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantations. **USDA Forest Service Research Paper (USA)**, SE-217, 1980.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, v. 37, p. 33-44, 1987.

COUTO, H. T. Z.; BATISTA, J. L. F.; RODRIGUES, L. C. E. Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas. **Documentos florestais**, n. 5, p. 1-37, 1989.

COZZO, D. Resultados de las plantaciones florestais com *Hovenia dulcis* en la region Argentina subtropical y húmeda de Misiones. **Revista Forestal Argentina**, v. 4, n. 4, p. 107-117, 1960.

DANIEL, O.; YARED, J. A. G.; **Procedimentos para análise de tronco de espécies florestais**. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1987. 36p.

DELLA FLORA, J.B.; DURLO, M.A; SPATHELF, P. Modelo de incremento para árvores singulares-*Nectandra megaptamica* (Spreng.) Mez. **Ciência Florestal**, 2004, V. 14. n° 1, p. 165- 177.

DIGNER, T.; HILLING, E. **Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg**. In: 2º Encontro anual de iniciação tecnológica e inovação, 2012, Maringá. Disponível em: <http://www.eaic.uem.br/eaic2012/anais/> Acesso em: 12 mar. 2013.

DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. Sostenimiento de los bosques tropicales mediante sistemas de explotación ecológicamente adecuados. **Unasyuva**, v. 43, n. 169, p. 9-15, 1992.

FAO. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **Guidelines for the management of tropical forests**. Rome: FAO, 1998. 239 p.

FERNANDES PINHEIRO. **Plano Diretor de Uso e Ocupação do Solo Municipal de Fernandes Pinheiro**. Fernandes Pinheiro, 2006.

FERREIRA, A. T. B.; **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et golf**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, SP.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 83, p. 39-47, 1996.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; WATZLAWICK, L. F. **Inventário das florestas naturais na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná**. Irati, PR, 2006.

FIGUEIREDO FILHO, A.; NAUIACK, C. H. B.; ROIK, M.; GOMES, G. S. **Inventário das florestas nativas em pequenas propriedades rurais na bacia do Imbituvão, Centro-Sul do Paraná**. Irati, PR: UNICENTRO, 2013. 115p.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Seções de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 465-482, 2006.

FINGER C. A. G.; **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

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

FISCHER, F. et al. Exatidão dos modelos polinomiais não segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.167-188, 2001.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Padrões de certificação do FSC para manejo florestal em terra firme na Amazônia brasileira**. Brasil: Grupo de Trabalho do FSC no Brasil, 2002. 24 p.

GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; RODERJAN, C. V. Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati, PR. **Revista Floresta**, v. 19, n. 1, 1989.

GOLÇALVES, F. A. **Estatística Descritiva**. São Paulo: Altas, 1977.

HIGMAN, S.; MAYERS, J.; BASS, S.; JUDD, N.; NUSSBAUM, R. **The sustainable forest handbook**. London: Earthscan, 2005. 332 p.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. de. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, p.125–153. 1994.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153-165, 1998.

HOSOKAWA, R. T.; DE MOURA, J. B.; DE CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1998.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3.ed. Florida: Krieger Publishing Company, 1993. 402 p.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Portaria IAP nº 125**, de 07 de agosto de 2009. Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras para o Estado do Paraná. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/PORTARIAS/PORTARIA_IAP_125_2009_ESPECIES_EXOTICAS.pdf> Acesso em: 10 set. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil - Região Sul v.2**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1990. 420p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>. Acesso em: 5 mai. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PIB Brasileiro. 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2012/>>. Acesso em: 10 mai. 2014.

INTERNACIONAL TIMBER ORGANIZATION. **Atualização dos critérios para a avaliação de manejo sustentável de florestas tropicais**. Yokihama: ITTO, 1998. 22p. (Série política de desenvolvimento, 7).

JOHNSON, K. N.; SCHEURMAN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives: discussion and synthesis. **Forest Science**, v.18, n.2, p.131-139, 1967.

KIMMINS, J. P. **Forest ecology**. New York: Macmillan, 1987, 531 p.

KOLLER, G.L.; ALEXANDER III, J.H. The raisin tree - its use, hardiness and size. **Arnoldia**, v.39, p.7-15, 1979.

KYRKLUND, B. Como pueden contribuir los bosques y lãs industrias forestales a reducir el exceso de anhídrico em la atmosfera. **Unasyuva**, v. 43, n. 163, p. 12-14, 1990.

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

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, v. 27, n.3, p. 301-310, 2003.

LEUSCHNER, W. A. **Introduction to forest resource management**. New York: John Wiley & Sons, 1984, 297 p.

LONGHI, S.J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no sul do Brasil**. 1980. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MACHADO, S. A. Complete enumeration Forest inventory versus cluster sampling method applied in the Amazonie Rain Forest. **Revista Floresta**, v. 18, n. 1-2, p. 122-130, 1988.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: [s.n.], 2003. v. 1, 309 p.

MARCHANTE, E.; MARCHANTE, H. **Guia prático para a identificação de plantas Invasoras de Portugal Continental**. Coimbra. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2008. 183p.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p.9-25, dez. 2001.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. Text book of wood technology. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

PELLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba, PR: Editorado pelos autores, 1997. 316 p.

PHILLIP, M.S. **Measuring trees and Forests**. Wallingford, UK: CAB international, 1994. 264p.

PIENAAR, M.; SCHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantation in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v. 5, n. 2, p. 59-62, 1981.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1994.

PROBIO. **Levantamento da cobertura vegetal nativa do Bioma Mata Atlântica**: relatório final. Rio de Janeiro: Instituto de Estudos Socioambientais do Sul da Bahia; UFRJ, Instituto de Geociências, 2007. 84 p. Edital PROBIO 03/2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Atlas de desenvolvimento humano no Brasil. 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

Programa Global de Espécies Invasoras (2005) **América do Sul invadida: a crescente ameaça das espécies exóticas invasoras**.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* bentham em povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Revista Floresta**, v. 36, n. 2, 2006.

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

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: Universidade Federal Viçosa, 2001. 389 p.

RIGATTO, P. A.; PEREIRA, J. C. D.; MATTOS, P. P.; SCHAITZA, E. G. **Características Físicas, Químicas e Anatômicas da Madeira de *Hovenia dulcis***. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2001. 4p. (Comunicado Técnico 66).

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, M. L. Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear: uma aplicação da teoria do modelo II. **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p. 193-213, 1998.

RODE, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO, F.; MACHADO, S. A. Comparação florística entre uma floresta ombrófila mista e uma vegetação arbórea estabelecida sob um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 60 anos. **Revista Cerne**, v. 15, n. 01, p. 101-115, 2009.

SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS. **Forestry terminology – a glossary of technical terms used in forestry**. Washington, DC, 1958.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. (Org.). **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. 297 p.

SANTOS, A. J. dos; MÜLLER, A. C. Produtos não-madeireiros e serviços da floresta de araucária. In: SANQUETTA, C. R; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das florestas de araucária**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. 235-264 p.

SAWCZUK, A. R. et al. Alterações na estrutura e na diversidade florística no período 2002-2008 de uma floresta ombrófila mista montana do Centro-Sul do Paraná, Brasil. **Revista Floresta**, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2012.

SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, C. R. Alteração na estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista no período entre 1979 e 2000. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 283-295, 2006.

SCHIMIDT, P.B. **Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de Pinus taeda L.** 1977. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Der Jahrring**. Bern: Verlag Paul Haupt, 1983. 324p.

SCOLFORO, J.R.S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e predição, com otimização de remuneração de capitais, para Pinus caribeeae var hondurensis**. 1990. 289p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SCOLFORO, J. R. S., PULZ, F. A., MELLO, J. M. de. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J.R.S. (org). **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998, p. 189-246.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2006. 64 p.

SCHNEIDER, P.R. et al. Forma de tronco e sortimentos de madeira de Eucalyptus grandis Maiden para o estado do rio grande do sul. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, p.79-88, 1996.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Produção agrícola do Estado do Paraná, 2013 Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137>. Acesso em: 10 de mar.2015.

SECRETARIA DE ESTADO DA FAZENDA DO PARÁ. **Portaria SEFA nº 05**, de 27 de janeiro de 2015. Regulamenta os preços mínimos de mercado para diferentes espécie madeiras para o Estado do Pará, 2013. Disponível em: <http://www.sefa.pa.gov.br/legislacao/interna/portaria/ps2015_00005.pdf> Acesso em: 20 de mar. 2015.

SILVA, J. N. M. **Manejo florestal**. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 46 p.

SOARES, C. P. B., PAULA NETO, F., SOUSA, A.L. **Dendrometria e inventário Florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 276 p.

SOARES, C. P. B. et al. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1039-1051, 2011.

SOUZA, A. L.; ARAUJO, P.A.; CAMPOS, J.C.; PAULA NETO, F. Dinâmica de crescimento em diâmetro de uma floresta primária sem interferência: uma análise pelo tempo de passagem entre classes diamétricas. **Revista árvore**, v. 17, n. 2, p. 129-145, 1993.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2013. 322p.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 71 p. 2000.

SPURR, S. H. *Forest Inventory*. New York. Ronald Press, 1952. 476p.

SOCIEDADE BRASILEIRA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. **Manual para recuperação da reserva florestal legal**. Curitiba: FNMA. 1996. 84 p.

STEPKA, T. F. et al. Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 327, 2010.

STERBA, H. Determining parameters of competition models under changing environmental conditions. **Mathematical Modelling of forest Ecosystems**. Eds. J Franke and A Roeder. JD Sauerländer, Frankfurt/Main, 1992.

STURGES H. A. The choice of a class interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.

TAHA, H.A. **Investigación de operaciones**. 5ed. México: Alfaomega, 1995. 960 p.

URBANO, E. **Quantificação e estimativa da biomassa aérea e do carbono fixado em árvores de bracingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 2007. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

VALERIO, A. F. et al. Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa nos distintos componentes de uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thunb.). **AMBIÊNCIA**, v. 3, n. 3, p. 325-336, 2009.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests**. Wallingford: CAB International. 1994.

VIBRANS, A. D et al. Inventário florístico florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 291, 2010.

APÊNDICES

Apêndice 1. Projeções do ICA e do IMA para as árvores com DAP entre 10 cm e 13 cm no ano zero do HP.

N° Árv	Ano										IMA (cm)
	ICA (cm)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1,29	1,26	1,23	1,19	1,16	1,13	1,10	1,07	1,04	1,02	1,15
2	1,29	1,26	1,23	1,19	1,16	1,13	1,10	1,07	1,04	1,02	1,15
3	1,29	1,26	1,23	1,19	1,16	1,13	1,10	1,07	1,04	1,02	1,15
4	1,29	1,26	1,22	1,19	1,16	1,13	1,10	1,07	1,04	1,01	1,15
5	1,29	1,26	1,22	1,19	1,16	1,13	1,10	1,07	1,04	1,01	1,15
146	1,22	1,18	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,01	0,98	0,95	1,08
147	1,22	1,18	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,01	0,98	0,95	1,08
148	1,22	1,18	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,01	0,98	0,95	1,08
149	1,22	1,18	1,15	1,12	1,09	1,06	1,03	1,01	0,98	0,95	1,08
150	1,21	1,18	1,15	1,12	1,09	1,06	1,03	1,01	0,98	0,95	1,08
Média	1,25	1,22	1,18	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,01	0,98	1,11

Apêndice 2. Projeções do ICA e do IMA para as árvores com DAP maior do que 37 cm no ano zero do HP.

N° Árv	Ano										IMA (cm)
	ICA (cm)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
886	0,57	0,56	0,54	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48	0,46	0,45	0,51
887	0,57	0,56	0,54	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48	0,46	0,45	0,51
888	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,51
889	0,56	0,55	0,53	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,50
890	0,56	0,55	0,53	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,50
891	0,55	0,54	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,45	0,43	0,49
892	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,43	0,48
893	0,54	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,48
894	0,54	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,48
895	0,54	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,48
896	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42	0,47
897	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,46
898	0,52	0,50	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,46
899	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,41	0,40	0,45
900	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,43
901	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,42
902	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,42
903	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,39
904	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,36
Média	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,46

Apêndice 3. Dinâmica do ingresso para o horizonte de planejamento e para a floresta regulada com ciclos de corte a cada 2 anos independentemente do método.

N° Arv	ANO	Horizonte de planejamento										Floresta Regulada											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12*	13	14*	15	16*	17	18*	19	20*	21	22*
80	1	8,5	10,6	12,9	15,4	18,1	21,0	23,9	27,1	30,3	33,7	37,1	28,0 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87	2	-	9,2	11,5	14,0	16,8	19,7	22,8	26,0	29,4	33,0	36,6	40,4 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
78	3	-	-	8,3	10,3	12,6	15,0	17,7	20,4	23,3	26,4	29,6	32,8	36,2	27,3 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
85	4	-	-	-	9,0	11,3	13,7	16,4	19,2	22,3	25,4	28,8	32,2	35,8	39,4 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
77	5	-	-	-	-	8,2	10,2	12,4	14,8	17,4	20,2	23,1	26,1	29,2	32,4	35,7	27,0 ¹	-	-	-	-	-	-
84	6	-	-	-	-	-	8,9	11,1	13,6	16,2	19,0	22,0	25,1	28,4	31,8	35,3	39,0 ¹	-	-	-	-	-	-
75	7	-	-	-	-	-	-	8,0	9,9	12,1	14,5	17,0	19,6	22,5	25,4	28,4	31,6	34,8	26,3 ¹	-	-	-	-
82	8	-	-	-	-	-	-	-	8,7	10,9	13,2	15,8	18,6	21,5	24,5	27,7	31,1	34,5	38,0 ¹	-	-	-	-
73	9	-	-	-	-	-	-	-	-	7,7	9,7	11,8	14,1	16,5	19,1	21,9	24,7	27,7	30,7	33,9	25,6 ¹	-	
79	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,4	10,5	12,8	15,2	17,9	20,7	23,6	26,7	29,9	33,2	36,6 ¹	-	
70	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	15,8	18,3	21,0	23,7	26,5	29,5	32,5	
77	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	10,2	12,4	14,8	17,4	20,2	23,1	26,1	29,2	32,4	
70	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	15,8	18,3	21,0	23,7	26,5	
77	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	10,2	12,4	14,8	17,4	20,2	23,1	26,1	
70	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	15,8	18,3	21,0	23,7	
77	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	10,2	12,4	14,8	17,4	20,2	23,1	
70	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	15,8	18,3	
77	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	10,2	12,4	14,8	17,4	
70	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	
77	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	10,2	
70	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	
77	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	
Volume Total		8,5	19,8	32,7	48,8	66,9	88,5	112	140	170	203	240	267	234	261	229	256	224	251	220	247	218	245

*ano de intervenção.¹ volume explorado no ano de intervenção.

Apêndice 4. Resultados do regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte a cada 2 anos.

ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
1	-	-	-	-	395,08	8,49	403,58	129,14	-
2	181	8.260	118,36	36,20	315,82	19,84	335,66	107,41	6,27
3	-	-	-	-	348,53	32,73	381,26	122,00	-
4	181	7.579	114,89	41,64	267,23	48,84	316,06	101,14	7,21
5	-	-	-	-	292,63	66,92	359,55	115,06	-
6	181	7.581	112,81	55,20	205,78	88,54	294,33	94,18	9,56
7	-	-	-	-	223,17	112,32	335,49	107,36	-
8	181	7.551	123,32	64,68	117,55	139,85	257,40	82,37	11,20
9	-	-	-	-	126,46	169,73	296,19	94,78	-
10	180	7.611	135,48	76,93	0,00	203,43	203,43	65,10	13,32
Total	904	38.583	604,86	274,65	-	-	-	-	47,55
11	-	-	-	-	-	239,57	239,57	76,66	-
12	147	-	68,37	-	-	198,73	198,73	63,59	-
13	-	-	-	-	-	234,18	234,18	74,94	-
14	147	-	66,75	-	-	194,55	194,55	62,26	-
15	-	-	-	-	-	229,42	229,42	73,41	-
16	147	-	65,93	-	-	190,14	190,14	60,84	-
17	-	-	-	-	-	224,45	224,45	71,82	-
18	147	-	64,30	-	-	186,55	186,55	59,69	-
19	-	-	-	-	-	220,45	220,45	70,54	-
20	147	-	62,21	-	-	184,53	184,53	59,05	-
21	-	-	-	-	-	218,21	218,21	69,83	-
22	147	-	60,23	-	-	184,53	184,53	59,05	-
Total	1.786	-	992,66	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada.

Apêndice 5. Resultados do regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte a cada 2 anos.

ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
1	-	-	-	-	395,08	8,49	403,58	129,14	-
2	181	13.485	172,79	67,81	261,39	19,84	281,23	89,99	11,74
3	-	-	-	-	292,23	32,73	324,95	103,99	-
4	181	4.994	81,48	24,98	242,64	48,84	291,48	93,27	4,32
5	-	-	-	-	267,31	66,92	334,24	106,96	-
6	181	5.930	93,25	41,04	199,37	88,54	287,92	92,13	7,11
7	-	-	-	-	216,48	112,32	328,80	105,21	-
8	181	4.068	78,93	29,52	154,98	139,85	294,83	94,35	5,11
9	-	-	-	-	164,42	169,73	334,15	106,93	-
10	180	10.017	173,90	103,13	0,00	203,43	203,43	65,10	17,85
Total	904	38.494	600,35	266,48	-	-	-	-	46,13
11	-	-	-	-	-	239,57	239,57	76,66	-
12	147	-	68,37	-	-	198,73	198,73	63,59	-
13	-	-	-	-	-	234,18	234,18	74,94	-
14	147	-	66,75	-	-	194,55	194,55	62,26	-
15	-	-	-	-	-	229,42	229,42	73,41	-
16	147	-	65,93	-	-	190,14	190,14	60,84	-
17	-	-	-	-	-	224,45	224,45	71,82	-
18	147	-	64,30	-	-	186,55	186,55	59,69	-
19	-	-	-	-	-	220,45	220,45	70,54	-
20	147	-	62,21	-	-	184,53	184,53	59,05	-
21	-	-	-	-	-	218,21	218,21	69,83	-
22	147	-	60,23	-	-	184,53	184,53	59,05	-
Total	1.786		992,66	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada.

Apêndice 6. Resultados do regime de manejo MaxR com ciclos de corte a cada 3 anos.

	ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
Horizonte de planejamento	1	226	16.716	194,88	81,19	200,20	8,49	208,70	66,78	14,06
	2	-	-	-	-	227,59	17,71	245,30	78,50	-
	3	-	-	-	-	256,13	29,55	285,68	91,42	-
	4	226	8.470	119,06	50,51	166,67	44,31	210,98	67,51	8,74
	5	-	-	-	-	186,48	60,30	246,78	78,97	-
	6	-	-	-	-	206,93	79,35	286,28	91,61	-
	7	226	8.418	132,83	65,81	95,09	101,74	196,84	62,99	11,39
	8	-	-	-	-	105,34	125,73	231,07	73,94	-
	9	-	-	-	-	115,86	153,11	268,97	86,07	-
	10	226	6.508	126,61	61,19	-	184,12	184,12	58,92	10,59
Total	904	40.112	573,38	258,70	-	-	-	-	-	44,79
Floresta Regulada	11	-	-	-	-	-	216,97	216,97	69,43	-
	12	-	-	-	-	-	240,83	240,83	77,06	-
	13	210	-	86,98	-	-	181,60	181,60	58,11	-
	14	-	-	-	-	-	214,10	214,10	68,51	-
	15	-	-	-	-	-	237,73	237,73	76,07	-
	16	210	-	85,80	-	-	179,48	179,48	57,43	-
	17	-	-	-	-	-	211,71	211,71	67,75	-
	18	-	-	-	-	-	235,22	235,22	75,27	-
	19	210	-	84,61	-	-	178,04	178,04	56,97	-
	20	-	-	-	-	-	210,10	210,10	67,23	-
	21	-	-	-	-	-	233,60	233,60	74,75	-
	22	210	-	83,43	-	-	177,62	177,62	56,84	-
Total	1.744	-	914,20	-	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada

Apêndice 7. Dinâmica do ingresso para o horizonte de planejamento e para a floresta regulada com ciclos de corte a cada 3 anos independentemente do método.

N° Arv	ANO	Horizonte de planejamento										Floresta Regulada											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13*	14	15	16*	17	18	19*	20	21	22*
80	1	8,5	10,6	12,9	15,4	18,1	21,0	23,9	27,1	30,3	33,7	37,1	28,0	29,7 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	
67	2	-	7,1	8,9	10,8	12,9	15,2	17,6	20,1	22,7	25,4	28,2	31,1	23,5 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	
73	3	-	-	7,7	9,7	11,8	14,1	16,5	19,1	21,9	24,7	27,7	30,7	33,9 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	
79	4	-	-	-	8,4	10,5	12,8	15,2	17,9	20,7	23,6	26,7	29,9	33,2	36,6	27,7	29,3 ¹	-	-	-	-	-	
66	5	-	-	-	-	7,0	8,7	10,7	12,7	14,9	17,3	19,8	22,3	25,0	27,8	30,6	23,1 ¹	-	-	-	-	-	
72	6	-	-	-	-	-	7,6	9,5	11,6	13,9	16,3	18,9	21,6	24,4	27,3	30,3	33,4 ¹	-	-	-	-	-	
78	7	-	-	-	-	-	-	8,3	10,3	12,6	15,0	17,7	20,4	23,3	26,4	29,6	32,8	36,2	27,3	28,9 ¹	-	-	
65	8	-	-	-	-	-	-	-	6,9	8,6	10,5	12,5	14,7	17,0	19,5	22,0	24,6	27,4	30,2	22,8 ¹	-	-	
71	9	-	-	-	-	-	-	-	-	7,5	9,4	11,5	13,7	16,1	18,6	21,3	24,0	26,9	29,9	32,9 ¹	-	-	
77	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	10,2	12,4	14,8	17,4	20,2	23,1	26,1	29,2	32,4	35,7	27,0	
64	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8	8,5	10,3	12,3	14,5	16,8	19,2	21,7	24,3	26,9	29,7	
70	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	15,8	18,3	21,0	23,7	26,5	29,5	
76	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,1	10,1	12,3	14,7	17,2	19,9	22,8	25,7	28,8	
64	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8	8,5	10,3	12,3	14,5	16,8	19,2	21,7	
70	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	15,8	18,3	21,0	
76	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,1	10,1	12,3	14,7	17,2	19,9	
64	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8	8,5	10,3	12,3	14,5	
70	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	9,3	11,3	13,5	
76	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,1	10,1	12,3	
64	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8	8,5	
70	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	
76	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,1	
Volume Total		8	18	30	44	60	79	102	126	153	184	217	241	269	214	238	265	212	235	263	210	234	261

*ano de intervenção.¹ volume explorado no ano de intervenção.

Apêndice 8. Resultados do regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte a cada 3 anos.

ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m³)	Vol. Exp. Ser. (m³)	Est. 904 Árv. (m³)	Est. Ing. (m³)	Est. Total (m³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
1	226	9.637	127,17	40,49	267,91	8,49	276,40	88,45	7,01
2	-	-	-	-	297,92	17,71	315,63	101,00	0,00
3	-	-	-	-	328,83	29,55	358,38	114,68	0,00
4	226	9.603	139,10	55,51	221,46	44,31	265,77	85,05	9,61
5	-	-	-	-	242,62	60,30	302,91	96,93	0,00
6	-	-	-	-	264,25	79,35	343,60	109,95	0,00
7	226	9.570	148,93	75,71	137,37	101,74	239,11	76,52	13,11
8	-	-	-	-	148,45	125,73	274,17	87,74	0,00
9	-	-	-	-	159,69	153,11	312,80	100,09	0,00
10	226	9.590	171,07	96,77	0,00	184,12	184,12	58,92	16,75
Total	904	38.399	586,27	268,48	-	-	-	-	46,48
11	-	-	-	-	-	216,97	216,97	69,43	-
12	-	-	-	-	-	240,83	240,83	77,06	-
13	210	-	86,98	-	-	181,60	181,60	58,11	-
14	-	-	-	-	-	214,10	214,10	68,51	-
15	-	-	-	-	-	237,73	237,73	76,07	-
16	210	-	85,80	-	-	179,48	179,48	57,43	-
17	-	-	-	-	-	211,71	211,71	67,75	-
18	-	-	-	-	-	235,22	235,22	75,27	-
19	210	-	84,61	-	-	178,04	178,04	56,97	-
20	-	-	-	-	-	210,10	210,10	67,23	-
21	-	-	-	-	-	233,60	233,60	74,75	-
22	210	-	83,43	-	-	177,62	177,62	56,84	-
Total	1.744	-	927,09	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada.

Apêndice 9. Resultados do regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte a cada 3 anos.

ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
1	226	16.485	193,23	79,62	201,86	8,49	210,35	67,31	13,78
2	-	-	-	-	229,29	17,71	247,00	79,04	0,00
3	-	-	-	-	257,87	29,55	287,42	91,97	0,00
4	226	6.499	99,95	35,10	187,55	44,31	231,85	74,19	6,08
5	-	-	-	-	207,98	60,30	268,28	85,85	0,00
6	-	-	-	-	228,99	79,35	308,34	98,67	0,00
7	226	6.133	107,33	43,46	143,16	101,74	244,90	78,37	7,52
8	-	-	-	-	154,48	125,73	280,21	89,67	0,00
9	-	-	-	-	165,94	153,11	319,05	102,10	0,00
10	226	10.001	177,53	101,30	0,00	184,12	184,12	58,92	17,54
Total	904	39.119	578,04	259,48	-	-	-	-	44,92
11	-	-	-	-	-	216,97	216,97	69,43	-
12	-	-	-	-	-	240,83	240,83	77,06	-
13	210	-	86,98	-	-	181,60	181,60	58,11	-
14	-	-	-	-	-	214,10	214,10	68,51	-
15	-	-	-	-	-	237,73	237,73	76,07	-
16	210	-	85,80	-	-	179,48	179,48	57,43	-
17	-	-	-	-	-	211,71	211,71	67,75	-
18	-	-	-	-	-	235,22	235,22	75,27	-
19	210	-	84,61	-	-	178,04	178,04	56,97	-
20	-	-	-	-	-	210,10	210,10	67,23	-
21	-	-	-	-	-	233,60	233,60	74,75	-
22	210	-	83,43	-	-	177,62	177,62	56,84	-
Total	1.744		918,85	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada.

Apêndice 10. Resultados do regime de manejo MaxR com ciclos de corte a cada 4 anos.

ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
1	-	-	-	-	395,08	8,49	403,58	129,14	0,00
2	302	19.396	242,52	100,09	191,66	19,84	211,50	67,68	17,33
3	-	-	-	-	216,70	31,67	248,37	79,48	0,00
4	-	-	-	-	242,70	46,34	289,05	92,50	0,00
5	-	-	-	-	269,57	64,17	333,74	106,80	0,00
6	301	11.519	176,69	81,63	120,53	85,56	206,09	65,95	14,13
7	-	-	-	-	134,02	108,07	242,10	77,47	0,00
8	-	-	-	-	147,90	134,03	281,92	90,22	0,00
9	-	-	-	-	162,10	163,77	325,87	104,28	0,00
10	301	9.149	176,60	86,62	0,00	197,59	197,59	63,23	15,00
Total	904	40.065	592,00	268,34	-	-	-	-	46,46
11	-	-	-	-	233,00	233,00	74,56	233,00	-
12	-	-	-	-	259,65	259,65	83,09	259,65	-
13	-	-	-	-	287,40	287,40	91,97	287,40	-
14	315	-	121,63	-	198,67	198,67	63,57	198,67	-
15	-	-	-	-	234,27	234,27	74,97	234,27	-
16	-	-	-	-	261,13	261,13	83,56	261,13	-
17	-	-	-	-	289,09	289,09	92,51	289,09	-
18	315	-	121,63	-	200,59	200,59	64,19	200,59	-
19	-	-	-	-	236,44	236,44	75,66	236,44	-
20	-	-	-	-	263,38	263,38	84,28	263,38	-
21	-	-	-	-	291,42	291,42	93,25	291,42	-
22	315	-	123,20	-	201,39	201,39	64,45	201,39	-
Total	1.849	-	962,67	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada.

Apêndice 11. Dinâmica do ingresso para o horizonte de planejamento e para a floresta regulada com ciclos de corte a cada 4 anos independentemente do método.

N° Arv	ANO	Horizonte de planejamento										Floresta Regulada											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15	16	17	18*	19	20	21	22*
80	1	8,5	10,6	12,9	15,4	18,1	21,0	23,9	27,1	30,3	33,7	37,1	28,0	29,7	31,2 ¹	-	-	-	-	-	-	-	
67	2	-	9,2	11,5	14,0	16,8	19,7	22,8	26,0	29,4	33,0	36,6	40,4	30,5	32,2 ¹	-	-	-	-	-	-	-	
73	3	-	-	7,2	9,0	11,0	13,1	15,4	17,8	20,4	23,0	25,8	28,6	31,5	23,8 ¹	-	-	-	-	-	-	-	
79	4	-	-	-	7,9	9,8	12,0	14,3	16,8	19,4	22,2	25,0	28,0	31,1	34,3 ¹	-	-	-	-	-	-	-	
66	5	-	-	-	-	8,5	10,6	12,9	15,4	18,1	21,0	23,9	27,1	30,3	33,7	37,1	28,0	29,7	31,2 ¹	-	-	-	
72	6	-	-	-	-	-	9,2	11,5	14,0	16,8	19,7	22,8	26,0	29,4	33,0	36,6	40,4	30,5	32,2 ¹	-	-	-	
78	7	-	-	-	-	-	-	7,2	9,0	11,0	13,1	15,4	17,8	20,4	23,0	25,8	28,6	31,5	23,8 ¹	-	-	-	
65	8	-	-	-	-	-	-	-	7,9	9,8	12,0	14,3	16,8	19,4	22,2	25,0	28,0	31,1	34,3 ¹	-	-	-	
71	9	-	-	-	-	-	-	-	-	8,6	10,7	13,1	15,6	18,3	21,2	24,2	27,4	30,7	34,1	37,6	28,4	30,0	31,6 ¹
77	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,3	11,7	14,2	17,0	19,9	23,1	26,3	29,8	33,3	37,0	40,8	30,8	32,6 ¹
64	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,3	9,1	11,1	13,3	15,6	18,1	20,7	23,3	26,1	29,0	32,0	24,2 ¹
70	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	9,9	12,1	14,5	17,0	19,6	22,5	25,4	28,4	31,6	34,8 ¹
76	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,7	10,9	13,2	15,8	18,6	21,5	24,5	27,7	31,1	34,5
64	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,4	11,8	14,4	17,2	20,1	23,3	26,6	30,1	33,7
70	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,3	9,1	11,1	13,3	15,6	18,1	20,7	23,3
76	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	9,9	12,1	14,5	17,0	19,6	22,5
64	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,7	10,9	13,2	15,8	18,6	21,5
70	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,4	11,8	14,4	17,2	20,1
76	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,3	9,1	11,1	13,3
64	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	9,9	12,1
70	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,7	10,9
76	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,4
Volume Total		8	20	32	46	64	86	108	134	164	198	233	260	287	320	234	261	289	322	236	263	291	325

*ano de intervenção.¹ volume explorado no ano de intervenção.

Apêndice 12. Resultados do regime de manejo MaxR_B com ciclos de corte a cada 4 anos.

ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
1	-	-	-	-	395,08	8,49	403,58	129,14	0,00
2	301	12.700	180,51	56,29	253,67	19,84	273,51	87,52	9,75
3	-	-	-	-	280,91	31,67	312,58	100,03	0,00
4	-	-	-	-	308,91	46,34	355,26	113,68	0,00
5	-	-	-	-	337,58	64,17	401,75	128,56	0,00
6	301	12.845	195,10	91,84	171,75	85,56	257,31	82,34	15,90
7	-	-	-	-	186,33	108,18	294,51	94,24	0,00
8	-	-	-	-	201,17	134,27	335,44	107,34	0,00
9	-	-	-	-	216,23	164,07	380,30	121,70	0,00
10	302	12.899	231,48	129,58	0,00	197,94	197,94	63,34	22,43
Total	904	38.444	607,08	277,71	-	-	-	-	48,08
11	-	-	-	-	233,00	233,00	74,56	233,00	-
12	-	-	-	-	259,65	259,65	83,09	259,65	-
13	-	-	-	-	287,40	287,40	91,97	287,40	-
14	315	-	121,63	-	198,67	198,67	63,57	198,67	-
15	-	-	-	-	234,27	234,27	74,97	234,27	-
16	-	-	-	-	261,13	261,13	83,56	261,13	-
17	-	-	-	-	289,09	289,09	92,51	289,09	-
18	315	-	121,63	-	200,59	200,59	64,19	200,59	-
19	-	-	-	-	236,44	236,44	75,66	236,44	-
20	-	-	-	-	263,38	263,38	84,28	263,38	-
21	-	-	-	-	291,42	291,42	93,25	291,42	-
22	315	-	123,20	-	201,39	201,39	64,45	201,39	-
Total	1.849	-	962,67	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada.

Apêndice 13. Resultados do regime de manejo MaxR_C com ciclos de corte a cada 4 anos.

ANO	Nº de Árv. Exp.	Receita (R\$)	Vol. Exp. Total (m ³)	Vol. Exp. Ser. (m ³)	Est. 904 Árv. (m ³)	Est. Ing. (m ³)	Est. Total (m ³)	C. Total (t)	C. M. B. (t)
1	-	-	-	-	395,08	8,49	403,58	129,14	0,00
2	301	19.396	242,52	100,09	191,66	19,84	211,50	67,68	17,33
3	-	-	-	-	216,70	31,67	248,37	79,48	0,00
4	-	-	-	-	242,70	46,34	289,05	92,50	0,00
5	-	-	-	-	269,57	64,17	333,74	106,80	0,00
6	301	10.546	166,80	72,59	130,42	85,56	215,98	69,11	12,57
7	-	-	-	-	144,16	108,07	252,23	80,71	0,00
8	-	-	-	-	158,24	134,03	292,27	93,53	0,00
9	-	-	-	-	172,63	163,77	336,40	107,65	0,00
10	302	9.982	187,30	96,79	0,00	197,59	197,59	63,23	16,76
Total	904	39.924	596,61	269,47	-	-	-	-	46,65
11	-	-	-	-	233,00	233,00	74,56	233,00	-
12	-	-	-	-	259,65	259,65	83,09	259,65	-
13	-	-	-	-	287,40	287,40	91,97	287,40	-
14	315	-	121,63	-	198,67	198,67	63,57	198,67	-
15	-	-	-	-	234,27	234,27	74,97	234,27	-
16	-	-	-	-	261,13	261,13	83,56	261,13	-
17	-	-	-	-	289,09	289,09	92,51	289,09	-
18	315	-	121,63	-	200,59	200,59	64,19	200,59	-
19	-	-	-	-	236,44	236,44	75,66	236,44	-
20	-	-	-	-	263,38	263,38	84,28	263,38	-
21	-	-	-	-	291,42	291,42	93,25	291,42	-
22	315	-	123,20	-	201,39	201,39	64,45	201,39	-
Total	1.849	-	963,06	-	-	-	-	-	-

Nº Arv. Exp.: número de árvores exploradas; Vol. Exp. Total: volume explorado total; Vol. Exp. Ser.: volume explorado serraria; Est. Ing.: estoque do ingresso acumulado; Est. Total: estoque total acumulado; C. Total: estoque do carbono acumulado; C. M. B.: estoque do carbono na madeira beneficiada