

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO
EM CLASSES DE DIÂMETRO PARA PLANTIOS DE
*Eucalyptus grandis***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FABIANE APARECIDA DE SOUZA RETSLAFF

IRATI - PR

2010

FABIANE APARECIDA DE SOUZA RETSLAFF

**MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM CLASSES DE DIÂMETRO
PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus grandis***

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof^o. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Orientador

Prof^a. Dr^a. Andrea Nogueira Dias

Coorientadora

IRATI - PR

2010

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO - *Campus* de Irati

R438m RETSLAFF, Fabiane Aparecida de Souza
Modelagem do crescimento e produção em classes de diâmetro para plantio de *Eucalyptus grandis* / Fabiane Aparecida de Souza Restslaff – Irati, PR : UNICENTRO, 2010.

168p.

ISBN

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR

Orientador : Professor Dr. Afonso Figueiredo Filho

Co-Orientador : Professora Dr^a. Andrea Nogueira Dias

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Eucalipto *grandis*.
3. Função Weibull. 4. Manejo Florestal. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Dias, Andrea Nogueira. III. Título.

CDD 20^a ed. 583.42



Universidade Estadual do Centro-Oeste

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

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

PARECER

Defesa Nº 15

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 a mestranda **Fabiane Aparecida de Souza Retslaff** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM CLASSES DE DIÂMETRO PARA PLANTIOS DE *Eucalyptus grandis*", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 20 de dezembro de 2010.

Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador

Dr. Julio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná
Segundo Examinador

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

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

A toda minha família em especial ao meu avô, Antônio Retslaff (*in memoriam*).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e à N. Sra. Aparecida, por me iluminarem e me darem forças nos momentos mais difíceis, por nunca me deixarem desistir por mais difícil que fosse a tarefa, e sempre atender aos meus pedidos na busca por uma solução nos problemas encontrados durante esta etapa.

Aos meus pais, Luis e Ilza, pelo amor, carinho, compreensão e incentivo.

Ao Professor Afonso Figueiredo Filho, pela orientação, amizade, pelos “puxões de orelha”, pela confiança e incentivo no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

À Professora Andrea N. Dias pela coorientação, amizade, incentivo e confiança.

Ao meu namorado, Éverton Guimarães, pelo amor, carinho, confiança, compreensão nos momentos de *stress* e incentivo nos momentos difíceis.

À Empresa Klabin S. A. pela disponibilização dos dados, em especial aos Eng. Florestais Luiz Gastão Bernett e Marco A. Figura pela ajuda e esclarecimentos a respeito dos dados.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

As minhas irmãs, Franciane e Franciéle, pelo carinho, confiança, incentivo e amizade.

Aos meus amigos, Mahayana Ferronato, Diego Venâncio, Felipe Martins, Thiago Woiciechowski, William Folmann, Rodrigo Miranda, Gustavo Pottker em especial aos meus amigos João Luiz Felde e Flávio Nascimento pela valiosa ajuda na utilização de *software* e na solução dos mais diversos problemas ao longo desta etapa.

Ao Professor Artur pela ajuda na elaboração da planilha para o ajuste da função Weibull.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e a todos os meus professores desde o primário, que é graças aos ensinamentos e incentivos recebidos ao longo dos anos nos bancos escolares, que foi possível a realização de mais esta etapa.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Nilce Flávia B. dos Santos, pela amizade, ajuda e atenção.

À toda minha família, em especial a minha avó Sirley e aos meus tios Marta e Zeno que me acolheram de braços abertos quando cheguei em Irati para iniciar a graduação.

Ao Hércules do setor de informática, pela ajuda na formatação da dissertação.

Enfim, a todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. GERAL	3
2.2. ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO <i>Eucalyptus grandis</i> W. HILL EX MAIDEN	4
3.2. O EUCALIPTO E SEU MANEJO	5
3.2.1. Densidades iniciais (espaçamento).....	7
3.2.2. Desbastes.....	8
3.2.3. Desrama ou poda	10
3.2.4. Ciclos de cortes empregados.....	11
3.3. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL	12
3.4. MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	14
3.5. MODELOS DE PRODUÇÃO EM CLASSES DE DIÂMETRO	16
3.5.1. Distribuições contínuas.....	19
3.5.2. A Distribuição Weibull.....	20
3.6. MODELAGEM PARA PLANTAÇÕES DESBASTADAS.....	24
3.7. TESTES PARA AVALIAÇÃO DO AJUSTE DAS DISTRIBUIÇÕES.....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. ORIGEM E DETALHAMENTO DOS DADOS	30
4.2. PROCESSOS DE SIMULAÇÃO.....	31
4.3. ETAPA PRELIMINAR	33
4.3.1. Equação hipsométrica.....	34
4.3.2. Desenvolvimento de curvas de sítio	34
4.3.3. Funções de afilamento	35
4.4. ANÁLISE E SELEÇÃO DOS MODELOS	38
4.5. PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FUNÇÃO WEIBULL.....	39
4.5.1. Método dos Momentos	39

4.6. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PREDIÇÃO DE ATRIBUTOS	42
4.6.1. Desenvolvimento de modelos de sobrevivência (N)	42
4.6.2. Modelos para área basal (G)	43
4.6.3. Modelos para estimar Diâmetro mínimo (D_{\min}).....	44
4.6.4. Modelos para estimar a variância dos diâmetros (S^2d).....	45
4.6.5. Modelos para estimar diâmetro máximo (D_{\max}).....	46
4.7. DESBASTES.....	47
4.7.1. Alternativa 1.....	47
4.7.2. Alternativa 2.....	48
4.8. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PROJEÇÃO DE ATRIBUTOS	54
4.8.1. Área basal.....	55
4.8.2. Variância dos diâmetros	55
4.8.3. Diâmetro Mínimo	56
4.8.4. Diâmetro médio aritmético	56
4.8.5. Diâmetro médio quadrático.....	57
4.8.6. Diâmetro Máximo	58
4.9. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CLASSES DE DIÂMETRO OBTIDAS ANTES E DEPOIS DE CADA INTERVENÇÃO	58
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1. ETAPA PRELIMINAR	60
5.1.1. Equação hipsométrica.....	60
5.1.2. Curvas de sítio.....	61
5.2. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PREDIÇÃO DE ATRIBUTOS	65
5.2.1. Sobrevivência.....	66
5.2.2. Área basal.....	66
5.2.3. Diâmetro mínimo (D_{\min})	67
5.2.4. Variância dos diâmetros (S^2d).....	68
5.2.5. Diâmetro máximo (D_{\max}).....	68
5.3. DESBASTES.....	69
5.3.1. Alternativa 1.....	69
5.3.2. Alternativa 2.....	71
5.4. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PROJEÇÃO DE ATRIBUTOS	80
5.4.1. Área basal projetada (G_2).....	81

5.4.2. Variância dos diâmetros (S^2d_2).....	82
5.4.3. Diâmetro mínimo projetado ($D_{\min 2}$)	82
5.4.4. Diâmetro médio projetado (\bar{d}_2).....	83
5.4.5. Diâmetro médio quadrático projetado (dg_2)	83
5.4.6. Diâmetro máximo projetado ($D_{\max 2}$).....	83
5.5. ESTIMATIVAS DOS ATRIBUTOS PARA RECUPERAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FUNÇÃO WEIBULL NAS IDADES DE DESBASTES E CORTE FINAL.....	84
5.5.1. Recuperação dos parâmetros da função Weibull por índice de sítio imediatamente antes do primeiro desbaste.....	84
5.5.2. Simulação do primeiro desbaste para as estimativas por índices de sítio	88
5.5.3. Projeção dos atributos necessários para recuperação dos parâmetros da função Weibull na idade do segundo desbaste (D2)	93
5.5.4. Simulação do segundo desbaste (D2).....	97
5.5.5. Projeção dos atributos necessários para recuperação dos parâmetros da função Weibull na idade do corte final (CF).....	99
6. CONCLUSÕES	104
7. REFERÊNCIAS	106
ANEXOS.....	112
ANEXO 1: Tabelas com estimativas dos parâmetros dos modelos testados dos sistema de predição.....	113
ANEXO 2: Gráficos de dispersão de resíduos para os modelos do sistema de predição... 118	
ANEXO 3: Gráficos dos desbastes obtidos com a equação de desbaste.....	123
ANEXO 4: Tabelas com estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar os parâmetros da função Weibull depois dos desbastes.....	125
ANEXO 5: Gráficos de dispersão de resíduos para os modelos da Alternativa 2 para simular desbaste	131
ANEXO 6: Gráficos da distribuição diamétrica estimada depois dos desbastes por meio da Alternativa 2 para simular desbastes	137
ANEXO 7: Tabelas com estimativas dos parâmetros dos modelos testados dos sistema de predição.....	140
ANEXO 8: Gráficos de dispersão de resíduos para os modelos do sistema de projeção... 145	
ANEXO 9: Tabelas de produção estimadas para cada índice de sítio imediatamente antes do D1	149
ANEXO 10: Tabelas com estimativas dos valores removidos na simulação do primeiro desbaste.....	152
ANEXO 11: Gráficos das distribuições diamétricas removidas no primeiro desbaste e distribuições remanescentes.....	155

ANEXO 12: Tabelas de produção estimadas para cada índice de sítio imediatamente antes do D2.....	161
ANEXO 13: Tabelas com estimativas dos valores removidos na simulação do segundo desbaste.....	163
ANEXO 14: Gráficos da distribuição diamétrica estimada antes e depois do segundo desbaste.....	165
ANEXO 15: Tabelas de produção estimadas para cada índice de sítio imediatamente antes do CF.....	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo do número de parcelas utilizadas em cada etapa do processo de modelagem.....	31
Tabela 2. Modelos testados para estimar altura total (m).....	34
Tabela 3. Modelos matemáticos para construção das curvas de Índice de Sítio	35
Tabela 4. Resultados das estimativas dos parâmetros do Polinômio de 5º Grau cedidos pela empresa Klabin, com respectivos coeficientes de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}), para cada regime de manejo e para cada faixa de DAP.....	37
Tabela 5. Modelos de sobrevivência testados.....	43
Tabela 6. Modelos testados para estimar área basal (G).....	44
Tabela 7. Modelos testados para estimar diâmetro mínimo (D_{min}).....	44
Tabela 8. Modelos testados para estimar variância dos diâmetros (S^2d).....	45
Tabela 9. Modelos testados para estimar diâmetro máximo (D_{max}).....	46
Tabela 10. Modelos testados para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do primeiro desbaste.....	50
Tabela 11. Modelos testados para estimar o parâmetro “a” da função Weibull depois do primeiro desbaste.	50
Tabela 12. Modelos testados para estimar o parâmetro “b” da função Weibull depois do primeiro desbaste.	51
Tabela 13. Modelos testados para estimar o parâmetro “c” da função Weibull depois do primeiro desbaste.	51
Tabela 14. Modelos testados para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste.	52
Tabela 15. Modelos testados para estimar o parâmetro “a” da função Weibull depois do segundo desbaste.....	53
Tabela 16. Modelos testados para estimar o parâmetro “b” da função Weibull depois do segundo desbaste.....	53
Tabela 17. Modelos testados para estimar o parâmetro “c” da função Weibull depois do segundo desbaste.....	54
Tabela 18. Modelos testados para estimar a área basal futura (G_2).....	55
Tabela 19. Modelos testados para estimar a variância dos diâmetros futura (S^2d_2).....	56
Tabela 20. Modelos testados para projetar o diâmetro mínimo ($D_{min 2}$).....	56
Tabela 21. Modelos testados para projetar o diâmetro médio (\bar{d}_2).....	57
Tabela 22. Modelos testados para projetar o diâmetro médio quadrático (dg_2).....	57
Tabela 23. Modelos testados para projetar o diâmetro máximo (D_{max2}).....	58
Tabela 24. Regra de decisão para comparação.	59
Tabela 25. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados com respectivos coeficientes de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	60
Tabela 26. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	62
Tabela 27. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	113

Tabela 28. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para área basal com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	114
Tabela 29. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para diâmetro mínimo com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	115
Tabela 30. Correlação linear (r) entre diâmetro mínimo e variáveis independentes dos modelos (48) e de Burkart et al.(53).	68
Tabela 31. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a variância dos diâmetros com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	116
Tabela 32. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar diâmetro máximo ($D_{máx}$) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	117
Tabela 33. Resumo dos modelos selecionados para estimar os atributos/características do povoamento imediatamente antes do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	65
Tabela 34. Coeficientes e estatísticas da equação de desbaste para estimar o número de árvores a ser removido por classe de DAP no primeiro e segundo desbastes.	69
Tabela 35. Estimativas dos modelos para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do primeiro desbaste.	125
Tabela 36. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ a ” da função Weibull depois do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	126
Tabela 37. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ b ” da função Weibull depois do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	126
Tabela 38. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ c ” da função Weibull depois do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	127
Tabela 39. Estimativas dos modelos testados para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste.	128
Tabela 40. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ a ” da função Weibull depois do segundo desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	129
Tabela 41. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ b ” da função Weibull depois do segundo desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	129
Tabela 42. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ c ” da função Weibull depois do segundo desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	130
Tabela 43. Resumo dos modelos selecionados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro desbaste (D1).	72
Tabela 44. Resumo dos modelos selecionados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do segundo desbaste (D2).....	73
Tabela 45. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a área basal futura (G_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).	140

Tabela 46. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a variância dos diâmetros futura (S^2d_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	140
Tabela 47. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro mínimo (D_{min2}) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	141
Tabela 48. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro médio (\bar{d}_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	142
Tabela 49. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro médio quadrático (dg_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	143
Tabela 50. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro máximo ($D_{máx2}$) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	144
Tabela 51. Resumo de modelos selecionados para projetar o atributos/características do povoamento até a próxima intervenção (desbaste/corte-final) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).....	81
Tabela 52. Estimativas dos atributos/características e parâmetros da funçãoWeibull antes do primeiro desbaste.	84
Tabela 53. Valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume comercial (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 33 m (6,0) anos.....	86
Tabela 54. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 38 m.....	87
Tabela 55. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 43 m.	149
Tabela 56. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 48 m.....	150
Tabela 57. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 53 m (8,3 anos).....	150
Tabela 58. Valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes primeiro desbaste para o índice de sítio 53 m (6,0 anos).	151
Tabela 59. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP obtidas imediatamente antes do primeiro desbaste (D1).....	87
Tabela 60. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 38 m.	152
Tabela 61. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 43 m.	152

Tabela 62. Valores médios observados e estimados do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 48 m.	89
Tabela 63. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP removidos no D1.	89
Tabela 64. Valores médios observados e estimados do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classe de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 38 m com controle do número de árvores removido.	153
Tabela 65. Valores médios observados e estimados do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 43 m com controle do número de árvores removido.	153
Tabela 66. Valores médios observados e estimados do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 48 m com controle do número de árvores removido.	91
Tabela 67. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP removidos no D1 com controle do número de árvores removidas.	91
Tabela 68. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores por classes de DAP remanescentes do D1 sem e com controle do número de árvores removidas.	92
Tabela 69. Valores estimados do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste (D1) e removidos no desbaste para o índice de sítio 33 m com controle do número de árvores removido.	154
Tabela 70. Valores estimados do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste (D1) e removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 53 m com controle do número de árvores removido.	154
Tabela 71. Estimativas dos atributos/características e parâmetros da função Weibull antes do segundo desbaste (D2).	94
Tabela 72. Estimativas do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classe de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 33 m.	161
Tabela 73. Estimativas do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classe de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 38 m.	161
Tabela 74. Estimativas do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classe de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 43 m.	162
Tabela 75. Estimativas do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 48 m.	95
Tabela 76. Estimativas do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classe de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 53 m.	162
Tabela 77. Estimativas do número de árvores (<i>N</i>), área basal (<i>G</i>) e volume (<i>V</i>) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 33 m.	163

Tabela 78. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 38 m.	163
Tabela 79. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 43 m.	164
Tabela 80. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 48 m.	98
Tabela 81. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 53 m.	164
Tabela 82. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP removidos no D2.	98
Tabela 83. Estimativas dos atributos/características e parâmetros da função Weibull projetados até a idade de corte final (CF).	99
Tabela 84. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 33 m.	167
Tabela 85. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 38 m.	167
Tabela 86. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 43 m.	168
Tabela 87. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 48 m.	168
Tabela 88. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 53 m.	100
Tabela 89. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final (CF)	101
Tabela 90. Comparação da produção total estimada com desbaste com informações de produção sem desbaste fornecidas pela empresa.	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	30
Figura 2. Diagrama do processo de simulação.....	33
Figura 3. Distribuição de resíduos - (a): Prodan (14); (b): Curtis (15); (c): Modelo (16); (d): Modelo (17).....	61
Figura 4. Distribuição de resíduos para a relação h_{dom} x <i>Idade</i> . (a): Schumacher; (b): Chapman-Richards; (c): Mitscherlich; (d): Clutter-Jones.....	63
Figura 5. Curvas de sítio para os quatro modelos testados.....	64
Figura 6. Distribuição de resíduos para modelos de sobrevivência. (a): Pienaar e Shiver; (b): Lenhart; (c): Clutter; (d): Modelo (38).....	118
Figura 7. Distribuição de resíduos de sobrevivência. (a): Feducia et al.; (b): Burkhart e Sprinz; (c): Modelo (41).....	119
Figura 8. Distribuição de resíduos para área basal (m ² /ha). (a): Modelo (44); (b): Modelo (45).....	120
Figura 9. Dispersão de resíduos para diâmetro mínimo. (a): Modelo (48) ; (b): Burkhart et al. (53).....	120
Figura 10. Resíduos para variância dos diâmetros. (a): Burk e Burkhart (55); (b): Knoebell e Burkhart (56); (c): Scolforo 1 (57); (d): Scolforo 2 (58).....	121
Figura 11. Dispersão de resíduos para diâmetro máximo. (a): Modelo (62); (b): Modelo (63); (c): Modelo (64).....	122
Figura 12. Árvores removidas observadas e estimadas por classe de DAP no primeiro desbaste – (a): parcela 22; (b): parcela 24; (c): parcela 270; (d): parcela 1667.....	123
Figura 13. Número médio de árvores removidas e observadas no primeiro desbaste.....	70
Figura 14. Árvores removidas observadas e estimadas por classe de DAP no segundo desbaste. (a): parcela 68; (b): parcela 72; (c): parcela 4846; (d): parcela 5255.....	124
Figura 15. Número médio de árvores removidas e observadas no segundo desbaste.....	71
Figura 16. Distribuição de resíduos para diâmetro mínimo depois ($D_{min_{depois}}$) do primeiro desbaste.(a): Modelo (67); (b): Modelo (68).....	131
Figura 17. Distribuição de resíduos para diâmetro médio quadrático depois (dg_{depois}) do primeiro desbaste. (a): Modelo (70); (b): Modelo (71).....	131
Figura 18. Distribuição de resíduos para diâmetro médio aritmético depois (\bar{d}_{depois}) do primeiro desbaste. (a): Modelo (73); (b): Modelo (74).....	132
Figura 19. Resíduos para o parâmetro “a” depois do primeiro desbaste. (a): Modelo (78); (b): Modelo (79).....	132
Figura 20. Dispersão de resíduos para o parâmetro de escala “b” depois do primeiro desbaste. (a): Modelo (82); (b): Modelo (83).....	133
Figura 21. Distribuição de resíduos para o parâmetro “c” depois do primeiro desbaste. (a): Modelo (87); (b): Modelo (89).....	133
Figura 22. Distribuição do número médio de árvores por hectare por classe de DAP observado e estimado depois do primeiro desbaste.....	75
Figura 23. Distribuição de resíduos para o diâmetro mínimo depois do segundo desbaste. (a): Modelo (90); (b): Modelo (91).....	134
Figura 24. Distribuição de resíduos para o diâmetro médio quadrático depois do segundo desbaste. (a): Modelo (92); (b): Modelo (95).....	134
Figura 25. Distribuição de resíduos para o diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste. (a): Modelo (97); (b): Modelo (98).....	135

Figura 26. Distribuição de resíduos para o parâmetro “a” depois do segundo desbaste. (a): Modelo (101); (b): Modelo (102).....	135
Figura 27. Distribuição de resíduos para o parâmetro “b” depois do segundo desbaste. (a): Modelo (105); (b): Modelo (106).....	136
Figura 28. Distribuição de resíduos para o parâmetro “c” depois do segundo desbaste. (a): Modelo (111); (b): Modelo (112).....	136
Figura 29. Distribuição do número médio de árvores por hectare por classes de DAP observado e estimado depois do segundo desbaste.....	77
Figura 30. Valores médios observados e estimados do número de árvores removidas por classe de DAP no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2.....	79
Figura 31. Distribuição do número de árvores médio removido no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2 para o índice de sítio 38 m. (a): Procedimento normal (estimado antes menos estimado depois do desbaste); (b): Procedimento com correção do número de árvores estimado depois.	137
Figura 32. Distribuição do número de árvores médio removido no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2 para o índice de sítio 43 m. (a): Procedimento normal (estimado antes menos estimado depois do desbaste); (b): Procedimento com correção do número de árvores estimado depois.	137
Figura 33. Distribuição do número de árvores médio removido no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2 para o índice de sítio 48 m. (a): Procedimento normal (estimado antes menos estimado depois do desbaste); (b): Procedimento com correção do número de árvores estimado depois.	138
Figura 34. Distribuição do número de árvores médio observado e estimado depois do primeiro desbaste ($S = 38$ m). (a): estimado sem “correção” do número de árvores; (b): estimado com “correção” do número de árvores.	138
Figura 35. Distribuição do número de árvores médio observado e estimado depois do primeiro desbaste ($S = 43$ m). (a): estimado sem “correção” do número de árvores; (b): estimado com “correção” do número de árvores.	139
Figura 36. Distribuição do número de árvores médio observado e estimado depois do primeiro desbaste ($S = 48$ m). (a): estimado sem “correção” do número de árvores; (b): estimado com “correção” do número de árvores.	139
Figura 37. Distribuição de Resíduos para projeção da área basal. (a): Scolforo 1 (113); (b): Scolforo 2 (114); (c): Clutter (115).....	145
Figura 38. Distribuição de resíduos para S^2d_2 . (a): Modelo (115).; (b): Modelo (116).	146
Figura 39. Distribuição de resíduos para projeção do diâmetro mínimo (D_{min_2}). (a): Modelo (119); (b): Modelo (122).	146
Figura 40. Dispersão de resíduos para projeção do diâmetro médio (\bar{d}_2). (a): Modelo (124); (b): Modelo (126).....	147
Figura 41. Distribuição de resíduos para projeção do diâmetro médio quadrático (dg_2). (a): Modelo (127); (b) Modelo (128); (c): Modelo (129).....	147
Figura 42. Distribuição de resíduos para projeção do diâmetro máximo (D_{max_2}). (a): Modelo (132); (b): Modelo (135).	148
Figura 43. Distribuição diamétrica predita e distribuição média observada antes do primeiro 85	85
Figura 44. Distribuição do número de árvores estimado e observado médio removido no D1 por classes de DAP. (a): $S = 38$ m; (b): $S = 43$ m; (c): $S = 48$ m.	155
Figura 45. Distribuição diamétrica depois do primeiro desbaste. (a): $S = 38$ m; (b): $S = 43$ m; (c): $S = 48$ m.	156

Figura 46. Distribuição do número de árvores removido no primeiro desbaste ($S = 38$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.....	157
Figura 47. Distribuição do número de árvores removido no primeiro desbaste ($S = 43$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.....	157
Figura 48. Distribuição do número de árvores removido no primeiro desbaste ($S = 48$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.....	158
Figura 49. Distribuição do número de árvores remanescente depois do primeiro desbaste ($S = 38$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.....	158
Figura 50. Distribuição do número de árvores remanescente depois do primeiro desbaste ($S = 43$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.....	159
Figura 51. Distribuição do número de árvores remanescente depois do primeiro desbaste ($S = 48$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.....	159
Figura 52. Distribuição do número de árvores estimado até o primeiro desbaste (D1), do remanescente do primeiro desbaste e do removido ($S = 33$ m; Idade 6 anos).....	160
Figura 53. Distribuição do número de árvores estimado até o primeiro desbaste (D1), do remanescente do primeiro desbaste e do removido ($S = 53$ m; Idade 6 anos).....	160
Figura 54. Distribuição diamétrica projetada até a idade do segundo desbaste (D2) e a distribuição média observada.....	96
Figura 55. Distribuição diamétrica remanescente depois do primeiro desbaste e projetada até a idade do segundo desbaste (D2).....	97
Figura 56. Distribuição do número de árvores estimado até o segundo desbaste (D2), do remanescente do segundo desbaste e do removido ($S = 33$ m; Idade 8 anos).....	165
Figura 57. Distribuição do número de árvores estimado até o segundo desbaste (D2), do remanescente do segundo desbaste e do removido ($S = 38$ m; Idade 8 anos).....	165
Figura 58. Distribuição do número de árvores estimado até o segundo desbaste (D2), do remanescente do segundo desbaste e do removido ($S = 53$ m; Idade 8 anos).....	166
Figura 59. Distribuição do número de árvores remanescente depois do segundo desbaste. (a): $S = 43$ m; (b): $S = 48$ m.	166
Figura 60. Distribuição diamétrica estimada e observada na idade de corte final. (a): $S = 33$ m (20,5 anos); (b): $S = 38$ m (20,0 anos); (c): $S = 43$ m (20,3 anos); (d): $S = 48$ m (20,5 anos); (e): $S = 53$ m (16,9 anos).	102

RESUMO

Fabiane Aparecida de Souza Retslaff. Modelagem do crescimento e produção em classes de diâmetro para plantios de *Eucalyptus grandis*

Este trabalho teve como objetivo desenvolver modelos de crescimento e produção em classes de diâmetro para plantios de *Eucalyptus grandis* submetidos a desbastes. Os dados utilizados na modelagem são provenientes de plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Telêmaco Borba, estado do Paraná, disponibilizados pela empresa Klabin S.A. e são oriundos de parcelas permanentes, parcelas temporárias e inventário pré-corte, com idades variando de 2,5 a 26,5 anos. A função de densidade de probabilidade Weibull foi escolhida para gerar a distribuição diamétrica. O processo de modelagem de atributos do povoamento foi dividido em etapas, considerando os estágios de desenvolvimento do povoamento. Dessa maneira, dois sistemas de prognose foram produzidos: o primeiro foi utilizado para a predição de atributos na idade do primeiro desbaste e o segundo para a projeção dos atributos na idade do segundo desbaste ou corte final. Os atributos modelados foram aqueles requisitados para recuperação dos parâmetros da função Weibull nas idades de intervenção pelo Método dos Momentos. Duas alternativas de simulação de desbastes foram testadas. Para avaliação das prognoses foram utilizados o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e o teste de identidade L&O proposto por Leite e Oliveira (2002). Os dois sistemas de prognose apresentaram, de um modo geral, boas estimativas de ajuste e precisão. A equação de desbaste utilizada por Scolforo (1990) foi escolhida para simulação dos dois desbastes, no entanto, foi necessário a utilização de um fator de correção para melhor controle do número de árvores removido, isto propiciou melhores resultados quando comparados às simulações sem esse controle. A metodologia empregada possibilitou simular o crescimento e a produção em plantios de *Eucalyptus grandis* ao longo da rotação gerando resultados adequados, principalmente para o corte final onde são colhidas as melhores árvores com maiores valores agregados.

Palavras-Chave: Distribuição diamétrica, Projeção da estrutura diamétrica, desbastes, função Weibull.

ABSTRACT

Fabiane Aparecida de Souza Retslaff. Diameter classes growth and yield modelling for *Eucalyptus grandis* stands.

This study aimed to develop growth and yield models by diameter classes for *Eucalyptus grandis* plantation with thinnings. The data used for modeling came from *Eucalyptus grandis* plantation made available by the company Klabin S.A., located in Telêmaco Borba, Parana State. This data came from permanent plots, temporary plots and pre-harvesting inventory, with ages ranging from 2.5 to 26.5 years. The Weibull probability density function was chosen to generate the diameter distribution. The stand attributes modeling process was divided into stages, considering the development stages of stands. Thus, two prognosis systems were produced: the first was used for the prediction of the attributes in the age of thinning and the second for the projection of the attributes in the age of the second thinning or final cut. The modeled attributes were those required for recovery the Weibull function parameters at the ages of intervention by the Moments Method. Two alternative methods of thinning simulation were tested. To evaluate the prognoses the Kolmogorov-Smirnov adherence test and the L&O identity test proposed by Leite and Oliveira (2002) were used. The two prognosis systems presented, in general, good estimates of adjustment and accuracy. The thinning equation used by Scolforo (1990) was chosen for the simulation of the two thinnings, however, it was necessary to use a correction factor to improve control of the number of trees removed, generated adequately results compared to simulations without this control. The methodology used allowed to simulate the growth and yield in *Eucalyptus grandis* stands along the rotation, generating adequate results, especially for the final cut where the best trees are harvested with higher aggregate values.

Keywords: Diametric distribution, Diametric structure projection, thinnings, Weibull function.

1. INTRODUÇÃO

Os pesquisadores da área florestal têm buscado sempre novas técnicas para aumentar a produtividade das florestas e a qualidade dos produtos oriundos destas. Algumas das técnicas silviculturais mais utilizadas nos plantios florestais são a poda e o desbaste, sendo que a sua utilização depende da espécie, sítio e objetivos do plantio, salientando que a intensidade e a qualidade destas técnicas influenciará nos produtos obtidos.

Os plantios de eucalipto no Brasil sempre foram conduzidos sem desbaste, mas nos últimos anos esta prática, aplicada principalmente nos plantios de *Pinus*, vem sendo utilizada também nos plantios de eucalipto com o objetivo de obter multiprodutos, vislumbrando maiores retornos econômicos. As pesquisas na área de tecnologia da madeira têm comprovado o potencial da madeira de eucalipto para serraria o que aumentou o interesse do setor moveleiro por árvores de grande porte desta espécie. A cor rosa avermelhada da madeira de *Eucalyptus grandis*, além do bom comportamento perante as máquinas e ferramentas por ser uma madeira macia, que não oferece resistência à cortes e trabalhos manuais, são aspectos positivos desta espécie para a utilização na indústria moveleira (GONÇALEZ et al., 2006).

Diante da pressão exercida sobre as florestas nativas, os reflorestamentos são importantes fontes alternativas de multiprodutos da madeira. A busca do uso múltiplo das florestas e de melhor remuneração para a madeira tem incentivado o estabelecimento de estratégias por parte das empresas para a oferta de madeira serrada de *Eucalyptus* (SOARES, 2002).

Os manejadores florestais buscam obter relações quantitativas ou modelos que sejam compatíveis, lógicos, e forneçam informações consistentes sobre o desenvolvimento futuro dos povoamentos florestais, sejam estes sujeitos ou não a desbastes (SCOLFORO, 1990).

São várias as contribuições técnico-científicas sobre estudo de desbastes, mas segundo Nogueira (2003), as hipóteses elaboradas para o crescimento e a produção de florestas equiâneas desbastadas e as principais técnicas desenvolvidas foram muitas vezes fundamentadas em dados de povoamentos não-desbastados, especialmente de *Pinus* e, em alguns casos, de eucalipto. Decisões relacionadas ao regime de manejo de florestas desbastadas necessitam de informações de crescimento e produção que incorporem respostas do desbaste (PIENAAR, 1979).

Em uma empresa florestal, o planejamento da produção é fundamental. O planejamento da produção, assim como, a simulação de uma série de regimes de manejo podem ser facilitados pela avaliação da estrutura do povoamento com o uso de modelos por classe diamétrica, permitindo uma análise mais detalhada do porte das árvores do povoamento, orientando as atividades do manejador a respeito do volume de madeira por classes diamétricas nas diferentes idades do povoamento, e ainda dos multiprodutos que podem ser retirados da floresta.

Caracterizar e definir a distribuição diamétrica tem importância fundamental nos estudos de sortimento dos povoamentos em vários momentos de sua existência (CARELLI NETTO, 2008). Por meio da compreensão da distribuição diamétrica das árvores de um povoamento florestal torna-se possível identificar seu potencial de uso presente ou futuro, salientando que, ao desenvolver um sistema de predição presente e futura pode-se definir, por sítio, a rotação econômica ótima; simular diferentes opções de desbastes; definir a densidade inicial de plantio, a época e a intensidade de desbaste, entre outras possibilidades (THIERSCH, 1997).

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver modelos de crescimento e produção em classes de diâmetro para plantios de *Eucalyptus grandis* submetidos a desbastes.

2.2. ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Ajustar modelos para estimar a altura em qualquer idade;
- Construir curvas de sítio;
- Desenvolver diferentes modelos para estimar os atributos/características dos plantios para estimar os parâmetros da função Weibull;
- Testar duas alternativas para simular desbastes;
- Projetar a distribuição diamétrica dos plantios antes e depois dos desbastes;
- Projetar a produção removida nos desbastes e a produção no corte final.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN

A espécie *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden pertence à família Myrtaceae. É conhecida popularmente como eucalipto ou eucalipto-rosa (LORENZI et al., 2000) sendo originária da Austrália: New South Wales e Queensland. Apresenta grande porte, podendo chegar até 55m de altura, com fuste retilíneo em 2/3 da altura total. A casca é fibrosa, clara e acinzentada na base, lisa e esbranquiçada ou acinzentada na parte superior. As folhas adultas são de ovaladas-lanceoladas a lanceoladas-falcadas com até 20 cm de comprimento por até 3,5 cm de largura (BACKES e IRGANG, 2004).

A floração do *Eucalyptus grandis* acontece entre o verão e outono e possui umbelas com 6 a 12 flores. A frutificação ocorre entre o inverno e primavera, com frutos do tipo cápsula. A semeadura tem sido feita em recipientes individuais ou canteiros e a repicagem deve ser realizada quando as mudas atingem de 3 a 4 cm de altura (BACKES e IRGANG, 2004). A multiplicação também tem sido realizada por estacas de plantas selecionadas (LORENZI et al., 2003).

Esta espécie é muito semelhante ao *Eucalyptus saligna*, com o qual muitas vezes é confundido, distingue-se pelos botões verde-azulados e pelas valvas encurvadas das cápsulas (LORENZI et al., 2003).

É uma das espécies de eucaliptos mais cultivadas para fins comerciais. Possui vários usos, como para vigas, postes, pilares, mourões, lenha, caixotaria e celulose. A madeira possui uma coloração rosado-clara, é leve e resistente, com densidade média de 690 kg/m³ (BACKES e IRGANG, 2004). Gonzalez et al. (2006) comentaram que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta bom comportamento perante as máquinas e ferramentas, que é uma madeira macia, que não oferece resistência a cortes e trabalhos manuais.

No Brasil, segundo Paludzyszyn Filho (2003), para o *E. grandis*, assim como o *E. urophylla*, *E. saligna*, e *E. cloeziana*, as áreas mais indicadas para plantios com mudas formadas a partir de sementes de pomares e áreas de produção de sementes são situadas em regiões acima do paralelo 24º Sul, de clima predominantemente tropical.

3.2. O EUCALIPTO E SEU MANEJO

Em 2009 a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil atingiu 6.310.450 ha, apresentando um crescimento de 2,5 % em relação ao total de 2008. Em resumo, o Brasil, em 2009, somou 6.782.500 ha de florestas plantadas, entre áreas com pinus (26,5%), eucalipto (66,5%) e outros grupos de espécies comerciais (7,0%) (ABRAF, 2010).

A área de florestas com eucalipto está em franca expansão na maioria dos estados brasileiros com tradição na silvicultura deste grupo de espécies, ou em estados considerados como novas fronteiras da silvicultura, com crescimento médio no país de 7,1% ao ano entre 2004-2009. A expansão na área plantada com eucalipto é resultado de um conjunto de fatores que vêm favorecendo o plantio em larga escala deste gênero. Entre os aspectos mais relevantes estão o rápido crescimento em ciclo de curta rotação, a alta produtividade florestal e a expansão e direcionamento de novos investimentos por parte de empresas de segmentos que utilizam sua madeira como matéria prima em processos industriais (ABRAF, 2010).

Os plantios florestais têm como objetivo fornecer matéria-prima para as indústrias de papel e celulose, siderurgia a carvão vegetal, lenha, serrados, compensados e lâminas e, painéis reconstituídos como os aglomerados, chapas de fibras e MDF (MEDRADO, 2003).

Com a finalidade de diluir os riscos e a vulnerabilidade de um único segmento de negócio, as empresas florestais, além de investir tecnologias para produção de florestas energéticas de eucalipto, nos últimos anos têm direcionado suas atividades também para diversificar a produção e produtos oriundos dos reflorestamentos (SOARES, 2002).

Os plantios de eucaliptos no sul do Brasil, adotam o sistema manual, na maioria dos casos, isto ocorre em função da rusticidade da espécie, da disponibilidade de mão de obra e em muitas situações pelas condições topográficas que impedem o uso de máquinas (SILVA, BELOTTE e FERREIRA, 2003).

Segundo Ferreira (2003), diversas espécies de eucaliptos podem ser plantadas com a finalidade de serraria. A escolha da espécie vai depender, principalmente, do clima da área a ser plantada e das características físicas e químicas do solo. Segundo o mesmo autor, os *E. grandis*, *E. saligna*, *E. microcorys*, *E. maculata*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. paniculata* e *E. resinifera* têm sido manejados a nível mundial para serraria, laminação e produção de postes.

Desse modo, o uso atual de madeira reflorestada do gênero *Eucalyptus* vem recebendo especial atenção tanto por parte de pesquisadores, assim como do setor madeireiro, uma vez

que possui um grande potencial de disponibilidade em curto espaço de tempo e uma ampla possibilidade de uso da madeira. A madeira proveniente de reflorestamentos era, até alguns anos atrás, voltada exclusivamente, para a produção de matéria-prima para celulose, carvão vegetal, moirões e postes. Mas hoje, com o aumento da demanda de mercado por produtos madeiráveis e o crescente desenvolvimento, as empresas do setor florestal estão buscando ampliar as possibilidades de utilização da madeira e diversificar a sua produção (SOARES, 2002). Assim, o manejo de uma floresta de eucalipto para produção de madeira para serraria envolve práticas silviculturais diferentes das que se aplicam quando o objetivo é produzir madeira para celulose, papel, energia, painéis. As práticas silviculturais que se destacam para a produção de madeira para serraria são: os desbastes e a colheita florestal, as podas ou desramas, a desbrota ou eliminação das brotações das touças e os espaçamentos de plantio (COUTO, 2005).

De acordo com Ferreira (2003) o aproveitamento das toras em serraria é melhor, quanto maior for o diâmetro. Quanto mais cedo o povoamento atingir elevados diâmetros, mais lucrativo será o empreendimento. Para que este objetivo seja atingido, desbastes pesados e precoces são recomendáveis por estimular o crescimento em diâmetro. Mas, segundo o autor, a madeira que é produzida nas idades jovens dos povoamentos de *Eucalyptus grandis*, ou seja, nos quinze primeiros anos, é de qualidade inferior com elevadas tensões de crescimento. O autor recomendou que, para aumentar a madeira de boa qualidade limitando a madeira de qualidade inferior a um pequeno cilindro central, devem-se executar desbastes leves inicialmente. Ainda, estes desbastes devem ser atrasados para permitir a retirada de madeira com dimensões mais adequadas comercialmente. Os desbastes devem ser leves até o décimo quinto ano e mais pesados após essa idade.

Ainda segundo Ferreira (2003) os regimes de desbastes que vem sendo adotados na silvicultura brasileira não seguem a proposta mencionada, acrescentando que de uma maneira geral tem-se adotado desbastes precoces e pesados com o objetivo de produzir toras de 35 a 45 cm de diâmetro em rotações curtas de 15 a 18 anos. Neste regime de desbaste ocorre a produção elevada de madeira juvenil, de baixa qualidade, no cilindro central da tora. No entanto, estes regimes são mais versáteis em termos de permitir alterar o objetivo para a madeira que está sendo produzida em função das possíveis alterações de mercado. Possibilita também uma maior diversidade de produtos, num espaço de tempo menor, o que pode ser interessante do ponto de vista comercial.

Por outro lado, o prolongamento das rotações de eucalipto, por mais de 35 anos, com o objetivo de produzir madeira de alta qualidade aumenta o risco de ocorrência de podridão do cerne (FERREIRA, 2003). Este autor salientou que, o regime de desbaste adotado deve seguir as características do local e do mercado consumidor da região. Para conhecer o melhor regime de manejo devem ser feitas simulações de crescimento e produção. E, que o regime citado anteriormente, é uma sugestão e que deve ser reconsiderada quando houver disponibilidade de dados de inventário e informações de mercado para cada caso.

O plano de manejo de povoamentos de eucaliptos para uso múltiplo deve prever desbastes e desramas e rotações longas. Isto ocasiona ainda benefícios ambientais, como redução da exportação de nutrientes e melhoria do sub-bosque (KIKUTI, FIER, SPELTZ, 2005).

3.2.1. Densidades iniciais (espaçamento)

Antes que se inicie o plantio, alguns fatores devem ser levados em consideração, dentre eles está o espaçamento inicial, o qual depende dos objetivos do plantio e das qualidades do sítio. O espaçamento ou densidade do plantio influencia nas taxas de crescimento, na qualidade da madeira produzida, nos desbastes, na idade de corte, nas práticas de manejo e, por consequência, nos custos de produção. É, provavelmente, uma das principais técnicas de manejo que visa à qualidade e a produtividade da matéria-prima (SILVA, BELLOTE e FERREIRA, 2003).

A variação na densidade populacional de plantas de eucalipto normalmente afeta a quantidade de biomassa obtida por unidade de tempo e a qualidade do produto final. Sendo assim, espera-se que nas maiores densidades, onde ocorre maior aproveitamento inicial de recursos, tais como, água, nutrientes e radiação por unidade de área, tem-se que, num menor intervalo de tempo, a quantidade inicial de biomassa produzida por área será maior. Entretanto, ao longo do ciclo do cultivo, as diferenças entre populações com diferentes densidades são minimizadas (LEITE et al., 1997).

Segundo Smith (1962) o número ideal de árvores que deve ser plantada por unidade de área deve ser determinado pela quantidade que pode crescer tirando o melhor e maior proveito dos fatores de crescimento, produzindo o maior volume de produtos florestais com dimensões, forma e qualidade mais convenientes.

O crescimento em diâmetro é mais influenciado pela densidade que o crescimento em altura. O planejamento da densidade inicial do plantio também deve visar a obtenção do máximo de retorno por área, ou seja, o local não deve ser subutilizado com uma densidade muito baixa, pois as árvores não aproveitarão todos os recursos disponíveis, como água, nutrientes e luz. Como consequência haverá menor produção por unidade de área, mas se a densidade de plantio for muito elevada, tais recursos não serão suficientes para atender a demanda do povoamento, o que vai acarretar em decréscimo de volume e na própria qualidade das árvores. Ainda, em espaçamentos maiores onde a densidade é baixa, o volume individual é maior e ocorre menor custo de implantação, maior número de tratos culturais, maior conicidade de fuste e desbastes tardios. E, nos espaçamentos menores onde a densidade é alta ocorre maior produção em volume por hectare, fechamento do dossel é mais rápido ocorrendo menor número de tratos culturais, menor conicidade do fuste e exigem desbastes precoces (SILVA, BELLOTE e FERREIRA, 2003).

Segundo Silva, Bellote e Ferreira (2003) os plantios normalmente são executados com espaçamentos variando entre 3x2 e 3x3 metros, os quais favorecem os tratos culturais mecânicos. Segundo esses autores, em empresas integradas ocorre a destinação da madeira dos primeiros desbastes para energia ou celulose e as árvores remanescentes do povoamento, que possuem um porte mais expressivo, são utilizadas para a fabricação de serrados ou para a laminação.

Quando o objetivo da produção é a madeira para laminação, serraria, papel e celulose, geralmente são utilizados os espaçamentos de 3,0 x 2,5 m (1.333 árvores/ha) ou 3,0 x 2,0 m (1.666 árvores/ha). Todavia, com o advento dos plantios clonais, as empresas de celulose passaram a adotar espaçamentos mais largos (como o de 3,0 x 3,0 m), que garantem maior espaço aos genótipos idênticos (AmbienteBrasil: Silvicultura do Eucalipto, 2009).

3.2.2. Desbastes

Segundo Nogueira (2003), o desbaste é uma técnica silvicultural antiga, onde as primeiras experiências foram realizadas na Alemanha. Os primeiros relatos sobre desbastes datam do século XVI. Segundo Pienaar (1965) *apud* Nogueira (2003), o termo “desbaste” foi introduzido na nomenclatura florestal em 1791 por G. L. Harting.

Por meio das técnicas de desbaste pode-se aumentar a área transversal individual, aumentando-se o espaço vital e conseqüentemente maior disponibilidade de nutrientes e luz, compensando a retirada de árvores de menor porte, mantendo a área basal do povoamento quase inalterada. Assim, obtém-se no final, árvores de maiores diâmetros (GLUFKE et al., 1997).

De acordo com Smith (1962), o desbaste consiste na remoção parcial de árvores do povoamento florestal e tem como objetivo estimular o crescimento das árvores remanescentes e aumentar a produção de matéria-prima aproveitável. Com a retirada de algumas árvores, as remanescentes, com mais espaço e nutrientes disponíveis retomam o crescimento e em curto espaço de tempo, passam a ocupar novas classes diamétricas (NOGUEIRA, 2003). Deste modo é o tratamento silvicultural mais indicado quando se deseja produzir árvores de grande porte com qualidade desejável, geralmente destinadas para serrarias e laminadoras, produtos mais nobres, que agregam valor nos produtos retirados da floresta.

Dependendo da forma como são realizados os desbastes, pode-se definir os seguintes tipos (SMITH, 1962; WENDLING, 2007):

- Desbaste seletivo – neste tipo de desbaste cortam-se, geralmente, as árvores com defeitos e inferiores. A seleção de quais árvores serão removidas depende para que fim se destina a produção final.
- Desbaste baixo – cortam-se principalmente as árvores dominadas; como resultado tem-se um povoamento com um único estrato de dominantes e co-dominantes. É o tipo mais usado em coníferas.
- Desbaste alto – cortam-se principalmente as árvores co-dominantes, resultando em um povoamento com dois estratos. O objetivo é de favorecer o crescimento de árvores dominantes de boa qualidade (promissoras).
- Desbaste neutro – cortam-se árvores em todas as classes. Um desbaste sistemático é um desbaste neutro.

A seleção das árvores que serão retiradas depende das características como a posição relativa, as condições de copa, vigor, algum defeito, forma dos troncos (SMITH, 1962). Segundo Santana (2008), os desbastes produzem benefícios à qualidade da madeira, além disso, eles evitam que ocorram perdas devido ao não-aproveitamento das árvores que morreriam pela competição natural, concentram a produção em indivíduos mais promissores

e, ainda, podem produzir rendas intermediárias durante o ciclo de corte do povoamento, o que é usado geralmente para pagar os custos de implantação do povoamento.

A intensidade de desbaste é a quantidade de madeira desbastada e pode ser expressa em área basal (% ou m²), número de árvores (% ou n^o) ou volume (% ou m³). E a frequência ou ciclo de um desbaste refere-se ao intervalo de tempo entre desbastes sucessivos (SANTANA, 2008).

Quando se realiza o desbaste deve-se evitar a retirada de grupos de árvores e procurar manter uma distribuição uniforme de espaçamento entre as árvores remanescentes. Isto vai evitar a formação de clareiras impedindo o crescimento de plantas invasoras entre as árvores e evitando também o surgimento de número excessivo de brotações de gemas epicórmicas, que podem prejudicar a qualidade da madeira (FERREIRA, 2003).

Segundo Couto (2005) existem dois critérios principais para definir um desbaste: número de árvores por hectare e área basal. O autor citou que o controle mais indicado para os desbastes seja feito com a área basal ou diâmetro médio quadrático, que por sua vez estão diretamente relacionados ao volume de madeira por hectare.

3.2.3. Desrama ou poda

Segundo Ahrens (2000) a poda ou desrama consiste no corte dos ramos da copa de uma árvore. Tem como objetivo obter a produção de madeira livre de nós e destinada à indústria de processamento mecânico.

Há dois tipos principais de desrama: a alta e a baixa. A desrama baixa, segundo Evans (1992) *apud* Couto (2005) é realizada logo após o fechamento da copa e a uma altura mínima de 2 metros. A poda tem sido realizada para:

- a) permitir o acesso ao talhão para inspeção e marcação do desbaste;
- b) reduzir o risco de fogo, diminuindo a chance do fogo de chão atingir a copa da árvore;
- c) facilitar o corte das árvores nas operações de desbaste;
- d) produzir madeira livre de nós na base da árvore onde se concentra a tora de maior diâmetro.

A desrama baixa pode ser realizada em todo o talhão ou em árvores selecionadas. Geralmente a poda é realizada nos primeiros anos nos plantios de eucaliptos, como as árvores

ainda estão jovens torna-se difícil selecionar melhores fenótipos, assim a poda era recomendada em todo o talhão (COUTO, 2005).

Nas plantações de eucaliptos, a poda alta tem como principal objetivo melhorar a qualidade de madeira da árvore, livrando-a de nós e diminuindo a conicidade do tronco (VEIGA, 1985). França (1991) *apud* Bertolani, Nicolielo e Chaves (2005) recomendou para *E. grandis* que, a poda seja realizada até a altura de 2,2 m aos 2 anos de idade, e após o primeiro desbaste (aos 4 anos), nas melhores árvores, até a altura de 6 m.

O regime de poda em *E. grandis* utilizado pelo Departamento Florestal na África do Sul é realizado com base na altura média do plantio e não na idade, no qual as podas até 3,0; 5,0 e 7,5 m deverão ocorrer quando as árvores tiverem no mínimo 6,6; 9,0 e 13,5 m de altura média, respectivamente (RAMOS, 1973 *apud* BERTOLANI, NICOLIELO e CHAVES, 2005).

Muitas espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam desrama natural, porém é sabido que a permanência dos ramos secos nas idades jovens ou a retirada dos mesmos ocasionam problemas de nós na madeira ou uma bolsa de resina e estes diminuem a resistência física das peças de madeira e prejudicam a aparência. Portanto, a definição de um programa de desrama para a produção de madeira livre de nós deve possibilitar a poda dos ramos ainda verdes (COUTO, 2005), além disso, o valor comercial da madeira com nós é inferior ao da madeira livre de nós (*clearwood*).

3.2.4. Ciclos de cortes empregados

A idade de corte de um talhão representa uma das principais variáveis de decisão em planos de manejo florestal. Para a definição da duração de uma rotação tem-se que ter uma análise independente por talhão ou, ainda, esta definição pode estar vinculada à produção simultânea de todos os talhões da floresta, neste caso, a análise resulta geralmente, em uma complexa tarefa e envolve o processamento de um enorme volume de informações. A idade ótima de corte de um talhão florestal, independentemente dos demais, pode ser definida em termos volumétricos ou econômicos (RODRIGUEZ et al. 1997).

A condução dos talhões de eucalipto geralmente é realizada para corte aos 7, 14, e 21 anos. São 3 ciclos de corte para uma mesma muda original. O ciclo de corte depende da região e do tipo de solo, assim, o ciclo de corte poderá ser menor (a cada 5 ou 6 anos) em

sítios bons. Além das características do sítio, o ciclo de corte está ligado ao objetivo da plantação de eucalipto (lenha, carvão, celulose, mourões, poste, madeira de construção ou serraria) (Ambientebrasil: Silvicultura do Eucalipto, 2009).

O programa de manejo para eucalipto desenvolvido na Klabin é realizado da seguinte maneira: desbastes aos 4 e 8 anos de idade e corte final aos 20 anos. São realizadas desramas para melhorar a qualidade, produzindo madeira livre de nós (KIKUTI, FIER, SPELTZ, 2005). Segundo Bertolani, Nicolielo e Chaves (2005) a execução de desbastes sucessivos em *E. grandis* mostrou-se como a opção mais adequada à produção de madeira de serraria para a Duratex S.A.

3.3. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL

O crescimento de uma árvore ou de um povoamento é o mais importante acontecimento na floresta. Crescimento consiste no alongamento e engrossamento das raízes, tronco e galhos, causando mudanças na árvore, que influencia seu peso, volume e forma. O meristema primário é o responsável pelo crescimento linear de todas as partes da árvore, já o meristema secundário ou câmbio é o responsável pelo crescimento em diâmetro, por meio de camadas justapostas de lenho.

Ainda, o crescimento de um indivíduo se refere ao acréscimo nas suas dimensões da altura, do diâmetro, da área basal, do volume, enquanto a produção é relacionada ao seu tamanho final após um período definido de observação. Assim, pode-se dizer que o termo crescimento é utilizado para designar a taxa absoluta de crescimento e a produção como o crescimento total ou o crescimento acumulado (SPATHELF e NUTTO, 2000).

Segundo Zeide (1993) o crescimento resulta da interação de duas forças opostas, sendo um componente positivo, o qual se manifesta na expansão de um organismo e representa a tendência inata de qualquer ser vivo à multiplicação exponencial e está associado ao potencial biótico, à atividade fotossintética, à absorção de nutrientes, ao anabolismo. Já o componente oposto, ou negativo, representa as restrições ao crescimento impostas por fatores externos como a competição, a respiração, a escassez de recursos naturais e, internos que são os mecanismos de autoregulação, os quais são conhecidos como metabolismo destrutivo, catabolismo etc.

Scolforo (1990) comentou que os estudos de crescimento e produção até 1962 foram desenvolvidos sem que fosse observado o princípio de compatibilidade entre eles, ou seja, que modelos de crescimento (incremento) eram desenvolvidos independentemente dos modelos de produção. Então, quando sucessivos incrementos eram estimados e adicionados a um volume inicial, eles geralmente não apresentavam os mesmos valores em volume preditos por uma equação de produção, considerando-se o mesmo povoamento nas mesmas condições de sítio, idade e densidades. Foram estudos simultâneos realizados por Buckman (1962) e Clutter (1963) que primeiro atentaram para a incompatibilidade entre os modelos de crescimento e produção.

Clutter e Buckman resolveram o problema da incompatibilidade dos modelos com o uso do cálculo diferencial e integral. Fazendo a primeira derivada do modelo de produção, obtém-se o modelo de crescimento, e integrando-se o modelo de crescimento tem-se o modelo de produção (SCOLFORO, 1990).

Para expressar o crescimento existem diferentes maneiras como incremento corrente anual (ICA), incremento médio anual (IMA), o incremento periódico (IP), se anual (IPA), mensal (IPM), semanal (IPS), ou diário (IPD) (SCOLFORO, 1998, CAMPOS e LEITE, 2009).

Deste modo, a curva de ICA é obtida por meio da derivada da função de produção, e a curva de IMA resulta da divisão da curva de produção pela idade. Igualando-se as duas funções (ICA e IMA), obtém-se a idade técnica de corte (ITC) para o povoamento.

O cruzamento das curvas de ICA e IMA é um ponto de referência e tem servido como base de manejo para muitos florestais, como por exemplo, para efetuar desbastes, este ponto representa a máxima produção em volume, e define a rotação silvicultural. Porém, às vezes, o manejo de plantações deve ser conduzido de maneira que se obtenham multiprodutos em quantidades apropriadas, de maneira economicamente eficiente e sem detrimento das condições ambientais (SCOLFORO, 1990). Desta maneira, o cruzamento das curvas ICA e IMA não coincide necessariamente com o ótimo econômico da floresta.

3.4. MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

O crescimento e a produção de um povoamento florestal dependem da idade (I), da capacidade produtiva (S) e do grau de utilização do local (CAMPOS e LEITE, 2009). Para expressar o crescimento ou incremento (acréscimo do elemento dendrométrico considerado) e a produção florestal (crescimento acumulado), uma maneira lógica seria por meio de um modelo, este pode ser caracterizado por gráficos, tabelas, tabelas e gráficos, uma equação ou um conjunto de equações, ou um conjunto de submodelos cada qual com uma ou mais equações (SCOLFORO, 1998).

Para Bergamin Filho (1978) um modelo é uma abstração do mundo real, uma aproximação simplificada da realidade sem significar a própria realidade e sem se construir uma réplica dela, o que implica que um modelo dificilmente é completo, final e um objetivo em si mesmo.

Para Vanclay (1994) um modelo é uma abstração, ou uma representação simplificada, de um pouco de aspecto de realidade (e não devia ser confundido com o significado normativo da palavra, algo merecedor de ser imitado). Um modelo matemático é como um modelo verbal, mas usando linguagem matemática, a qual é mais concisa e menos ambígua que a linguagem natural.

Um modelo de crescimento é uma abstração da dinâmica natural dos povoamentos florestais, e pode envolver crescimento, mortalidade, e outras mudanças na composição e estrutura da floresta. Comumente o termo “modelo de crescimento” refere-se a um sistema de equações, os quais podem prever o crescimento e a produção de povoamentos florestais sob uma ampla variedade de condições (VANCLAY, 1994).

Modelos de produção podem ser expressos de várias maneiras dependendo das variáveis que estão envolvidas, deste modo pode-se ordenar os modelos de produção por ordem de evolução, como segue (SCOLFORO, 1998) e dos níveis de detalhamento desejados (VANCLAY, 1994): modelos de produção ao nível de povoamento também chamados de globais (modelo de produção Normal; modelo de produção Empírico e modelo de Densidade Variável); os modelos de produção por classe diamétrica e por fim os modelos de árvores individuais (independentes ou dependentes do espaçamento).

A modelagem do crescimento e da produção florestal busca prognosticar a produção em volume, em área basal, ou em peso em função de uma série de variáveis que são possíveis

de serem quantificadas no povoamento florestal. Para os modelos globais as variáveis mais comuns são a idade, o sítio e uma medida qualquer de densidade, para os modelos por classe diamétrica devem-se agregar variáveis como o diâmetro mínimo, diâmetro máximo e o diâmetro médio quadrático, dentre outros. Já para modelos para árvores individuais, além das variáveis já listadas, tornam-se fundamentais os índices que expressam a competição entre árvores (SCOLFORO, 1998).

Utiliza-se a modelagem do crescimento e da produção para atender quatro objetivos principais: 1) prever e projetar o crescimento e a produção do povoamento e auxiliar na tomada de decisões no plano de manejo; 2) prever e projetar o crescimento em um local específico, para que sejam realizadas as análises de opções de investimento; 3) prever e projetar o crescimento de povoamentos submetidos à diferentes regimes de manejo e práticas silviculturais; 4) prever e projetar a produção e agregá-la a um fluxo de custos e receitas para análises econômicas (PHILLIP, 1994).

Os modelos de produção podem expressar diferentes sistemas silviculturais e diferentes níveis de complexidade matemática. Assim, tem-se modelos para florestas plantadas (desbastadas ou não desbastadas) e modelos para florestas nativas (de diferentes idades, de mesma idade e homogênea ou mista) (SCOLFORO, 1998). Ainda, os modelos podem ser explícitos ou implícitos, onde no modelo explícito a solução da(s) equação(ões) que o compõe propicia a predição da produção (ex: volume) por unidade de área, e os modelos de produção implícitos são aqueles onde a(s) equação(ões) que o compõe propiciam informações sobre a estrutura do povoamento, como exemplo os modelos de distribuição diamétrica (CLUTTER et al., 1983; SCOLFORO, 1998).

Há uma pequena diferença, conceitual, entre os procedimentos descritos para a predição da produção explícita no futuro e os passos envolvidos na predição futura da produção com técnicas de distribuição diamétrica. Alguns métodos de distribuição de diâmetros preveem a distribuição dos diâmetros e de alturas por classe de diâmetros, certamente com estatísticas do povoamento (por exemplo, idade, índice de sítio, densidade, média das alturas dominantes e co-dominantes). Se os valores atuais das estatísticas do povoamento são usadas na computação então o resultado do volume predito é uma estimativa da produção atual. No entanto, se as computações são baseadas na projeção dos valores para as estatísticas do povoamento, uma estimativa da produção futura na idade de projeção é obtida (CLUTTER et al., 1983).

Segundo Abreu et al. (2002), com o auxílio dos modelos de crescimento e produção, podem-se prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, onde, o que se deseja é a qualidade do produto final, como desbaste ou a rotação econômica ótima, ou o planejamento da colheita. Ainda, segundo esses autores, com a prognose da produção também é possível viabilizar a adoção de um plano de suprimento, isto se dá com a otimização da produção ou ainda da minimização de custos.

De acordo com Assmann (1970) o rendimento sustentado das florestas não requer somente o conhecimento do estoque de crescimento da floresta, mas também o conhecimento das produções esperadas no futuro. Sendo assim, praticamente todos os florestais de renome da Alemanha do século XVIII e início do século XIX executaram estudos de produção (SCOLFORO, 1990). Spurr (1952) relatou que tabelas de produção que forneciam o volume médio em várias idades, crescendo em vários sítios foram usadas na Europa antes do final do século XVIII.

3.5. MODELOS DE PRODUÇÃO EM CLASSES DE DIÂMETRO

As distribuições de diâmetros descrevem a estrutura da floresta (MALTANO et al., 2000). A análise da distribuição diamétrica permite estimar o número de árvores por hectare para cada classe de diâmetro, assim como determinar a altura média nas classes de diâmetro e deste modo permite a obtenção de informações mais detalhadas sobre a estrutura de produção do povoamento. Estes dados quando usados em conjunto com uma equação de volume individual possibilita estimar a produção por classe de diâmetro e por unidade de área (CLUTTER et al., 1983).

Os modelos de produção por classe diamétrica fornecem informações detalhadas do povoamento ao nível de classes de diâmetro, ou seja, permitem estimar a provável distribuição que apresentam os diâmetros, descrevendo a estrutura do povoamento, facilitando o planejamento da produção da floresta (BARRA et al., 2004). Isto é possível desde que seja estabelecida uma boa rede de parcelas permanentes, que sejam representativas da população (SCOLFORO, 1998).

Ainda, segundo Arce (2004), as distribuições diamétricas que geralmente consideram a frequência por classes de diâmetros, como já mencionado, podem eventualmente incluir a área basal, o volume, e os incrementos em diâmetro, em área basal, em volume e em valor

econômico, como variáveis agrupadas por classes de diâmetros. A distribuição de diâmetro tem também um papel importante em diferentes estudos de crescimento e produção como, por exemplo, quando decisões sobre desbastes são feitas (MALTANO et al., 2000).

Os modelos de distribuição diamétrica são importantes para situações em que se tem interesse por multiprodutos de madeira. Sua principal característica é o emprego de uma função de densidade de probabilidade. Uma das mais comuns utilizadas nessa modelagem é a função Weibull (CAMPOS e LEITE, 2009). A projeção da distribuição diamétrica e estimativas de volume de madeira em diferentes classes fornece uma base quantitativa para a avaliação econômica e o gerenciamento de diferentes opções de manejo (TRINCADO et al., 2003).

Segundo Clutter et al. (1983) os modelos de distribuição diamétrica requerem o número de árvores sobreviventes na idade de predição e a chave para usar tais modelos para predição da produção futura é avaliar convenientemente funções de mortalidade. Deste modo é necessário que o povoamento esteja sujeito a tratamentos silviculturais periódicos e de qualidade, para que a mortalidade observada seja função do sítio e da competição entre as árvores, pois em situações em que a mortalidade das árvores é causada por outras características como, por exemplo, ataque de insetos ou deficiência de tratamentos culturais, entre outros, a utilização de modelos de sobrevivência fica prejudicada, não se tem segurança na sua aplicação, uma vez que, outros fatores estão influenciando a mortalidade, que não o sítio e a densidade (SCOLFORO, 1998).

A distribuição diamétrica é a ferramenta mais simples e poderosa para caracterizar a estrutura de uma floresta. Pois de um modo geral, o diâmetro tem correlação com outras variáveis importantes como altura, volume, valor, custo de conversão e tipificação de produtos. A quantificação da distribuição diamétrica e sua relação com o sítio, a composição do povoamento, a idade e a densidade são valiosas tanto para fins econômicos como biológicos (BAILEY e DELL, 1973).

De acordo com Scolforo (1998) a grande vantagem do modelo por classe diamétrica, é que ele proporciona um melhor detalhamento na predição do porte das árvores do povoamento, facilitando o planejamento da produção florestal e também a simulação de uma série de tratamentos silviculturais. Desta maneira, pode-se otimizar o rendimento da floresta utilizando-se das estimativas dos multiprodutos por classe de tamanho.

Os modelos por classe diamétrica, possibilitam a avaliação econômica de produtos discriminados por classe de tamanho, além de serem mais flexíveis para analisar desbastes, a serem simulados no povoamento (SCOLFORO, 1990). A predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais é de grande interesse para os manejadores florestais para avaliação dos recursos da floresta e planejamento dos futuros tratamentos silviculturais (NANOS e MONTERO, 2002).

O processo usual para desenvolvimento de distribuições de diâmetro tipo modelos de crescimento e produção tem sido: (a) adquirir um conjunto de dados; (b) selecionar uma família de distribuição; (c) estimar os parâmetros da distribuição parcela por parcela e finalmente; (d) ajustar regressão para prever os parâmetros com características da plantação como idade, índice de sítio, e densidade. Os passos (a) e (b) poderiam ser executados em ordem contrária (BAILEY, 1980).

As funções de densidade de probabilidade (*fdp*) mais utilizadas na construção de modelos de distribuição diamétrica são: a função Weibull, a Normal, Gram-Charlier, a função S_B de Johnson, função Gama e a função Beta (CAMPOS e LEITE, 2009; ARCE, 2004). Dentre elas, a mais destacada é a função Weibull de três parâmetros (BARRA et al., 2004).

De acordo com Scolforo (1990), no Brasil, foi Finger (1982) que, utilizando o programa MLESD (*Maximun Likelihood Estimation For Selected Distributions*) desenvolvido por Schreuder et. al. (1978), quem primeiro efetuou comparações entre as distribuições Weibull, Beta, Gama, Normal, Log-normal e S_B de Johnson, em parcelas instaladas em plantios de *Acacia mearnsii*, com o objetivo de selecionar o melhor modelo que descrevesse sua distribuição diamétrica. Concluindo que a distribuição S_B foi a que melhor se ajustou ao conjunto de dados nas idades estudadas. Todavia, o autor verificou que também a distribuição Beta e de forma mais limitada, a distribuição Weibull, ajustaram-se bem em algumas das idades consideradas.

Scolforo (1990) citou que Couto (1980) fez uso do MLESD realizando comparações entre as mesmas distribuições citadas anteriormente, para parcelas em plantios de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e concluiu ser a Weibull a distribuição que melhor se espelha a distribuição de diâmetros das árvores contidas nas parcelas analisadas, seguido pelas distribuições Normal e Beta.

Scolforo (1990) ainda citou que em 1986 Glade, fazendo uso do MLESD modificado para microcomputadores e trabalhando com prognose presente e futura da produção, para

Eucalyptus grandis, chegou à conclusão que as distribuições que apresentaram melhores desempenhos foram a função Weibull e a função SB, com a vantagem dos parâmetros da função Weibull serem correlacionados com a idade do povoamento, já que a SB não é. Concluindo que a distribuição Weibull se presta com mais eficiência aos estudos de projeção futura da produção que a distribuição SB.

3.5.1. Distribuições contínuas

A estrutura diamétrica de uma floresta é possibilitada pelo uso de Distribuições Probabilísticas definidas como função de densidade de probabilidade (*fdp*). Entre estas funções destacam-se a distribuição Weibull, Beta, S_B e S_{BB} de Johnson, Gamma, Log-normal e Normal. Estas distribuições permitem obter a probabilidade das árvores estarem em um intervalo de classe diamétrica, em que haja um limite inferior e outro superior (SCOLFORO, 1998). Elas descrevem a distribuição de frequência absoluta e relativa dos distintos tamanhos das árvores (PRODAN et al., 1997).

Os parâmetros destas distribuições podem ser estimados por uma série de métodos, dentre os quais, destacam-se a máxima verossimilhança, os momentos e os percentis (BARRA et al., 2004).

Quando se integra uma função de densidade de probabilidade tem-se a função de distribuição acumulada [$F(x)$]. Ela fornece a área delimitada por um intervalo [a, b], encontrada sob uma curva que define a probabilidade das árvores estarem contidas nesse intervalo (SCOLFORO, 1998).

Uma função $f(x)$ é uma função de densidade de probabilidade (*fdp*) se x satisfaz as seguintes condições (PRODAN et al., 1997):

- $f(x) \geq 0$ para todos os valores de x dentro do intervalo considerado;

- $\int f(x) dx = 1$;

- $f(x) = 0$, se x está contido fora do intervalo considerado.

Deste modo a probabilidade de x ocorrer num intervalo depende da integral:

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (1)$$

Uma função de distribuição acumulada $F(x)$ é o resultado da integral de $f(x)$ e estima a probabilidade que a variável x assumira um valor menor ou igual a x . $F(x) = \int_a^x f(t)dt$, onde as propriedades são (PRODAN et al., 1997):

- Não é decrescente;
- Quando x tende a mais infinito ($x \rightarrow \infty$) $f(x) = 1$;
- Quando x tende a menos infinito ($x \rightarrow -\infty$) $f(x) = 0$;
- $P(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a)$, para $a < b$.

3.5.2. A Distribuição Weibull

A distribuição Weibull foi proposta em 1928 por Fisher e Tippet. Foi desenvolvida independentemente por Waloddi Weibull, físico sueco em 1951, em um estudo de resistência de materiais. Segundo Monteiro (2001), Weibull ficou conhecido mundialmente com a publicação de seu trabalho em 1951 “*A statistical distribution function of wide applicability*”. Após a Segunda Guerra Mundial, com ênfase no estudo de resistência dos materiais, o trabalho de Weibull se destacou e a distribuição passou a ser chamada pelo seu nome. No meio florestal, a distribuição Weibull, foi aplicada primeiramente por Bailey e Dell em 1973 (CLUTTER et al., 1983).

Segundo Scolforo (1998) desde então muitos trabalhos têm sido realizados utilizando-se a distribuição Weibull, dentre eles: Knoebell et al. (1986), Finger (1982), Cao et al. (1982), Scolforo (1990, 1994), Leite (1990), Maestri et al. (1994), Cunha e Neto (1994), entre outros, até os mais recentes como os de Arce (2004), Barra et al. (2004), Carelli Netto (2008), Lopes (2007), Santana (2008).

Um dos motivos de se utilizar a função Weibull é a sua flexibilidade, a qual permite moldar diferentes tendências de distribuição, como uma exponencial até uma normal. Ainda como características favoráveis ao seu uso, estão a facilidade de ajustamento e de correlacionar seus parâmetros com atributos do povoamento (CAMPOS e LEITE, 2009).

Knoebell et al. (1968) *apud* Scolforo (1990) fazendo uma comparação entre a distribuição Beta e Weibull, enfatizou que a distribuição Beta é muito flexível e apresenta ainda uma função de densidade de probabilidade tendo limites finitos os quais restringem todos os diâmetros dentro de seus limites inferior e superior. A distribuição Beta tem como desvantagem que a função de densidade de probabilidade deve ser integrada numericamente

para obter a proporção de árvores em cada classe de diâmetro, a função de distribuição (cumulativa) não existe na forma fechada (*closed*). A função de distribuição Weibull existe na forma fechada, desta maneira não há necessidade de fazer integração numérica cada vez que se deseja saber a proporção de árvores que existem em determinada classe diamétrica. Sendo esta a maior vantagem da distribuição Weibull sobre a distribuição Beta. Porém, com o advento dos recursos computacionais, a simplicidade nos cálculos se tornou menos importante na hora de selecionar a distribuição mais adequada (ARCE, 2004). O autor comentou que existe uma variedade de trabalhos comparando as funções de probabilidade. Maltamo et al. (1995) *apud* Arce (2004) mencionaram que deve ser ressaltado que os resultados obtidos com as diferentes distribuições probabilísticas dependem do método utilizado para estimar os parâmetros e do critério empregado para sua comparação.

Bailey e Dell (1973) citaram que muitos modelos para distribuição de diâmetro foram propostos, mas nenhum exibe tantas características desejáveis como a função Weibull. Os diversos processos de estimação dos parâmetros permitem a seleção apropriada para a capacidade de computação. A simplicidade de manipulação algébrica e a habilidade de assumir uma variedade de formas de curvas podem fazer com que a função Weibull seja escolhida para outros modelos biológicos.

Uma importante aplicação da função de distribuição Weibull é como componente de sistemas de predição presente e futura da produção, seja esta em volume, área basal ou qualquer outra característica de interesse (SCOLFORO, 1990).

A função de densidade de probabilidade Weibull pode ser apresentada com dois ou três parâmetros:

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right] \quad (2)$$

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \quad (3)$$

Onde:

$f(x)$ = função de densidade de probabilidade Weibull;

a = parâmetro de locação;

b = parâmetro de escala;

c = parâmetro de forma e;

x = variável de interesse (diâmetro). Com $a \leq x \leq \infty$, $a \geq 0$, $b > 0$ e $c > 0$.

O parâmetro de locação representa o menor limite da distribuição, o parâmetro de escala representa a amplitude da curva e o parâmetro de forma promove diferentes inclinações à curva. Os parâmetros “ b ” e “ c ” devem ser sempre positivos. Em geral, “ a ” pode ser positivo, zero ou negativo, mas para aplicações em distribuição diamétrica “ a ” deve ser não-negativo (CLUTTER et al., 1983). De acordo com os valores de seus coeficientes a distribuição pode assumir diferentes formas, assim ela se ajusta bem aos dados de uma floresta nativa na qual a distribuição é decrescente (J-invertido), até as florestas equiâneas, com uma distribuição unimodal, com suas diferentes assimetrias (PRODAN et al., 1997; SCOLFORO, 1998). Deste modo, se $c < 1$, a curva é um J-invertido, quando $c = 1$ resulta em forma exponencial, se $c = 2$ forma de Ray Leight um caso especial da distribuição qui-quadrado. Para $1 < c < 3,6$, a função de densidade tem forma normal com assimetria positiva. Quando $c \approx 3,6$ se aproxima da distribuição normal, $c > 3,6$ forma normal com assimetria negativa, e quando $c \rightarrow \infty$ ela aproxima a ponta acima de um único ponto (BAILEY e DELL, 1973).

As funções de distribuição acumulativa, 2 e 3 parâmetros são obtidas por meio da integração das funções (2) e (3), respectivamente.

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right] \quad (4)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \quad (5)$$

A probabilidade em um certo intervalo é dada por:

$$P(Li < x < Ls) = \left\{ \exp\left[-\left(\frac{Li-a}{b}\right)^c\right] \right\} - \left\{ \exp\left[-\left(\frac{Ls-a}{b}\right)^c\right] \right\} \quad (6)$$

Em que:

$F(x)$ = função de distribuição acumulativa; $P(Li < x < Ls)$ = probabilidade de x estar entre Li e Ls ; Li = Limite inferior da classe diamétrica (cm); Ls = Limite superior da classe diamétrica; a = parâmetro de locação; b = parâmetro de escala; c = parâmetro de forma.

Alguns dos métodos tradicionalmente empregados para a estimativa dos parâmetros da função Weibull são o Método dos Momentos, o Método da Máxima Verossimilhança e o Método dos Percentis (PRODAN et al., 1997; ARCE, 2004).

Duas abordagens básicas são empregadas para predizer os parâmetros estimados da função Weibull, são o PPM (*Parameter Prediction Model* - Método de Predição dos Parâmetros) e o PRM (*Parameter Recovery Method* - Método de Recuperação dos Parâmetros). Ambos os procedimentos apresentam alguma deficiência em um aspecto ou outro. O PPM tem a vantagem de usar o MLE (*Maximum Likelihood Estimator* - Método da Máxima Verossimilhança) (COHEN, 1965 *apud* CHIKUMBO, 1992), que tem algumas características estatísticas desejáveis e estimativas dos parâmetros da função Weibull relativamente precisas para a produção. O método é adequado para povoamentos não desbastados. O PRM tem a vantagem de simular desbastes em povoamentos, mas emprega o método de momentos (MENDENHALL e SCHEAFFER, 1973 *apud* CHIKUMBO, 1992), que oferece velocidade e simplicidade em troca de algumas perdas na precisão dos parâmetros estimados quando comparado com o MLE.

Pensando em aliar as vantagens de cada um dos dois métodos mencionados Chikumbo (1992) propôs a criação de uma terceira abordagem que ele chamou de Método da Predição Dinâmica de Parâmetros (DPPM). Nesse método, depois de estimar os parâmetros da função Weibull no início do período de projeção, chamado ano 1, os parâmetros no segundo ano e nos anos subsequentes são atualizados ou estimados por um modelo linear.

Nos modelos de predição dos parâmetros, as equações de predição do número de árvores e dos parâmetros da função de densidade são desenvolvidas usando dados coletados em parcelas temporárias e/ou permanentes como idade, índice de sítio e densidade do povoamento. Os parâmetros da *fdp* são estimados, sendo então relacionados com a idade, altura média das árvores dominantes e co-dominantes e o número de árvores sobreviventes ou área basal por unidade de área do povoamento (HYINK, 1980), ou seja, este método consiste em derivar relações funcionais entre os coeficientes da *fdp* e os atributos (variáveis) do povoamento (PRODAN et al., 1997).

Já nos modelos de obtenção iterativa dos parâmetros, segundo Hyink (1980) o procedimento de obtenção dos parâmetros de distribuição é pelo processo iterativo (recálculo) dos parâmetros. O método proposto pelo autor é um método alternativo de formulação, de um sistema de projeção da produção, onde certos atributos do modelo, a nível de povoamento, são

usados para recalcular os parâmetros de uma *fdp*, os quais distribuem aqueles atributos por classe de diâmetro, desse modo a média do povoamento e o modelo por classe diamétrica são compatíveis.

A recuperação de parâmetros pode ser baseada nos percentis ou momentos da distribuição de diâmetros (SIIPILEHTO, 2009). Contrariamente ao método de predição dos parâmetros, o método de recuperação dos parâmetros define primeiramente os valores futuros das variáveis do estado do povoamento para então calcular os parâmetros da *fdp* (PRODAN et al., 1997). Uma das vantagens do procedimento de recálculo dos parâmetros em relação à estimativa dos mesmos é que a sensibilidade dos parâmetros da *fdp* às pequenas mudanças nos atributos do povoamento é mais evidente (BURK e NEWBERRY, 1984).

A recuperação de parâmetros baseada no método dos momentos é especialmente útil para a distribuição de diâmetros, porque ela pode ser baseada no primeiro momento, a média aritmética e no segundo momento, o diâmetro médio quadrático, este último tendo uma relação direta com o número de árvores e a área basal (SIIPILEHTO, 2009). O método de recuperação de parâmetro pode oferecer uma alternativa mais robusta (VANCLAY, 1994).

Segundo Campos e Leite (2009), uma sequência que pode ser seguida para o ajuste de um modelo de distribuição diamétrica é:

- Obter os dados de parcelas permanentes, estes devem ser representativos;
- Ajustar uma *fdp* para cada parcela, em cada medição;
- Obter equações de regressão para estimar os parâmetros da *fdp*. Como variáveis independentes devem ser usadas características do povoamento como idade, densidade e índice de sítio;
- Avaliar e aplicar o modelo.

3.6. MODELAGEM PARA PLANTAÇÕES DESBASTADAS

O desenvolvimento de um povoamento florestal pode ser fortemente influenciado por distúrbios naturais ou por operações de desbaste. Desbastes têm maior impacto na estrutura do povoamento, e afetam o desenvolvimento individual dos diâmetros das árvores, os quais são correlacionados de perto com o volume do tronco. Portanto, modelos que descrevem desbastes em termos das mudanças futuras da distribuição diamétrica podem ser úteis para avaliações econômicas de diferentes regimes de desbaste (ÁLVAREZ et al., 2002).

Uma descrição realista das mudanças no DAP com execuções de desbastes tem um importante papel nas várias aplicações do manejo florestal. Acuradas estimativas de incrementos na produção para povoamentos desbastados são requeridos para avaliar a contribuição que o desbaste poderia fazer na colheita total. Também, detalhadas predições do povoamento são requeridas para avaliar as alternativas de regimes de desbastes (MURRAY e GADOW, 1991).

Certas características do povoamento, especificamente a média e a variância da distribuição de diâmetros, são presumidas tipicamente conhecidas antes do desbaste. Quando a proporção de desbaste, definida como a proporção das árvores do povoamento a serem removidas durante o desbaste, é dada, o objetivo é descrever a distribuição de diâmetros do desbaste e a distribuição remanescente de árvores (MURRAY e GADOW, 1991).

Os principais desenvolvimentos teóricos sobre manejo quantitativo de povoamentos desbastados foram obtidos com o uso de modelos em nível de povoamento. No entanto, conforme Burkhart et al. (1981) *apud* Nogueira (2003) estes modelos em nível de povoamento podem ser inflexíveis para simulação de desbastes. E ainda, os modelos em nível de povoamento não fornecem elementos para que se proceda à avaliação econômica de multiprodutos da madeira, ou seja, que se faça o sortimento da madeira. Ainda segundo esses autores, os modelos de distribuição diamétrica são mais adequados para analisar desbaste, pois eles possibilitam a avaliação econômica de multiprodutos e são mais flexíveis.

A modelagem de interferências nos povoamentos florestais requer, acima de tudo, a exata definição das operações silviculturais a serem simuladas. Em plantações homogêneas, um parâmetro é frequentemente suficiente para a descrição com precisão alta de um desbaste “por baixo”, no qual são removidas somente as menores árvores. Já a modelagem das modificações no povoamento são mais complicadas quando o programa silvicultural não é somente restrito a desbastes “por baixo”, mas também incluem diferentes tipos de cenários “mistos” . Esta situação requer para cada tipo particular de desbaste a descrição do tipo de desbaste, o qual é definido como a remoção seletiva de indivíduos para uma dada população de árvores (ÁLVAREZ et al., 2002).

Os regimes de desbastes são caracterizados por método ou tipo de desbaste, pela intensidade de desbaste, pelo início e pela freqüência (idade técnica de desbaste) e a quais sistemas de colheita serão submetidos (NEBECKER et al., 1985 *apud* NOGUEIRA, 2003). Na modelagem do crescimento de povoamentos de mesma idade, o tipo de desbaste é

comumente descrito pela combinação do peso do desbaste com a relação entre a área basal removida e remanescente do povoamento (ÁLVAREZ et al., 2002).

Scolforo (1998) citou três procedimentos para a prognose em populações desbastadas. O primeiro deles foi desenvolvido por Bailey e Ware em 1983 e por Bailey et al. em 1985, Piennar e Shiver (1986), Murphi e Farrar em 1987, que consistiu em embutir dentro da expressão de produção em área basal, uma variável independente que possibilite refletir o tipo e método de desbaste, fornecendo informações globais do povoamento. A partir destas informações globais e utilizando a metodologia proposta por Hyink (1980) pode-se então gerar informações por classe diamétrica (SCOLFORO, 1990).

O modelo desenvolvido por Bailey e Ware é um exemplo do procedimento anterior, no qual eles partem do modelo de área basal desenvolvido por Clutter e mais tarde refinado por Sullivan e Clutter (SCOLFORO, 1990).

$$G_2 = G_1^{(I_1/I_2)} \cdot \exp[(1 - (I_1/I_2)) \cdot (a_1 - a_2(S))] \quad (7)$$

Onde:

G_2 = área basal projetada para idade I_2 ; G_1 = área basal na idade I_1 ; S = índice de sítio; a_1 e a_2 = coeficientes da regressão a serem estimados.

Scolforo (1990) citou que Bailey e Ware (1983) estenderam este modelo incluindo um termo em desbaste:

$$G_2 = G_1^{(I_1/I_2)} \cdot \exp[a_1(1 - (I_1/I_2)) + a_2x \cdot ((1/I_2) - (1/I_1))/(I_1 \cdot I_2) + a_3(S) \cdot (1 - (I_1/I_2))] \quad (8)$$

Onde:

a_3 é outro coeficiente a ser estimado; $x = x_a$ ou x_t para o mais recente desbaste, I_t = idade do mais recente desbaste.

O termo que expressa desbaste “ x ” pode ser definido como:

$$x_t = 1 - (D_t / D_b) \quad \text{se } D_t/D_b < > 0 \quad (9)$$

$$x = 0 \quad \text{se } D_t/D_b = 0 \quad (10)$$

$$\text{ou:} \quad x_a = (D_a / D_b) - 1 \quad (11)$$

Onde:

D_b = diâmetro médio quadrático do povoamento antes do desbaste; D_a = diâmetro médio quadrático das árvores do povoamento depois do desbaste; D_t = diâmetro médio quadrático das árvores desbastadas do povoamento.

As variáveis x_t e x_a são negativas quando o desbaste ocorre nas maiores classes de diâmetro. Estas variáveis são positivas quando o desbaste é realizado nas menores classes de diâmetro e zero quando o desbaste não influencia o diâmetro médio ou quando ele não é realizado (SCOLFORO, 1990).

O segundo procedimento citado por Scolforo (1990) para representar as estimativas em povoamentos sujeitos a desbastes é o utilizado por Cao et al. (1982), Matney e Sullivan (1982) que utilizaram a função Weibull em sua forma truncada. Ou também o procedimento utilizado por Hafley e Buford (1985), Smith e Hafley (1984), que utilizaram a distribuição SBB bivariada, que é duplamente truncada em função dos diâmetros e alturas.

O terceiro procedimento é o que foi adaptado por Knoebell et al. (1986), Scolforo (1990) e Scolforo (1998). A expressão que quantifica o que irá ser retirado do povoamento é independente do modelo de predição e da função de distribuição. Neste caso, primeiro se faz a predição da distribuição diamétrica e imediatamente antes de efetuar o desbaste, utiliza-se uma determinada expressão, que irá quantificar o que saiu do povoamento no desbaste (SCOLFORO, 1990). O mesmo autor citou que também é possível fazer uso de modelos estocásticos nos quais, árvores em cada classe de DAP são possibilidades assinaladas de serem removidas, e são cortadas ou abandonadas em cada operação de desbaste, dependendo de valores de números que são gerados aleatoriamente. Depois que se quantifica o que saiu no desbaste, faz-se a predição da distribuição dos diâmetros das árvores remanescentes.

Para obter a quantidade de área basal a ser removida em cada classe de diâmetro usa-se:

$$P_i = \exp \left[b_1 (d_i^2 / d^2)^{b_2} \right] \quad (12)$$

Onde:

P_i = proporção de área basal removida na classe de diâmetro i ; d_i = centro da classe de diâmetro i ; d = diâmetro médio quadrático do povoamento; b_1 , b_2 = coeficientes estimados a partir dos dados.

A expressão (12) representará o padrão de remoção médio dos dados usados para estimar os parâmetros, pois, como é considerado desbaste por baixo, a função removerá mais árvores nas menores classes. As expressões de desbastes devem ser ajustadas a quantos desbastes forem executados devido às diferenças obtidas nos tamanhos das classes de DAP (SCOLFORO, 1998).

Murray e Gadow (1991) citaram que com um desbaste não seletivo, tal como a n linha é removida, a média dos diâmetros antes e depois do desbaste espera-se ser a mesma. Para efeito de modelagem, pode ser presumido que a média dos diâmetros não pode mudar durante um desbaste não seletivo (sistemático). Já para um desbaste seletivo, a média dos diâmetros muda porque os menores diâmetros (DAP) são selecionados para serem removidos durante o desbaste, enquanto árvores com diâmetros maiores permanecem no povoamento.

Chikumbo (1992) apresentou uma expressão que usa a proporção de árvores removidas por classe diamétrica, como segue:

$$P_i = \left[\frac{(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \right]^b \quad (13)$$

Onde:

P_i = proporção de árvores removidas na classe de diâmetro i , ($0 \leq P_i \leq 1$); X_i = centro da classe de diâmetro i ; X_{\min} = centro da classe de diâmetro mínimo; X_{\max} = centro da classe de diâmetro máximo e; b = constante, sendo $b > 0$ para desbaste pesado e $b < 0$ para desbaste leve. O valor de b deve ser definido a partir de uma simulação preliminar.

Em síntese o terceiro procedimento apresenta os seguintes passos (SCOLFORO, 1998; CAMPOS e LEITE, 2009):

- Estima-se a distribuição de diâmetros na idade de desbaste, a partir de um modelo de distribuição diamétrica;
- Inicia-se com a menor classe de diâmetro, removendo a proporção de área basal/número de árvores especificada(os) pela função de remoção;
- Caminha-se pelas classes de diâmetros até que o desejado nível de área basal/número de árvores seja removido.
- Caso a área basal/número de árvores desejada(os) não seja removida(os) após o caminhar pelas classes de diâmetro, deve-se retornar às menores classes e remover a(o) área basal/número de árvores remanescentes naquelas classes. Repete-se o procedimento, ao longo da distribuição diamétrica até que a área basal/número de árvores a ser removida(os) seja alcançada(os).

Álvarez et al. (2002) utilizaram três métodos diferentes para estimar os parâmetros da função Weibull depois do desbaste: o primeiro método estimava os parâmetros em função de atributos do povoamento depois do desbaste; o segundo estimava os parâmetros depois do desbaste em função dos parâmetros antes e em função da relação do número de árvores removido pelo número de árvores antes do desbaste, ou esta mesma relação utilizando a área

basal no lugar do número de árvores; o terceiro método utilizado pelos autores era baseado na relação direta entre a distribuição da frequência acumulada antes e depois do desbaste como uma função do peso do desbaste. Os autores concluíram que o segundo e terceiro métodos haviam mostrado qualidades superiores. No entanto, o segundo método teve uma vantagem adicional que pode definir a validade da faixa dos tipos de manejo como uma função de um erro de predição especificado.

De acordo com Nogueira (2003) há uma carência de estudos com modelos de distribuição diamétrica em plantações desbastadas de *Eucalyptus* sp. Segundo o autor a explicação para esta carência de estudos é a falta de dados confiáveis, uma vez que antes da década de 1990, normalmente, não havia muito interesse em produzir árvores de eucalipto de grande porte, por consequência, as florestas de eucaliptos não eram manejadas com desbaste.

3.7. TESTES PARA AVALIAÇÃO DO AJUSTE DAS DISTRIBUIÇÕES

Para testar o ajuste entre a frequência observada e a frequência estimada por qualquer uma das distribuições, vários testes podem ser usados. Alguns dos métodos mais tradicionalmente empregados para aferir o ajuste dessas distribuições probabilísticas, são as estatísticas χ^2 (qui-quadrado) e Kolmogorov-Smirnov (ARCE, 2004). Segundo este autor estas estatísticas não avaliam os erros discriminados por classes diamétricas. Mas, adicionalmente a estes testes podem ser utilizadas as somas de diâmetros observados e estimados do povoamento expressas em forma relativa. Estas somas podem considerar os diâmetros elevados à primeira, segunda, terceira ou quarta potências, segundo queiram ser enfatizados, respectivamente, os desvios diamétricos, em área basal, em volume ou no valor econômico da floresta (Maltamo et al., 1995 *apud* ARCE, 2004).

Segundo Arce (2004), as somas de diâmetros podem ser obtidas também discriminadas por classes diamétricas, assim elas podem detectar em quais setores das distribuições o ajuste das funções apresenta maiores discrepâncias. Isto torna-se, particularmente interessante, pois erros nas classes diamétricas superiores causam grande impacto na porção economicamente mais valiosa da floresta.

Todavia, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov é bastante utilizado. Seu uso é preferível em relação ao teste do qui-quadrado, uma vez que o teste do qui-quadrado pode apresentar valores tendenciosos quando o número de observações por classe diamétrica for inferior a cinco (SCOLFORO, 1998).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ORIGEM E DETALHAMENTO DOS DADOS

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Telêmaco Borba – PR (Figura 1), disponibilizados pela empresa Klabin S.A. O clima da região, de acordo com o sistema climático de Köeppen, corresponde ao subtropical úmido mesotérmico (Cfb), com verões frescos e geadas severas e frequentes. A temperatura média anual é de 23,0°C, registrando como temperatura mínima histórica -5,2°C e temperatura máxima histórica de 37,0°C. A precipitação média anual está em torno de 1.470 mm. A altitude varia de 520 a 1020 metros. A vegetação original pertence ao domínio da Floresta Ombrófila Mista, intermediada pela Estepe Gramíneo-Lenhosa e alguns relictos de Cerrado (Fonte: dados históricos da empresa *apud* FIGURA, 2010).



Figura 1. Localização da área de estudo.
Fonte: FIGURA, 2010 (modificado).

Os dados são oriundos de parcelas permanentes, parcelas temporárias e de inventário pré-corte, com área variando de 375 a 900 m². Em cada parcela foram medidas todas as circunferências à altura do peito (CAP), as alturas totais das 10 primeiras árvores e das 4 a 9 árvores dominantes, de acordo com a sua área. As idades dos plantios variaram de 2,5 a 26,5 anos. Na Tabela 1 é apresentado um resumo com o número de parcelas utilizadas em cada etapa do processo de modelagem.

Tabela 1. Resumo do número de parcelas utilizadas em cada etapa do processo de modelagem

Etapa de Modelagem		Número de parcelas utilizadas
Etapa preliminar	Curvas de Sítio	1191
	Equação hipsométrica	303 (5776 observações)
Sistema de predição	Sobrevivência	46 (com remedições)
	Sobrevivência	227
	Demais modelos	505
Desbaste	Primeiro desbaste	97
	Segundo desbaste	37
Sistema de projeção	Todos os modelos	127

Antes do processo de modelagem, foi realizada uma exploração dos dados, excluindo-se as parcelas com rebrotas. Os dados dos inventários foram cruzados com os dados do cadastro florestal da empresa a fim de obter informações sobre espaçamento, idade dos talhões, entre outras informações relevantes do cadastro.

4.2. PROCESSOS DE SIMULAÇÃO

O processo de modelagem foi dividido em etapas, considerando os estágios de desenvolvimento do povoamento. Uma etapa preliminar de modelagem foi realizada para o ajuste de equações hipsométricas e de sítio (ferramentas dendrométricas básicas). Para a recuperação dos parâmetros nas idades de intervenção, um método de ajuste da função Weibull foi integrado a um sistema de prognose de atributos da plantação, dessa forma, foram gerados dois sistemas de prognose, seguindo a metodologia utilizada por Santana (2008),

onde um primeiro sistema foi utilizado para predição de atributos na idade do primeiro desbaste e outro sistema foi empregado para projeção de atributos na idade de intervenção (segundo desbaste ou corte final). Os atributos modelados foram aqueles necessários para a recuperação dos parâmetros da função Weibull nas idades de intervenção (D1, D2 e CF).

Na sequência é mostrado um resumo das etapas realizadas para a simulação do crescimento e da produção por classes de diâmetros:

a) Etapa preliminar

- Foram ajustados modelos para estimar os índices de sítio e a altura total.
- Foi utilizada uma função de afilamento disponibilizada pela empresa Klabin S.A. para estimar o volume comercial até um diâmetro mínimo de 8 cm.

b) Recuperação dos parâmetros da Função Weibull

- No procedimento de recuperação dos parâmetros, um método de ajuste da função Weibull foi integrado a um sistema de prognose de atributos da plantação (Sistema de predição e sistema de projeção).

c) Sistema de equações para predição de atributos

- Foi ajustado uma série de modelos para estimar os atributos/características da plantação requeridos pelo método de ajuste dos parâmetros da função Weibull na idade do primeiro desbaste.
- Utilizou-se o teste de aderência proposto por Kolmogorov-Smirnov (K-S) para aferir a distribuição teórica dos diâmetros.
- A distribuição diamétrica foi recuperada na idade do primeiro desbaste.

d) Desbastes

- Uma equação de desbaste foi ajustada para simular os desbastes na idade requerida.
- Simulou-se o primeiro desbaste e obteve-se o número de árvores, a área basal e o volume removidos e remanescentes no povoamento.

e) Sistema de equações para projeção de atributos

- Os atributos/características do povoamento remanescente foram projetados(as) até o segundo desbaste.
- Simulou-se o segundo desbaste e obteve-se o número de árvores, a área basal e o volume removidos e remanescentes no povoamento.
- Os atributos/características do povoamento remanescente foram projetadas até o corte-final.

Na Figura 2 é apresentado um diagrama do processo de simulação.

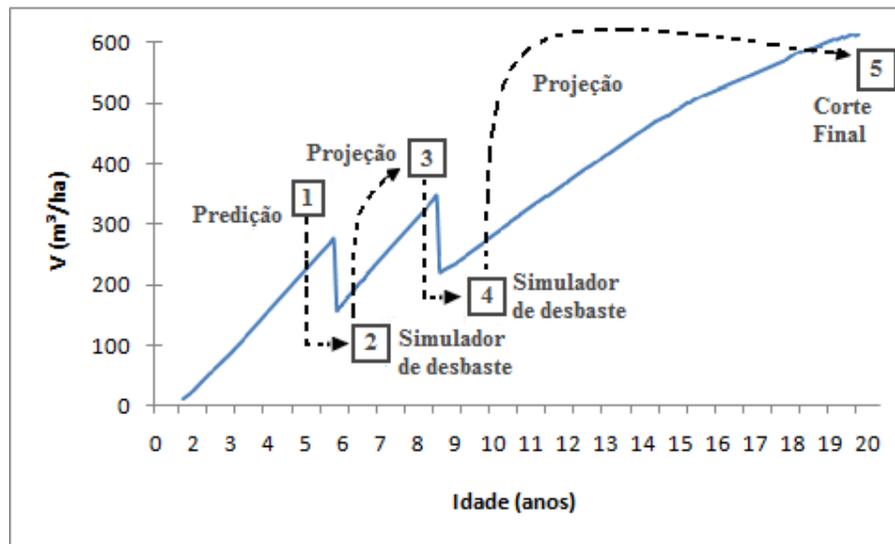


Figura 2. Diagrama do processo de simulação.

4.3. ETAPA PRELIMINAR

A primeira etapa de modelagem foi realizada para o ajuste de equações hipsométricas e equações de sítio. Para estes ajustes foram utilizados dados de parcelas permanentes e temporárias. Nesta etapa também está incluso o ajuste de funções de afilamento, no entanto, estas funções foram cedidas pela empresa Klabin S.A. e foram utilizadas para as estimativas de volumes por classes de diâmetro.

O ajuste de todos os modelos lineares e os linearizáveis foi realizado no *Microsoft Excel*. Já, os modelos não-lineares foram ajustados no software *Statgraphics Centurion*, quando estavam disponíveis os prováveis valores iniciais dos coeficientes. Quando esses

valores iniciais não eram conhecidos, os mesmos foram gerados pelo suplemento “solver” disponível no *Microsoft Excel*, sendo então inseridos no software *Statgraphics Centurion*.

4.3.1. Equação hipsométrica

Os ajustes das equações hipsométricas foram realizados com dados de alturas, diâmetros, idades, altura dominante e índice de sítio, oriundos do banco de dados de parcelas permanentes e parcelas temporárias. Os modelos testados para estimar a altura são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos testados para estimar altura total (m)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Prodan modificado (SANTANA, 2008)	$h - 1,3 = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d \cdot I}$	(14)
Curtis	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \left(\frac{1}{dI}\right)$	(15)
Nogueira (2003)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \left(\frac{1}{d}\right) + \beta_3 \ln(I)$	(16)
Nogueira (2003)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \left(\frac{1}{d}\right)$	(17)

Onde: h = Altura total estimada (m); d = DAP (cm); I = Idade do povoamento (anos); h_{dom} = altura dominante (m); S = Índice de Sítio; β_{is} = coeficientes de regressão a serem estimados; Eq.= número da equação.

Segundo Santana (2008) o modelo de Prodan modificado (14) com a inclusão da variável idade, permite obtenção de uma única equação hipsométrica para estimativa da altura total podendo ser considerado um bom artifício para evitar estratificações e conseqüentemente vários ajustes. Além dos modelos tradicionais de Prodan e Curtis, foram testados dois modelos citados por Nogueira (2003) para estimar a altura total. Nestes dois modelos uma variável da qualidade do local (h_{dom} ou S) é inserida como variável independente.

4.3.2. Desenvolvimento de curvas de sítio

Existem várias alternativas de construção de curvas de sítio como, por exemplo, o método da curva-guia, o método de atribuição preliminar de índices de sítio, o método da

equação das diferenças, e o método de predição de parâmetros. No presente estudo foi utilizado o método da curva-guia. Este método gera curvas anamórficas.

Os modelos testados neste trabalho estão apresentados na Tabela 3. Para o ajuste dos modelos foram utilizados 1191 pares de valores h_{dom} e idade (I), com idades variando de 2,5 a 26,5 anos.

Tabela 3. Modelos testados para construção das curvas de Índice de Sítio

Autor/Fonte	Modelo original	Modelo guia	Eq.
Schumacher	$h_{dom} = \beta_0 \cdot e^{\left(\frac{\beta_1}{I_i}\right)}$	$h_{dom} = S \cdot e^{\beta_1 \left(\frac{1}{I_i} - \frac{1}{I_{ref}}\right)}$	(18)
Chapman-Richards	$h_{dom} = \beta_0 \left[\left(1 - e^{(-\beta_1 \cdot I_i)} \right) \right]^{\beta_2}$	$h_{dom} = S \cdot \left[\frac{\left(1 - e^{(-\beta_1 \cdot I_i)} \right)}{1 - e^{(-\beta_1 \cdot I_{ref})}} \right]^{\beta_2}$	(19)
Mitscherlich	$h_{dom} = \beta_0 - \beta_1 \cdot \beta_2^{I_i}$	$h_{dom} = S - \beta_1 \cdot \left(\beta_2^{I_i} - \beta_2^{I_{ref}} \right)$	(20)
Clutter-Jones	$h_{dom} = \beta_0 \cdot \left[1 + \beta_1 \cdot I_i^{\beta_2} \right]^{\beta_3}$	$h_{dom} = S \cdot \left[\frac{1 + \beta_1 \cdot I_i^{\beta_2}}{1 + \beta_1 \cdot I_{ref}^{\beta_2}} \right]^{\beta_3}$	(21)

Em que: h_{dom} = altura dominante (m); S = índice de sítio na idade índice; I_{ref} = idade de referência ou idade índice (15 anos); I_i = idade do indivíduo no momento da medição da altura; β_{is} = coeficientes dos modelos a serem estimados; Eq. = número da equação.

Após a estimativa dos coeficientes dos modelos de índice de sítio, foram geradas as curvas de índice de sítio anamórficas. A idade-índice utilizada foi de 15 anos e a amplitude das curvas foi de 5 m. Foram construídas 5 (cinco) classes de sítio.

4.3.3. Funções de afilamento

Funções de afilamento permitem estimar o diâmetro a diferentes alturas, a altura a qualquer diâmetro, bem como o volume total da árvore, e qualquer volume parcial (toras) por meio da integração do modelo matemático que está representando o perfil do tronco.

As funções de afilamento ajustadas, como já mencionado, foram cedidas pela Klabin S.A. O modelo ajustado e utilizado pela empresa é o Polinômio de 5º Grau dado pela seguinte equação:

$$\left(\frac{d_i}{d_{1,3}} \right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \quad (22)$$

Isolando-se d_i , tem-se:

$$d_i = d_{1,3} \left(\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right) \quad (23)$$

Em que: d_i = Diâmetro correspondente a uma altura h_i (m); $d_{1,3}$ = Diâmetro a 1,3m de altura (cm); h = Altura total (m); h_i = Alturas obtidas nas diversas porcentagens da altura total (m); β_{is} = Parâmetros a serem estimados.

Os dados que a empresa Klabin S.A. utilizou no ajuste das funções de afilamento foram estratificados em classes de DAP e em relação ao tipo de manejo aplicado, com ou sem desbastes. A função de afilamento ajustada pela empresa para dados de povoamentos com desbastes foi estratificada nas seguintes classes de DAP:

- Menores que 15 cm;
- Entre 15 e 50 cm e;
- Maiores que 50 cm.

Já para o ajuste da função de afilamento dos povoamentos sem desbastes, as seguintes classes de DAP foram utilizadas:

- Menores que 35 cm e;
- Maiores ou iguais a 35 cm.

O resultado do ajuste das funções de afilamento disponibilizados pela empresa Klabin S.A. para cada tipo de manejo estão na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados das estimativas dos parâmetros do Polinômio de 5º Grau cedidos pela empresa Klabin, com respectivos coeficientes de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx}), para cada regime de manejo e para cada faixa de DAP

Autor/fonte	Modelo	Eq.		
Polinômio de 5º Grau	$d_i = d_{1,3} \left(\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right)$	(23)		
Com desbaste				
Faixa de DAP (cm)	Coefficientes	R²adj.	Syx% diâmetro d_i	Syx% volume (até d_i 8 cm)
< 15	$\beta_0 = 1,13293$ $\beta_1 = -2,05020$ $\beta_2 = 5,28981$ $\beta_3 = -8,68446$ $\beta_4 = 6,00943$ $\beta_5 = -1,70189$	0,9923	4,90	5,78
≥ 15 e < 50	$\beta_0 = 1,10775$ $\beta_1 = -2,34189$ $\beta_2 = 8,34357$ $\beta_3 = -18,40830$ $\beta_4 = 18,03666$ $\beta_5 = -6,74877$	0,9877	5,79	6,67
≥ 50	$\beta_0 = 1,08340$ $\beta_1 = -2,53033$ $\beta_2 = 8,20965$ $\beta_3 = -14,54443$ $\beta_4 = 10,77858$ $\beta_5 = -3,00664$	0,9888	5,56	7,21
Sem desbaste				
< 35	$\beta_0 = 1,13270$ $\beta_1 = -2,50528$ $\beta_2 = 9,24269$ $\beta_3 = -20,90731$ $\beta_4 = 21,01635$ $\beta_5 = -7,99040$	0,9824	7,17	10,28
≥ 35	$\beta_0 = 1,11947$ $\beta_1 = -2,71467$ $\beta_2 = 9,84499$ $\beta_3 = -20,5499$ $\beta_4 = 19,10526$ $\beta_5 = -6,82219$	0,9871	5,98	6,44

Onde: d_i = Diâmetro correspondente a uma altura h_i (m); $d_{1,3}$ = Diâmetro a 1,3m de altura (cm); h = Altura total (m); h_i = Alturas obtidas nas diversas porcentagens da altura total (m); β_{is} = Parâmetros estimados; Eq.= número da equação.

4.4. ANÁLISE E SELEÇÃO DOS MODELOS

Para análise e seleção dos modelos ajustados em todas as etapas do processo de simulação foram utilizadas as seguintes estatísticas: Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), Erro padrão de estimativa ($S_{yx}\%$) para a variável de interesse e a análise gráfica da distribuição de resíduos (Res%). As fórmulas para a obtenção destas estatísticas são:

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (24)$$

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) \cdot \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad (25)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQ_{res}}{n-p}} \quad (26)$$

$$Res\% = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \cdot 100 \quad (27)$$

$$SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (28)$$

$$SQ_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (29)$$

Onde: SQ_{res} = Soma de quadrados de resíduos; SQ_{tot} = Soma de quadrados total; y_i = valor da variável observado; \hat{y}_i = valor da variável estimado; \bar{y} = valor médio dos valores observados; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo.

Na regressão o nível de significância α adotado foi de 5% de probabilidade para os coeficientes (ou $p\text{-valor} \leq 0,05$). Quando os modelos foram ajustados e algum coeficiente não era significativo, este coeficiente foi excluído do modelo e este ajustado novamente sem a variável ligada ao coeficiente. Segundo Gujarati (2006), o $p\text{-valor}$ ou $valor\ p$ (isto é, o valor da probabilidade) é também conhecido como nível de significância exato ou observado, mas tecnicamente, o $valor\ p$ é definido como o menor nível de significância ao qual a hipótese nula pode ser rejeitada.

4.5. PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FUNÇÃO WEIBULL

No procedimento de recuperação dos parâmetros, um método de ajuste da função Weibull foi integrado a um sistema de prognose de atributos da plantação, um primeiro sistema foi utilizado para predição de atributos na idade do primeiro desbaste e outro para projeção de atributos na idade de intervenção (segundo desbaste ou corte final). Desse modo, tornou-se possível recuperar a distribuição diamétrica teórica na idade de desbaste ou no corte final. O Método dos Momentos foi utilizado para estimativa dos parâmetros da função Weibull, como apresentado a seguir:

4.5.1. Método dos Momentos

Este método propicia obter estimativas compatíveis entre o modelo global e o modelo por classe diamétrica a partir de uma função geral de produção por classe de diâmetro (SCOLFORO, 1998):

$$Y_i = N \int_I^u g_i(x) f(x, \underline{\theta}) \delta x \quad (30)$$

Onde:

Y_i = valor total por unidade de área do atributo do povoamento definido por $g_i(x)$;

$g_i(x)$ = atributo do povoamento como função de x ;

$f(x, \underline{\theta})$ = função de densidade de probabilidade para x ;

N = número de árvores por unidade de área;

I, u = limite inferior e superior, respectivamente, para o produto descrito por $g_i(x)$.

Essa integral, se implementada sobre a faixa de diâmetros x , para qualquer $g_i(x)$ dá o valor total por unidade de área do atributo do povoamento, que foi definido por $g_i(x)$. Esse atributo pode ser a média dos diâmetros, o volume, área basal por unidade de área. É necessário que o número de equações atributo do povoamento seja igual ao número de parâmetros a serem estimados (SCOLFORO, 1998).

Duas diferentes possibilidades de estimativa dos parâmetros da função Weibull pelo cálculo dos momentos não-centrais (1º momento = diâmetro médio aritmético (\bar{d}); 2º

momento = diâmetro médio quadrático ao quadrado (d_g^2) são citadas na literatura, elas são: o método dos momentos - possibilidade 1, e o método dos momentos - possibilidade 2 (SANTANA, 2008). No presente trabalho foi utilizado a possibilidade 2.

Possibilidade 2

De acordo com Santana (2008), esta segunda possibilidade de ajuste pelo método dos momentos foi descrita por Prado et al. (1995) e Scolforo (1998) e aplicada por Arce (2004) para modelar a distribuição diamétrica de povoamentos de *Populus deltoides* Marsh. Santana (2008) testou vários métodos para o ajuste da função Weibull e concluiu que o Método dos Momentos – Possibilidade 2 foi considerada a melhor para o simulador que o autor desenvolveu.

O método permite estimar os três parâmetros simultaneamente com base nas seguintes equações (ARCE, 2004):

Parâmetro “a” (localização)

$$a = \frac{[\bar{d} - (dg - D_{\min})]}{\left[1 - \frac{1}{n \left(1 + \frac{1}{c}\right)}\right]} \quad (31)$$

Parâmetro “b” (escala):

$$b = \left[\frac{\bar{d} - D_{\min}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)} \right] \cdot \left[1 - \frac{1}{n \left(1 + \frac{1}{c}\right)} \right] \quad (32)$$

Parâmetro “c” (forma):

$$dg^2 = \bar{d}^2 + (\bar{d} - D_{\min})^2 \cdot \frac{\left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right)}{\left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right) \right]^2} \right] - 1}{\left[1 - \left(\frac{1}{n}\right)^{\left(1 + \frac{1}{c}\right)} \right]^2} \quad (33)$$

Em que: \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); dg = diâmetro médio quadrático (cm); D_{\min} = diâmetro mínimo (cm); n = número de diâmetros; Γ = Função gama; a = Parâmetro de localização; b = Parâmetro de escala; c = Parâmetro de forma;

Nota-se que a expressão (33) é função apenas do parâmetro “c” e pode ser resolvida por alguma técnica de iteração, desde que sejam conhecidos o dg , a média aritmética dos

diâmetros (\bar{d}), o diâmetro mínimo (D_{min}) e o número de diâmetros (n). Deste modo, estimado o parâmetro “ c ”, pode-se estimar os parâmetros “ a ” e “ b ” resolvendo-se as expressões (31) e (32), respectivamente (ARCE, 2004).

Desta maneira, foram utilizados modelos para estimar os atributos do povoamento D_{min} , \bar{d} e dg nas diferentes idades. Com a obtenção destes atributos, foi utilizado o método iterativo de Newton para estimativa do parâmetro de forma “ c ” então, os parâmetros “ a ” e “ b ”, puderam ser obtidos apenas resolvendo as equações (31) e (32).

Com os parâmetros da função Weibull recuperados na idade de desbaste pode-se obter a distribuição teórica de diâmetros imediatamente antes da realização do primeiro desbaste. Para a realização das simulações de desbaste foi ajustada a equação adaptada por Knoebell et al. (1986), Scolforo (1990) e Scolforo (1998). Assim, pode-se simular o desbaste e obter o número de árvores removidas em cada classe de diâmetro, além de obter a distribuição remanescente. Para projetar a estrutura diamétrica do povoamento até um segundo desbaste ou corte final, os parâmetros necessários para a recuperação da função Weibull (D_{min} , \bar{d} e dg) foram projetados para a idade desejada. Essa projeção da distribuição diamétrica foi realizada com dados obtidos da distribuição remanescente do desbaste.

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para avaliar a distribuição. O valor D de Kolmogorov-Smirnov é o ponto de maior divergência (máxima diferença) entre a distribuição estimada e a distribuição observada (SCOLFORO, 1998; BARRA, 2004). Pode ser calculado da seguinte forma:

$$D = SUP |F(x) - S(x)| \quad (34)$$

Em que: $F(x)$ = Probabilidade da função de distribuição de frequência acumulativa observada da amostra x_i ($i = 1, 2, \dots, N$); $S(x)$ = Probabilidade da função de distribuição de frequência acumulativa teórica.

Conclusão do teste:

$$D_{calc} = D/N$$

Onde: D = Valor de maior divergência da distribuição; N = Número total de árvores.

Se $D_{calc} < D_n(\alpha)$, aceita-se o ajuste. $D_n(\alpha)$ é tabelar, nível α de 1% de probabilidade para N indivíduos.

Na sequência são apresentados os modelos utilizados para a predição e projeção dos atributos/características do povoamento, assim como a equação de desbaste utilizada.

4.6. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PREDIÇÃO DE ATRIBUTOS

Nesta etapa foram testados modelos para obter um sistema de equações para estimar os atributos/características dos plantios na idade do primeiro desbaste (D1). É importante salientar que, os atributos modelados, foram aqueles requisitados para recuperação dos parâmetros da função Weibull pelo Método dos Momentos na idade do primeiro desbaste.

4.6.1. Desenvolvimento de modelos de sobrevivência (*N*)

Os modelos de sobrevivência foram ajustados com dados de povoamentos sem desbastes. Considerou-se que depois dos desbastes não ocorreu mortalidade pois, nas parcelas com dados de plantios com desbaste observou-se que a mortalidade foi praticamente nula. Para o ajuste dos modelos de sobrevivência foram utilizados dados do número de árvores sobreviventes oriundos de 46 parcelas permanentes sem desbaste.

Além dos modelos que estimam a sobrevivência com dados de parcelas permanentes, foram testados também, modelos que utilizam o número de árvores sobreviventes em função do número de árvores plantadas, substituindo o número de árvores plantadas pelo número de árvores da parcela menos o número de falhas de plantio e, o número de árvores sobreviventes como sendo o número de árvores da parcela menos as árvores marcadas como mortas. Este artifício foi utilizado para melhoria dos ajustes, uma vez que quando utilizava-se o número de árvores plantadas, os ajustes foram ruins porque o número de falhas de plantio era muito irregular e os modelos ajustados não conseguiam explicar esta variação. Como nos dados de inventário existia a marcação das falhas e das árvores mortas, foi possível fazer tais modificações para melhoria dos ajustes. Para estes ajustes foram utilizados dados de 227 parcelas sem desbaste. Os modelos testados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Modelos de sobrevivência testados

Autor/fonte	Modelo	Eq.
Pienaar e Shiver	$\ln(N_2) = \ln(N_1) - \beta_1(I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2})$	(35)
Lenhart	$N_2 = N_1 \exp \left[\beta_1(I_2 - I_1) + \beta_2 \left(\ln \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \right) \right]$	(36)
Clutter	$N_2 = N_1 \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^{\beta_1} \cdot \exp [(\beta_0 + \beta_2 S)(I_2 - I_1)]$	(37)
Acerbi Jr. et al. (2002)	$N_2 = N_1 \{ \exp [I_2 (\beta_1 + \beta_2 \ln(N_1) + \beta_3 S)] \}$	(38)
Feducia et al.	$N_s = N_p / [\exp(I(\beta_1 \ln(N_p) + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 (h_{dom}^{1/2})))]$	(39)
Burkhardt e Sprinz 1984	$N_s = \{N_p \cdot [\exp(I(\beta_0 - \beta_1 \ln(N_p)))]\}$	(40)
Acerbi Jr. et al. (2002) Modificado	$N_s = N_p \{ \exp [I_2 (\beta_1 + b_2 \ln(N_1) + \beta_3 S)] \}$	(41)

Onde: N_2 = número de árvores/ha na idade 2; N_1 = número de árvores/ha na idade 1; I_1 = idade 1 (anos); I_2 = Idade 2 (anos); N_s = número de árvores da medição feita na idade I ; N_p = número de árvores/ha plantadas menos falhas de plantio; exp = exponencial; h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); S = índice de sítio; \ln = logaritmo natural. β_{is} = coeficientes de regressão a serem estimados; Eq. = número da equação.

4.6.2. Modelos para área basal (G)

Os modelos testados para estimar a área basal estão na Tabela 6. Estes modelos foram ajustados para povoamentos sem desbastes. Para o ajuste dos modelos foram utilizados dados de 505 parcelas, com idade variando de 2,5 a 17,1 anos, e área basal variando de 6,73 a 69,89 m²/ha.

Tabela 6. Modelos testados para estimar área basal (G)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Scolforo (1998)	$\ln(G) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_2 S + \beta_3 \ln\left(\frac{1}{N}\right)$	(42)
Santana (2008)	$G = \beta_0 + \beta_1 \ln(I) + \beta_2 \ln(N)$	(43)
Scolforo (1990)	$\ln(G) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \beta_2 \ln(N) + \beta_3 \ln(S) + \beta_4 \ln\left(\frac{N}{I}\right) + \beta_5 \ln(S \cdot I)$	(44)
Scolforo (1990)	$\ln(G) = \beta_0 + \beta_1 \ln(N) + \beta_2(I) + \beta_3 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_4 \left(\frac{1}{S}\right)$	(45)
Scolforo (1990)	$\ln(G) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_2 S + \beta_3 \left(\frac{1}{N}\right)$	(46)
Scolforo (1998)	$G = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 h_{dom}$	(47)

Onde: G = área basal (m^2/ha); I = Idade (anos); S = índice de sítio; N = número de árvores por hectare; h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.6.3. Modelos para estimar Diâmetro mínimo (D_{min})

Na Tabela 7 são apresentados os modelos testados para estimar o diâmetro mínimo.

Tabela 7. Modelos testados para estimar diâmetro mínimo (D_{min})

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Santana (2008)	$D_{min} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d} + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \sqrt{S^2 d} + \beta_4 \ln(G) + \beta_5 dg$	(48)
Scolforo	$D_{min} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 \left(\frac{h_{dom}}{I}\right) + \beta_3 N + \beta_4 dg$	(49)
Cao et al.	$D_{min} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \beta_2 \ln(h_{dom}) + \beta_3 \ln(G) + \beta_4 \ln(N)$	(50)
Lenhart	$\ln(D_{min}) = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 N$	(51)
Burkhart e Daniels	$D_{min} = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 \left(\frac{h_{dom}}{N}\right)$	(52)
Burkhart et al.	$D_{min} = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 (I \cdot N) + \beta_3 \left(\frac{h_{dom}}{N}\right) + \beta_4 (Dg \cdot I)$	(53)
Burkhart e Sprinz	$\ln(D_{min}) = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 \left(\frac{H_{dom}}{I}\right) + \beta_3 N$	(54)

Onde: D_{min} = diâmetro mínimo (cm); G = área basal (m^2/ha); h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); N = número de árvores por ha; I = idade (anos); $S^2 d$ = variância dos diâmetros (cm^2); dg = diâmetro médio quadrático (cm); \bar{d} = diâmetro médio (cm); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.6.4. Modelos para estimar a variância dos diâmetros (S^2d)

Scolforo (1990) comentou sobre a necessidade de estimar os dois primeiros momentos não centrais (\bar{d} e dg^2) e que, embora seja possível desenvolver equações para prever os diâmetros médios (\bar{d} e dg) em qualquer povoamento, infelizmente, com a utilização deste procedimento podem ocorrer problemas no recálculo dos parâmetros da função Weibull. Frazier (1981) *apud* Scolforo (1990) observou que estimativas independentes destes atributos do povoamento podem levar a problemas de convergência, ou seja, $S^2d (dg^2 - \bar{d}^2) < 0$ e conforme Burk e Newberry (1984) *apud* Scolforo (1990) é fundamental que o primeiro momento (\bar{d}) seja menor ou igual ao segundo momento (dg^2). Portanto, estimativas independentes destes dois momentos podem não garantir a condição de que $\bar{d} \leq (d_g^2)^{1/2}$. O uso de algumas relações dendrométricas fundamentais possibilita a eliminação deste possível problema. Assim, como a variância dos diâmetros pode ser dada por: $S^2d = dg^2 - \bar{d}^2$, torna-se possível estimar a variância dos diâmetros, de modo que o diâmetro médio (\bar{d}) seja sempre igual ao diâmetro médio quadrático ao quadrado (dg^2) menos a variância dos diâmetros, extraído a raiz quadrada ($\bar{d} = \sqrt{dg^2 - S^2d}$). Os modelos testados para estimar S^2d são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Modelos testados para estimar variância dos diâmetros (S^2d)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Burk e Burkhart modificado	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \ln(S^2d) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \frac{\beta_2}{h_{dom}} + \beta_3 \ln(G) + \frac{\beta_4}{G}$	(55)
Knoebell e Burkhart	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \beta_0 + \beta_1 \ln(G) + \beta_2 \ln(h_{dom}) + \beta_3 (I \cdot N)$	(56)
Scolforo 1	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \ln(S^2d) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \left(\frac{1}{h_{dom}} \right) + \beta_3 \ln(G)$	(57)
Scolforo 2	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \ln(S^2d) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \ln\left(\frac{G}{N}\right) + \beta_3 \left(\frac{h_{dom}}{I}\right)$	(58)

Onde: S^2d = variância dos diâmetros (cm²); G = área basal (m²/ha); h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); N = número de árvores por ha; I = idade em anos; dg = diâmetro médio quadrático (cm); \bar{d} = média aritmética dos diâmetros (cm); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq. = número da equação.

Desse modo, o diâmetro médio quadrático (dg) e o diâmetro médio aritmético \bar{d} foram obtidos da seguinte maneira:

$$dg^2 = \frac{G}{\left(\frac{\pi}{40000}\right) \cdot N} \quad (59)$$

$$\bar{d} = \{dg^2 - \exp[(\ln(S^2d))]\}^{\left(\frac{1}{2}\right)} \quad (60)$$

4.6.5. Modelos para estimar diâmetro máximo ($D_{máx}$)

Os modelos testados para estimar o diâmetro máximo são apresentados na Tabela 9. O modelo (63) foi citado por Santana (2008) para ajustar D_{min} , tendo sido modificado para ajustar o diâmetro máximo, mantendo as mesmas variáveis independentes, exceto a variância dos diâmetros (S^2d). Ainda foram testados mais dois modelos (64) e (65), os quais foram construídos buscando obter melhores ajustes. Isto foi feito com base na correlação linear entre a variável $D_{máx}$ e outras variáveis do povoamento como por exemplo as variáveis: idade (I), altura dominante (h_{dom}), diâmetro médio quadrático (dg), índice de sítio (S), diâmetro médio aritmético (\bar{d}) e número de árvores por hectare (N). A permanência ou não da variável no modelo se deu em função do p -valor obtido.

Este procedimento também foi adotado para alguns modelos para estimar outros atributos do povoamento. Todos esses modelos são identificados nas tabelas com um “traço” (-) no campo Autor/Fonte.

Tabela 9. Modelos testados para estimar diâmetro máximo ($D_{máx}$)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Scolforo (1998)	$D_{máx} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 \bar{d}$	(61)
Wendling (2007)	$D_{max} = b_0 + b_1 I + b_2 I^2 + b_3 N + b_4 N^2 + b_5 h_{dom} + b_6 h_{dom}^2 + b_7 G + b_8 G^2$	(62)
Santana (2008) Modificado	$D_{máx} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d} + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \ln(G) + \beta_4 dg$	(63)
-	$D_{máx} = \beta_1 I + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 N + \beta_4 dg$	(64)
-	$D_{máx} = \beta_1 I + \beta_2 S + \beta_3 dg$	(65)

Onde: $D_{máx}$ = diâmetro máximo (cm); \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); N = Número de árvores por hectare; I = Idade (anos); dg = diâmetro médio quadrático (cm); G = área basal (m²/ha); h_{dom} = altura dominante (m); S = Índice de Sítio; β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.7. DESBASTES

Para a simulação de desbastes foram testadas duas alternativas diferentes:

- A primeira utilizando uma equação de desbaste – Alternativa 1;
- A segunda obtendo-se a distribuição de diâmetros antes e depois do desbaste, e subtraindo-se o número de árvores por classe de diâmetros estimados antes do desbaste do número de árvores estimado depois do desbaste – Alternativa 2.

4.7.1. Alternativa 1

Para obter a quantidade de árvores a serem removidas em cada classe de diâmetro, adotou-se o seguinte modelo utilizado por Scolforo (1990):

$$P_i = \exp \left[b_1 \left(\frac{d_i^2}{dg^2} \right)^{b_2} \right] \quad (66)$$

Onde:

P_i = proporção de árvores/ha removidas na classe de diâmetro i ; d_i = centro da classe de diâmetro i ; dg = diâmetro médio quadrático (cm); b_1 , b_2 = coeficientes estimados a partir dos dados.

Os ajustes foram realizados separadamente para o primeiro e segundo desbastes. Os dados utilizados para o ajuste da equação de desbaste foram obtidos de parcelas de inventário pré-corte (IPC). Em cada parcela foi feito agrupamento dos dados em classes de diâmetro com amplitude de 2 cm, imediatamente antes de realizar o desbaste. Para o ajuste do modelo para o primeiro desbaste (D1) foram utilizados dados de 97 parcelas e para o ajuste do modelo para o segundo desbaste (D2) foram utilizados dados de 37 parcelas. No inventário pré-corte as árvores selecionadas para sair no desbaste eram marcadas com um código (código E). Os desbastes realizados eram do tipo misto (seletivo sistemático), retirando-se a 5ª linha e as piores árvores, mas evitando a formação de clareiras. Desta maneira, poderiam sair árvores em todas as classes de diâmetro, retirando-se mais árvores nas menores classes de diâmetro.

O número de árvores por hectare antes do D1 variou de 832 a 1586 árvores/ha, com idades entre 5,3 a 7,4 anos. O número de árvores remanescente variou de 400 a 944 árvores/ha depois do D1. Já, os dados para o ajuste do D2 variaram de 347 a 896 árvores/ha antes do D2, com um número de árvores remanescente por hectare de 208 a 432. As idades em que foram realizados o D2 variaram de 7,9 a 12,1 anos.

Na aplicação da equação de desbaste Scolforo (1998) e Campos e Leite (2009) apresentaram os seguintes passos:

- Estima-se a distribuição de diâmetros na idade de desbaste, a partir de um modelo de distribuição diamétrica;
- Inicia-se com a menor classe de diâmetro, removendo a proporção de área basal/número de árvores especificada(os) pela função de remoção;
- Caminha-se pelas classes de diâmetros até que o nível desejado de área basal/número de árvores seja(m) removido(s).
- Caso a área basal/número de árvores desejada(s) não seja(m) removida(os) após o caminhar pelas classes de diâmetro, deve-se retornar às menores classes e remover a área basal/número de árvores remanescente(s) naquelas classes. Repete-se o procedimento, ao longo da distribuição diamétrica até que a área basal/número de árvores a ser removida(o) seja alcançada(o).

4.7.2. Alternativa 2

A alternativa 2 foi baseada em Álvarez et al. (2002), na qual os autores estimaram os parâmetros da função Weibull depois do desbaste de três formas diferentes: a primeira estima os parâmetros em função de atributos do povoamento depois do desbaste; a segunda estima os parâmetros depois do desbaste em função dos parâmetros antes e em função da relação do número de árvores removido pelo número de árvores antes do desbaste, ou esta mesma relação utilizando a área basal no lugar do número de árvores; a terceira metodologia utilizada pelos autores era baseada na relação direta entre a distribuição da frequência acumulada antes e depois do desbaste como uma função do peso do desbaste. Para o presente trabalho foram testados os modelos utilizados pelos autores nas duas primeiras metodologias. Além dos modelos utilizados para estimar os parâmetros da função Weibull depois dos desbastes utilizados pelos autores, outros modelos foram desenvolvidos de maneira similar ao procedimento citado no item 4.6.5. As principais variáveis utilizadas na construção destes modelos foram: diâmetro mínimo (D_{min}), diâmetro médio aritmético (\bar{d}) e o diâmetro médio quadrático (dg), que são as variáveis utilizadas pelo Método dos Momentos para estimativa dos parâmetros da função Weibull.

Os modelos para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro e do segundo desbastes foram ajustados separadamente. Para o ajuste dos modelos foi necessário estimar os parâmetros da função Weibull parcela por parcela, antes e depois dos desbastes. Para tal foi utilizado o Método dos Momentos. Após a estimativa dos parâmetros para cada parcela foi realizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para cada parcela.

Na sequência são apresentados os modelos testados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro e do segundo desbastes:

a) Modelos testados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro desbaste (D1)

Antes das estimativas dos parâmetros da função Weibull depois do primeiro desbaste utilizando-se os modelos das Tabelas 11, 12 e 13, foram necessários gerar modelos para estimar as variáveis independentes dos modelos como o $D_{min_{depois}}$ (diâmetro mínimo depois do desbaste), o dg_{depois} (diâmetro médio quadrático depois do desbaste) e o \bar{d}_{depois} (diâmetro médio aritmético depois do desbaste).

Os modelos testados por Álvarez et al. para estimar os parâmetros depois do desbaste não utilizavam a variável $D_{min_{depois}}$ como variável independente nos modelos. Como essa variável entrou nos modelos desenvolvidos foi preciso também desenvolver modelos para estimar tal variável. A fórmula usada por Álvarez et al. para obter o dg_{depois} envolvia a relação da área basal antes do desbaste com a área basal removida, e como no presente trabalho foi utilizado apenas a relação do número de árvores, outros modelos foram desenvolvidos para estimar o dg_{depois} . Para estimar o \bar{d}_{depois} foi testado o modelo citado pelos autores e desenvolvidos mais dois modelos para estimar esta variável. Estes modelos foram desenvolvidos de maneira similar aos citados no item 4.6.5. e estão na Tabela 10.

Tabela 10. Modelos testados para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do primeiro desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
-	$D \min_{depois} = \beta_1 dg_{depois}$	(67)
-	$D \min_{depois} = \beta_1 D \min_{antes} + \beta_2 dg_{depois}$	(68)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes}$	(69)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 I$	(70)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \ln(I)$	(71)
Álvarez et al.	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_{antes}$	(72)
-	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 I$	(73)
-	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois}$	(74)

Onde: $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{antes}$ = diâmetro mínimo antes do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{antes} = diâmetro médio quadrático antes do desbaste (cm); I = Idade (anos); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

Tabela 11. Modelos testados para estimar o parâmetro “a” da função Weibull depois do primeiro desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$a_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois}$	(75)
Álvarez et al. (Método 2)	$a_{depois} = \beta_1 a_{antes} + \beta_2 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	(76)
-	$a_{depois} = \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 D \min_{depois}$	(77)
-	$a_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 D \min_{depois}$	(78)
-	$a_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois}$	(79)

Onde: a_{depois} = parâmetro de locação “a” depois do desbaste; a_{antes} = parâmetro de locação “a” antes do desbaste; $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

Tabela 12. Modelos testados para estimar o parâmetro “b” da função Weibull depois do primeiro desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois}$	(80)
Álvarez et al. (Método 2)	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 b_{antes} + \beta_2 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	(81)
-	$b_{depois} = \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 \bar{d}_{depois} + \beta_3 \bar{d}_{antes}$	(82)
-	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 \bar{d}_{depois}$	(83)

Onde: b_{depois} = parâmetro de escala “b” depois do desbaste; b_{antes} = parâmetro de escala “b” antes do desbaste; $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); \bar{d}_{antes} = diâmetros médio aritmético antes do desbaste (cm); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

Tabela 13. Modelos testados para estimar o parâmetro “c” da função Weibull depois do primeiro desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$c_{depois} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{\ln(\bar{d}_{depois} / dg_{depois})}$	(84)
Álvarez et al. (Método 2)	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 c_{antes} + \beta_2 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	(85)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 dg_{depois} + \beta_3 \bar{d}_{depois}$	(86)
-	$c_{depois} = \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 dg_{depois} + \beta_3 \bar{d}_{depois}$	(87)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 b_{depois} + \beta_2 D \min_{depois} + \beta_3 dg_{depois} + \beta_4 \bar{d}_{depois}$	(88)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 b_{depois} + \beta_2 \left(\frac{N_{removido}}{N_{antes}} \right) + \beta_3 D \min_{depois} + \beta_4 dg_{depois} + \beta_5 \bar{d}_{depois}$	(89)

Onde: c_{depois} = parâmetro de forma “c” depois do desbaste; c_{antes} = parâmetro de forma “c” antes do desbaste; b_{depois} = parâmetro “b” depois do desbaste; dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

b) Modelos testados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do segundo desbaste (D2)

Como, no caso dos modelos que estimam os parâmetros da função Weibull depois do primeiro desbaste, foi necessário ajustar modelos para estimar as variáveis independentes dos modelos que estimam os parâmetros da função Weibull depois do segundo desbaste (D2). Estes modelos são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Modelos testados para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
-	$D \min_{depois} = \beta_1 dg_{depois}$	(90)
-	$D \min_{depois} = \beta_1 D \min_{antes} + \beta_2 dg_{depois}$	(91)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes}$	(92)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 I$	(93)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \ln(I)$	(94)
-	$dg_{depois} = \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \bar{d}_{antes}$	(95)
Álvarez et al.	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_{antes}$	(96)
-	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 I$	(97)
-	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois}$	(98)

Onde: $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{antes}$ = diâmetro mínimo antes do desbaste (cm); \bar{d}_{antes} = diâmetro médio aritmético antes do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{antes} = diâmetro médio quadrático antes do desbaste (cm); I = Idade (anos); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

Os modelos testados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do segundo desbaste são apresentados nas Tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15. Modelos testados para estimar o parâmetro “a” da função Weibull depois do segundo desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$a_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois}$	(99)
Álvarez et al. (Método 2)	$a_{depois} = \beta_1 a_{antes} + \beta_2 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	(100)
-	$a_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois}$	(101)
-	$a_{depois} = \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 dg_{depois}$	(102)

Onde: a_{depois} = parâmetro de locação “a” depois do desbaste; a_{antes} = parâmetro de locação “a” antes do desbaste; $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

Tabela 16. Modelos testados para estimar o parâmetro “b” da função Weibull depois do segundo desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois}$	(103)
Álvarez et al. (Método 2)	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 b_{antes} + \beta_2 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	(104)
-	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 \bar{d}_{depois}$	(105)
-	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 \bar{d}_{depois} + \beta_3 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	(106)
-	$\ln(b_{depois}) = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 \bar{d}_{depois}$	(107)

Onde: b_{depois} = parâmetro de escala “b” depois do desbaste; b_{antes} = parâmetro de escala “b” antes do desbaste; $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq.= número da equação.

Tabela 17. Modelos testados para estimar o parâmetro “c” da função Weibull depois do segundo desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$c_{depois} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{\ln(\bar{d}_{depois} / dg_{depois})}$	(108)
Álvarez et al. (Método 2)	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 c_{antes} + \beta_2 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	(109)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 dg_{depois} + \beta_3 \bar{d}_{depois}$	(110)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 b_{depois} + \beta_2 D \min_{depois} + \beta_3 dg_{depois} + \beta_4 \bar{d}_{depois}$	(111)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 D \min_{depois} + \beta_3 dg_{depois} + \beta_4 \bar{d}_{depois}$	(112)

Onde: c_{depois} = parâmetro de forma “c” depois do desbaste; c_{antes} = parâmetro de forma “c” antes do desbaste; dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); b_{depois} = parâmetro escala “b” depois do desbaste; $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); β_{is} = coeficientes a serem estimados; Eq. = número da equação.

4.8. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PROJEÇÃO DE ATRIBUTOS

Para projetar os parâmetros da função Weibull depois dos desbastes utilizando o Método dos Momentos, foi necessário projetar os atributos requeridos por este método, ou seja, foi necessário projetar o diâmetro mínimo (D_{min}), o diâmetro médio quadrático (dg) e o diâmetro médio aritmético (\bar{d}) remanescentes depois do desbaste para a próxima idade de intervenção. Para tal, dados das parcelas permanentes foram utilizados para ajustar modelos que projetem estes atributos/características para uma próxima intervenção (desbaste ou corte final).

Em função do número de parcelas com remedições para cada uma das situações desejadas, ou seja, dados de plantios que sofreram um desbaste ou dois desbastes serem inferiores, em alguns casos, a 30 observações, todas as parcelas disponíveis com remedições foram utilizadas para o ajuste dos modelos. Um sistema similar foi utilizado por Nogueira et al. (2005), em que os autores utilizaram dados de todas as medições para o ajuste dos modelos, obtendo-se um sistema único para projetar as distribuições diamétricas antes e depois dos desbastes.

Foram utilizadas 127 parcelas com remedições existentes no banco de dados oriundos dos inventários florestais contínuos (IFC) realizados em 2004, 2007 e 2008. Assim sendo, as idades das árvores medidas variaram de 2,6 a 16,6 anos, contemplando parcelas sem desbaste (D0), com um desbaste (D1) e com dois desbastes (D2).

Vários modelos foram testados para projetar os atributos/características da população a partir de uma idade inicial (I_1) para uma idade futura (I_2). Com a obtenção dos atributos requeridos pelo Método dos Momentos, foram obtidos os novos parâmetros da função Weibull na idade desejada, obteve-se, assim, a nova distribuição diamétrica teórica da população.

Na sequência são apresentados os modelos testados para projetar os atributos/características da população depois dos desbastes:

4.8.1. Área basal

Tabela 18. Modelos testados para estimar a área basal futura (G_2)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Scolforo 1	$G_2 = \beta_1 G_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(N_2) + \beta_3 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(h_{dom2}) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(I_2)$	(113)
Scolforo 2	$G_2 = \beta_1 G_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(N_2) + \beta_3 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(h_{dom2}) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) I_2^2$	(114)
Clutter	$\ln(G_2) = \ln(G_1) \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S$	(115)

Onde: G_1 = Área basal na idade 1 (m^2/ha); G_2 = Área basal na idade 2 (m^2/ha); N_2 = Número de árvores na idade 2 (N/ha); S = Índice de sítio; I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); h_{dom2} = Altura média das árvores dominantes na idade 2 (m); β_{is} = Parâmetros a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.8.2. Variância dos diâmetros

A forma matemática do modelo de sobrevivência (N_2) proposto por Pienaar e Shiver (1981) foi utilizada por Nogueira (2003) para estimar o diâmetro mínimo (D_{min2}). No presente trabalho, além de testar esta forma matemática para projetar D_{min2} , ela também foi testada para projetar a variância dos diâmetros (S^2d_2), o diâmetro médio aritmético (\bar{d}_2), o diâmetro médio quadrático (dg_2) e o diâmetro máximo ($D_{máx2}$).

Tabela 19. Modelos testados para estimar a variância dos diâmetros futura (S^2d_2)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Santana (2008)	$S^2d_2 = \beta_1 S^2d_1 + \beta_2 G_1 + \beta_3 G_2$	(116)
Nogueira (2003) Modificado	$S^2d_2 = S^2d_1 e^{(-\beta_1 \cdot (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	(117)
-	$S^2d_2 = \beta_0 + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_2 D_{\min 2} + \beta_3 S^2d_1 + D_{\max 2}$	(118)

Onde: S^2d_2 = Variância dos diâmetros na idade 2 (cm²); S^2d_1 = Variância dos diâmetros na idade 1 (cm²); \bar{d}_2 = Média aritmética dos diâmetros na idade 2 (cm); dg_2 = diâmetro médio quadrático na idade 2; G_1 = Área basal na idade 1 (m²/ha); G_2 = Área basal na idade 2 (m²/ha); I_1 = Idade da plantação na idade 1 (anos); I_2 = Idade da plantação na idade 2 (anos); $D_{\min 2}$ = Diâmetro mínimo na idade 2 (cm); $D_{\max 2}$ = Diâmetro máximo na idade 2 (cm); β_{is} = Parâmetros a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.8.3. Diâmetro Mínimo

Tabela 20. Modelos testados para projetar o diâmetro mínimo ($D_{\min 2}$)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Nogueira (2003)	$D_{\min 2} = D_{\min 1} e^{(-\beta_1 \cdot (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	(119)
Scoloro (SANTANA,2008)	$D_{\min 2} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_2 + \beta_2 h_{dom 2} + \beta_3 Sd_2 + \beta_4 \ln(G_2) + \beta_5 (dg_2)$	(120)
Abreu (SANTANA,2008)	$D_{\min 2} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_2 + \beta_2 h_{dom 2} + \beta_3 Sd_2 + \beta_4 \ln(G_2) + \beta_5 (I_2)$	(121)
-	$D_{\min 2} = \beta_1 D_{\min 1} + \beta_2 \frac{I_1}{I_2} + \beta_3 dg_2$	(122)

Onde: $D_{\min 1}$ = Diâmetro mínimo na idade 1 (cm); $D_{\min 2}$ = Diâmetro mínimo na idade 2 (cm); \bar{d}_2 = Diâmetro médio (cm) na idade 2; dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); Sd_2 = Desvio padrão dos diâmetros na idade 2 (cm); G_2 = Área basal na idade 2 (m²/ha); I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); β_{is} = Parâmetros a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.8.4. Diâmetro médio aritmético

Além dos modelos de área basal e variância dos diâmetros, que permitem estimar o diâmetro médio aritmético (\bar{d}) e o diâmetro médio quadrático dg , como já mencionado

anteriormente no item 4.6.4., foram desenvolvidos alguns modelos para estimar o \bar{d}_2 e o dg_2 independentemente. Estes modelos são apresentados na sequência.

Tabela 21. Modelos testados para projetar o diâmetro médio (\bar{d}_2)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Nogueira (2003) Modificado	$\bar{d}_2 = \bar{d}_1 e^{(-\beta_1 \cdot (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	(123)
Santana (2008)	$\bar{d}_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_2 + \beta_2 (h_{dom2})^{0,2} + \beta_3 I_2 + \beta_4 D_{máx2}$	(124)
-	$\bar{d}_2 = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 h_{dom2}$	(125)
-	$\bar{d}_2 = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 dg_2$	(126)

Onde: \bar{d}_2 = Diâmetro médio (cm) na idade 2; \bar{d}_1 = Diâmetro médio (cm) na idade 1; h_{dom2} = altura dominante na idade 2; $D_{máx2}$ = Diâmetro máximo na idade 2 (cm); dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); β_{is} = Parâmetros a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.8.5. Diâmetro médio quadrático

Tabela 22. Modelos testados para projetar o diâmetro médio quadrático (dg_2)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Nogueira (2003) Modificado	$dg_2 = dg_1 e^{(-\beta_1 \cdot (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	(127)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 h_{dom2}$	(128)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 \bar{d}_1$	(129)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 I_2$	(130)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 \frac{I_1}{I_2}$	(131)

Onde: dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); \bar{d}_1 = Diâmetro médio (cm) na idade 1; h_{dom2} = altura dominante na idade 2; I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); β_{is} = Parâmetros a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.8.6. Diâmetro Máximo

Tabela 23. Modelos testados para projetar o diâmetro máximo ($D_{máx2}$)

Autor/Fonte	Modelo	Eq.
Nogueira (2003) Modificado	$D_{máx2} = D_{máx1} e^{(-\beta_1 \cdot (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	(132)
Nogueira (2003)	$D_{máx2} = D_{máx1} \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dg_2$	(133)
Santana (2008)	$D_{máx2} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(h_{dom2}) + \beta_2 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(I_2) + \beta_3 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(N_2) + \beta_4 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(G_2)$	(134)
-	$D_{máx2} = \beta_0 + \beta_1 D_{máx1} + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	(135)

Onde: $D_{máx2}$ = Diâmetro máximo na idade 2 (cm); $D_{máx1}$ = Diâmetro máximo na idade 1 (cm); dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); I_1 = Idade inicial do plantio (anos); I_2 = Idade futura da plantio (anos); N_2 = Número de árvores na idade 2 (N/ha); G_2 = Área basal na idade 2 (m²/ha); β_{is} = Parâmetros a serem estimados; Eq.= número da equação.

4.9. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CLASSES DE DIÂMETRO OBTIDAS ANTES E DEPOIS DE CADA INTERVENÇÃO

Após a seleção dos modelos para predição dos parâmetros da função Weibull na idade de desbaste, foram obtidos os parâmetros para cada uma das 97 parcelas do inventário pré-corte (IPC) marcadas para a efetivação do primeiro desbaste. Com os parâmetros da função Weibull estimados na idade do primeiro desbaste, realizou-se a distribuição diamétrica para as parcelas do IPC e aplicou-se o teste K-S para cada uma para avaliar a distribuição estimada obtida. O teste K-S compara a frequência acumulada estimada com a frequência acumulada observada. O valor D de K-S é o ponto de máxima divergência (máxima diferença) entre a distribuição estimada e a distribuição observada (SCOLFORO, 1998; BARRA, 2004). De acordo com Carelli Netto (2008) o teste de K-S de uma amostra considera que, na medida em que o valor D resultante se aproxima de zero, a amostra é melhor representada pela distribuição teórica que está sendo avaliada.

Para cada sítio foram realizadas para a distribuição média observada e estimada o cálculo do número de árvores/ha, o volume/ha e área basal por classe de DAP.

Com a equação de desbaste selecionada, simulou-se o desbaste e os atributos médios da população remanescente foram projetados até o segundo desbaste com os modelos selecionados para este fim (Item 4.8.).

Com os dados disponíveis do IPC foram realizadas comparações do número de árvores, da área basal e do volume removidos/ha em cada intervenção. Esta comparação não foi possível de ser realizada para todos os sítios em todas as intervenções, em função da não disponibilidade de dados em alguns casos.

Para a comparação dos volumes prognosticados com os volumes observados por classe diamétrica, utilizou-se o teste de identidade L&O proposto por Leite e Oliveira (2002), cujo procedimento resulta da combinação do teste de F(H_0) Graybill, do teste t para erro médio (t) e da análise de correlação linear ($r_{y_j y_1}$) entre os valores observados (Y_j) e os valores estimados (Y_1). O teste compara o valor observado como variável dependente e o valor estimado como variável independente.

Além das avaliações para volume, o teste L&O foi realizado para o número de árvores e para a área basal por classes de DAP. As regras de decisão para a comparação dos valores observados com os estimados são apresentadas na Tabela 24 e em todos os casos o nível de significância adotado foi 1%.

Tabela 24. Regra de decisão para comparação

Situação	F(H_0)	t \bar{e}	$r_{y_j y_1}$	Decisão
1	ns	ns	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j = Y_1$
2	ns	ns	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
3	ns	*	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
4	ns	*	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
5	*	ns	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
6	*	ns	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
7	*	*	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
8	*	*	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$

ns e * denotam, respectivamente, não significativo e significativo ao nível de α de probabilidade.
Fonte: Leite e Oliveira (2002).

Quando o erro médio é não significativo, é também necessário que o valor da correlação do coeficiente seja mais alto que $(1 - |\bar{e}|)$ e que F(H_0) seja não significativo. A situação 5 pode ser aceitável em alguns casos, principalmente quando o quadrado médio do resíduo (QM_{res}) é muito pequeno. Neste caso, o valor de F(H_0) tende a ser alto, resultando em significativo. Isto ocorre quando os resultados dos dois métodos estão muito perto. Neste caso, alguma pequena diferença pode tornar o teste F significativo (LEITE e OLIVEIRA, 2002).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência são apresentados os resultados para os ajustes dos modelos testados para o processo de simulação do crescimento e produção para os plantios de *Eucalyptus grandis* na região de Telêmaco Borba – PR. Os modelos destacados em negrito foram selecionados para estimar o atributo/característica em questão.

5.1. ETAPA PRELIMINAR

5.1.1. Equação hipsométrica

Na Tabela 25 estão os resultados dos ajustes dos modelos para estimar a altura. Os modelos de Prodan (14) e Curtis (15), que estimam a altura em função da idade e do DAP, apresentam estatísticas semelhantes; ambos os modelos têm uma tendência em superestimar as alturas nos menores diâmetros (Figura 3). Os modelos (16) e (17), que envolvem, além das variáveis idade e DAP, o sítio ou a altura dominante, apresentaram estatísticas superiores aos outros dois modelos, porém apresentam, também, tendência em superestimar as alturas nos menores diâmetros. O Modelo (16) apresentou estatísticas um pouco superiores em relação ao Modelo (17), a dispersão de resíduos foi similar para os dois modelos, no entanto, os resíduos para o Modelo (16) estão mais próximos ao eixo-x que o Modelo (17), sendo portanto o modelo escolhido para estimar a altura total.

Tabela 25. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados com respectivos coeficientes de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	Syx (m)	Syx%	n	Eq.
Prodan modificado	$h - 1,3 = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d \cdot I}$	$\beta_0 = 2,84511$ $\beta_1 = 0,53586$ $\beta_2 = 0,01771$ $\beta_3 = -0,02668$	0,9107	3,61	11,5	5776	(14)
Curtis	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \left(\frac{1}{dI}\right)$	$\beta_0 = 4,25480$ $\beta_1 = -12,12640$ $\beta_2 = -3,03258$ $\beta_3 = 18,25661$	0,9152	3,51	11,2	5776	(15)
Nogueira (2003)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \left(\frac{1}{d}\right) + \beta_3 \ln(I)$	$\beta_0 = 2,23256$ $\beta_1 = 0,01657$ $\beta_2 = -7,65226$ $\beta_3 = 0,36155$	0,9497	2,86	9,4	5776	(16)
Nogueira (2003)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \left(\frac{1}{d}\right)$	$\beta_0 = 2,93275$ $\beta_1 = -0,00968$ $\beta_2 = 0,02585$ $\beta_3 = -7,75498$	0,9467	2,95	9,7	5776	(17)

Onde: h = Altura total (m); d = DAP (cm); I = Idade do povoamento (anos); h_{dom} = altura dominante (m); S = Índice de Sítio; β_{is} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

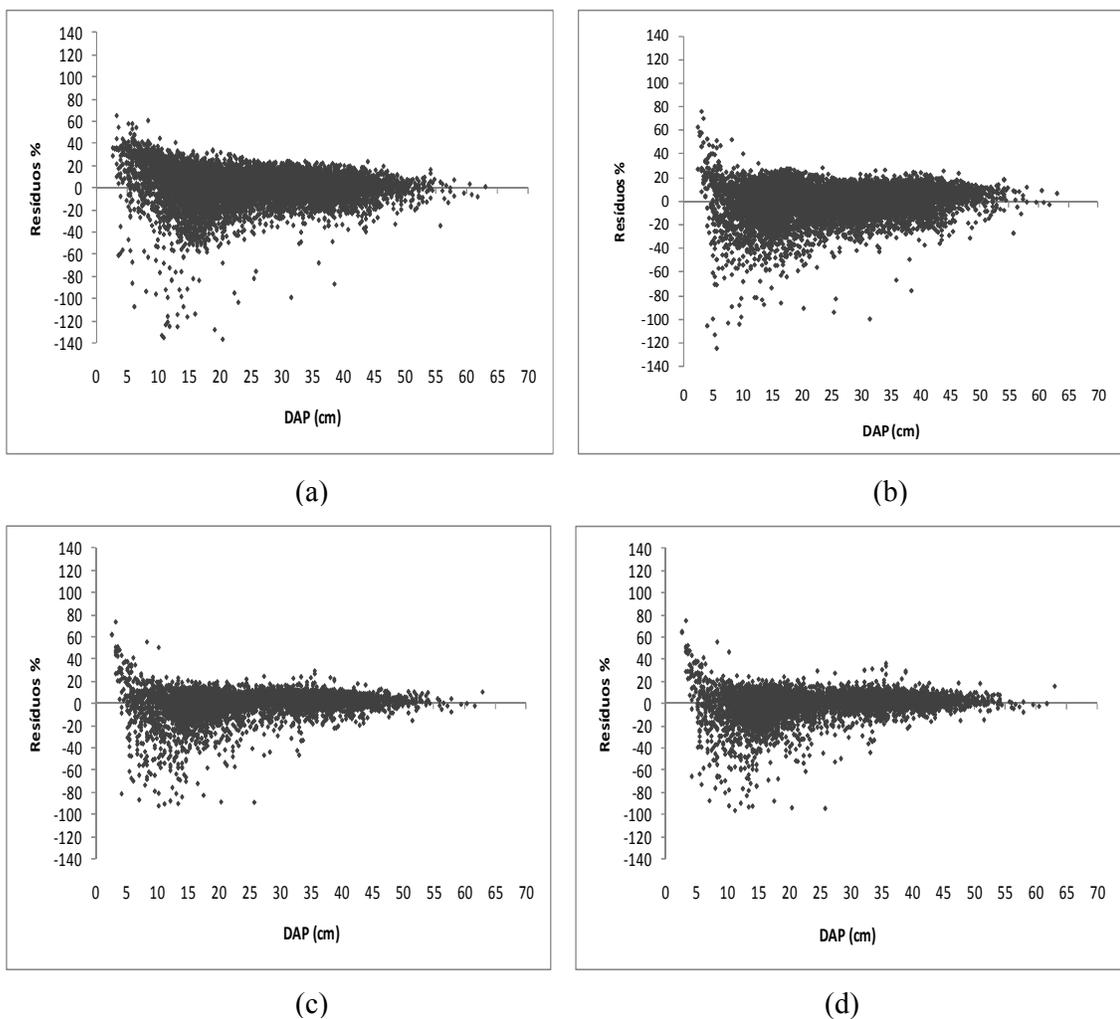


Figura 3. Distribuição de resíduos - (a): Prodan (14); (b): Curtis (15); (c): Modelo (16); (d): Modelo (17).

Modelos que estimam a altura em povoamentos de eucaliptos envolvendo as variáveis sítio e altura dominante foram utilizados por Dias (2000), Soares (2002), Nogueira (2003), Dias (2005) e Soares et al. (2007) obtendo bons resultados para o ajuste, como os observados neste trabalho para os modelos (16) e (17).

5.1.2. Curvas de sítio

Na Tabela 26 são apresentados os modelos ajustados com as estimativas de seus parâmetros e as estatísticas R^2_{adj} e S_{yx} . Observa-se que os modelos de Chapman-Richards e o

de Mitscherlich apresentaram as melhores estatísticas, seguidos pelos modelos de Schumacher e Clutter-Jones.

Tabela 26. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelos	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (m)	S_{yx} %	n	Eq.
Schumacher	$\ln(h_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I}\right)$	$\beta_0 = 4,01934$ $\beta_1 = -3,40159$	0,8870	3,53	9,3	1191	(18)
Chapman-Richards	$h_{dom} = \beta_0 [(1 - \exp(-\beta_1 \cdot I))]^{\beta_2}$	$\beta_0 = 52,0808$ $\beta_1 = 0,12874$ $\beta_2 = 0,90291$	0,8966	3,38	8,9	1191	(19)
Mitscherlich	$h_{dom} = \beta_0 - \beta_1 \cdot \beta_2^I$	$\beta_0 = 51,8$ $\beta_1 = 49,6282$ $\beta_2 = 0,873896$	0,8966	3,38	8,9	1191	(20)
Clutter-Jones	$h_{dom} = \beta_0 \cdot [1 + \beta_1 \cdot I^{\beta_2}]^{\beta_3}$	$\beta_0 = 5,73641$ $\beta_1 = 59,1102$ $\beta_2 = 2,38608$ $\beta_3 = 0,194967$	0,8675	3,82	10,1	1191	(21)

Em que: h_{dom} = altura dominante; S = índice de sítio na idade índice; I = idade do indivíduo no momento da medição da altura; β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Por meio da análise gráfica de resíduos (Figura 4) pode-se observar que no modelo de Clutter-Jones a partir dos 19 anos há uma tendência do modelo em superestimar as alturas. Nas primeiras idades todos os modelos apresentaram uma tendência em superestimar as alturas. Os modelos de Schumacher, Chapman-Richards e o de Mitscherlich apresentaram uma distribuição de resíduos semelhante.

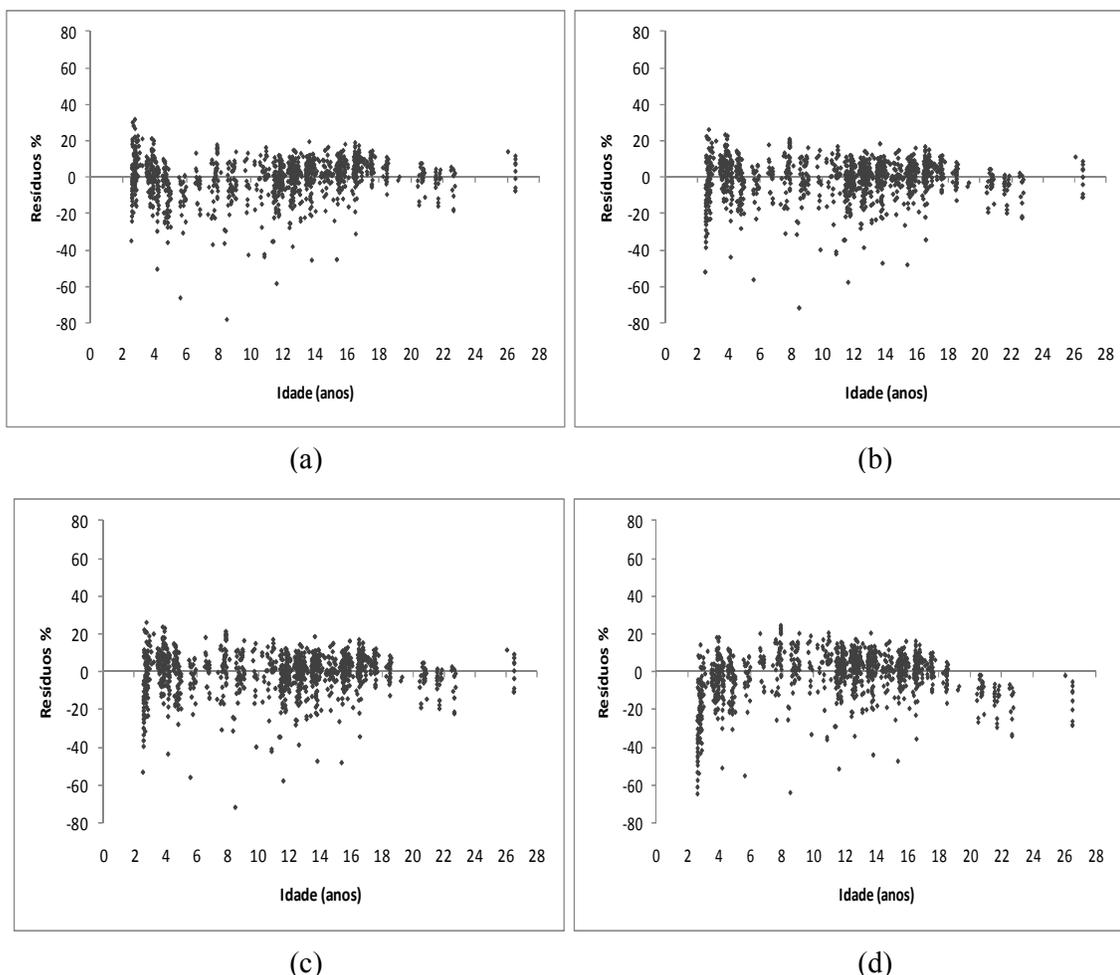


Figura 4. Distribuição de resíduos para a relação $h_{dom} \times Idade$. (a): Schumacher; (b): Chapman-Richards; (c): Mitscherlich; (d): Clutter-Jones.

Para cada modelo testado foram construídas as curvas de sítio, com amplitude de 5 m. Essa amplitude foi definida em função da distribuição dos valores observados de $h_{dom} \times Idade$ nas várias idades e na idade índice de 15 anos. Assim, foram definidas cinco classes de sítio para cada modelo e os índices de sítio variaram de 33 a 53 m na idade índice de 15 anos. Esse procedimento possibilitou que as curvas englobassem todos os dados e com valores inteiros, de fácil aplicação prática.

Na Figura 5 podem-se observar as curvas construídas para cada modelo. As curvas geradas pelos modelos de Schumacher e Chapman-Richards se ajustaram bem aos dados, abrangendo a grande maioria destes. As curvas geradas pelo modelo de Mitscherlich também se ajustaram bem aos dados, porém nas primeiras idades as curvas são mais distantes umas das outras que nos demais modelos. O modelo de Clutter-Jones apresentou uma inclinação

mais acentuada que os demais modelos, não representando bem o que acontece com as alturas nas maiores idades, que tem tendência assintótica.

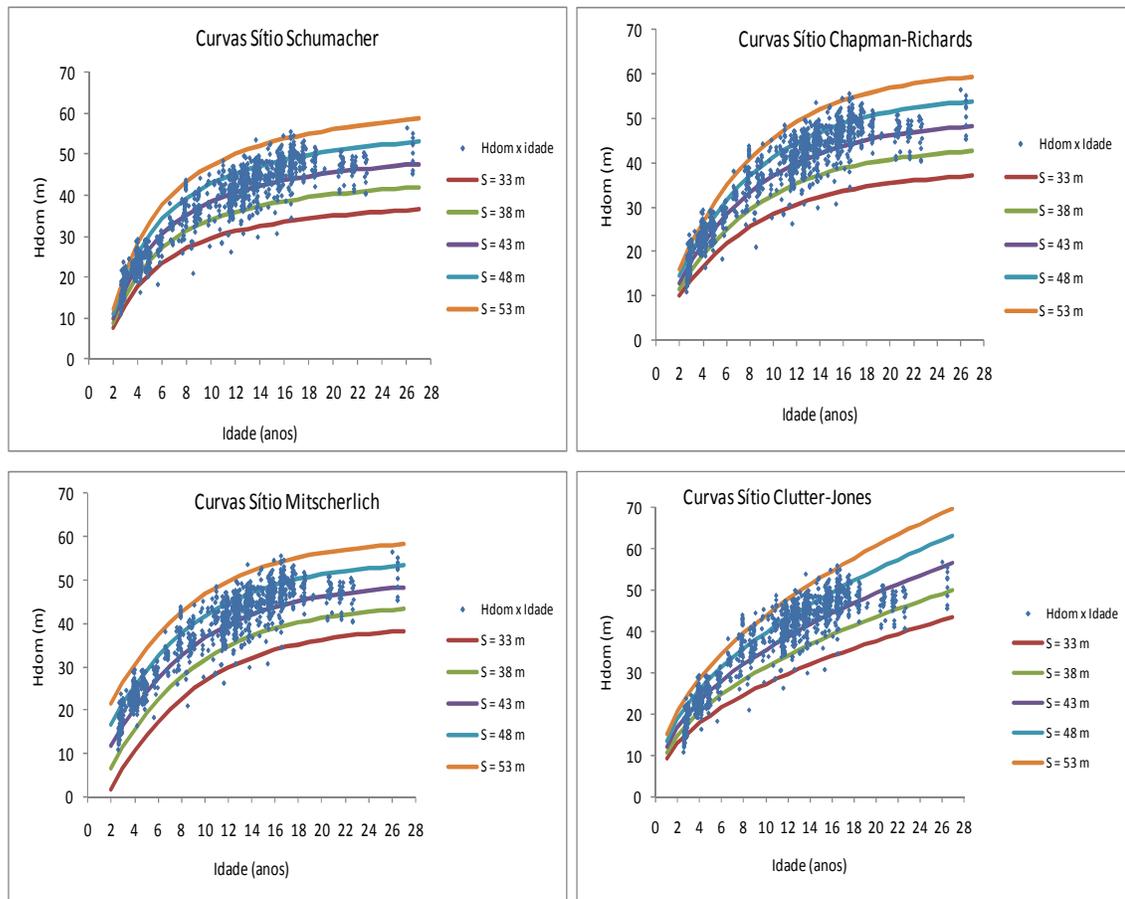


Figura 5. Curvas de sítio para os quatro modelos testados.

Os modelos testados para expressar as curvas de sítio apresentaram boas estatísticas de ajuste e precisão com vantagens para o modelo biológico de Chapman-Richards que apresentou resultados um pouco superiores, além de apresentar características lógicas esperadas em projeções sendo, portanto, o modelo escolhido para estimar os índices de sítio.

O modelo de Chapman -Richards, escolhido para estimar os índices de sítio, também foi selecionado por Santana (2008) para classificar a qualidade produtiva de *Eucalyptus grandis* na região nordeste do Paraná. O autor justificou a escolha, salientando que além dos bons resultados, o modelo tem também um amplo uso em estudos com espécies de eucalipto no Brasil. Este modelo também foi selecionado por Miguel (2009) para classificar sítios na região norte do estado de Goiás para povoamentos de *Eucalyptus urophylla*. Em

contrapartida, para Dias (2000) o modelo de Schumacher foi escolhido para classificação da capacidade produtiva para povoamentos de eucaliptos na região nordeste da Bahia.

5.2. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PREDIÇÃO DE ATRIBUTOS

As estatísticas e os coeficientes de todas as equações testadas para a predição dos atributos/características dos plantios estão nas Tabelas 27 a 32 (Anexo 1), enquanto que os resíduos para os melhores modelos para estimar cada característica podem ser observados nas Figuras 6 a 11 (Anexo 2). Nessas tabelas, os melhores modelos para cada atributo estão destacados em negrito e foram selecionados pela análise do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão de estimativa e distribuição gráfica dos resíduos conforme consta na metodologia. Na Tabela 33 estão reunidos esses melhores modelos, os quais foram empregados para estimar cada variável visando a predição da produção. Nos itens a seguir, faz-se uma análise resumida da modelagem desenvolvida para cada atributo.

Tabela 33. Resumo dos modelos selecionados para estimar os atributos/características do povoamento imediatamente antes do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/ Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	Syx(%)	n	Eq.
Feducia et al.	$N_s = N_p / [\exp(\beta_1 \ln(N_p) + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 (h_{dom}^{1/2}))]$	$\beta_1 = 0,00223$ $\beta_2 = 0,00030$ $\beta_3 = -0,00392$	0,9746	2,9	227	(39)
Scolforo (1990) Modificado	$\ln(G) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \beta_2 \ln\left(\frac{N}{I}\right) + \beta_3 \ln(SI)$	$\beta_0 = -1,85116$ $\beta_1 = -3,05139$ $\beta_2 = 0,46553$ $\beta_3 = 0,59691$	0,8779	13,5	505	(44)
Santana (2008) Modificado	$D_{min} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d} + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \ln(G) + \beta_4 dg$	$\beta_0 = 2,99557$ $\beta_1 = 3,59640$ $\beta_2 = 0,05769$ $\beta_3 = -3,32997$ $\beta_4 = -2,69131$	0,8650	18,5	505	(48)
Scolforo 1	$\ln(S^2d) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \left(\frac{1}{h_{dom}}\right) + \beta_3 \ln(G)$	$\beta_0 = -7,44687$ $\beta_1 = 2,41360$ $\beta_2 = 22,20361$ $\beta_3 = 0,53611$	0,7932	35,4	505	(57)
Santana (2008) Modificado	$D_{m\acute{a}x} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d} + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \ln(G) + \beta_4 dg$	$\beta_0 = -2,74791$ $\beta_1 = -5,72659$ $\beta_2 = 0,22661$ $\beta_3 = 1,37156$ $\beta_4 = 6,56224$	0,9442	7,2	505	(63)

Onde: h = Altura total estimada (m); d = DAP (cm); I = Idade do povoamento (anos); h_{dom} = altura dominante (m); S = Índice de Sítio; N_s = número de árvores da medição feita na idade I ; N_p = número de árvores plantadas menos falhas de plantio; exp = exponencial; \ln = logaritmo natural. G = área basal (m²/ha); N = número de árvores por hectare; D_{min} = diâmetro mínimo (cm); S^2d = variância dos diâmetros (cm²); dg = diâmetro médio quadrático (cm); \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

5.2.1. Sobrevivência

Os modelos de sobrevivência testados apresentaram boas estatísticas. Dos quatro modelos de sobrevivência testados com dados de remedição, o modelo de Lenhart (36) apresentou as melhores estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 27 – Anexo 1). Já o modelo de Clutter (37) teve o menor R^2_{adj} e o maior erro. Na Figura 6 (Anexo 2) está a distribuição de resíduos para os quatro modelos. Observou-se que os três primeiros apresentaram distribuições de resíduos similares, já o modelo de Clutter apresentou tendência em subestimar a sobrevivência nas idades entre os 6 e 16 anos. Deste modo, o modelo de Lenhart (36) foi selecionado para estimar o número de árvores sobreviventes.

O modelo de Lenhart também foi selecionado por Miguel (2009) para estimar a sobrevivência de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás. O modelo de Pienaar e Shiver (1981), que também apresentou bons resultados (Tabela 27 – Anexo 1), foi utilizado por Nogueira (2003) e Santana (2008), para estimar a sobrevivência em povoamentos de eucaliptos. Já o modelo de Clutter, que não apresentou bons resultados de ajuste, foi selecionado por Corte et al. (2002) para estimar a sobrevivência de *Populos* sp. apresentando bons resultados.

Os três modelos ajustados de acordo com a segunda metodologia proposta também apresentaram boas estatísticas, com uma pequena vantagem para o modelo de Feducia et al. A Figura 7 (Anexo 2) mostra a distribuição de resíduos para estes três modelos. O modelo de Feducia et al. foi escolhido para estimar o número de árvores sobreviventes nas simulações realizadas, em função da qualidade do ajuste e por ter sido ajustado com uma base de dados maior podendo ser mais representativa da população.

5.2.2. Área basal

Os modelos testados para estimar a área basal até o primeiro desbaste foram ajustados com dados de parcelas permanentes não desbastadas estão na Tabela 28 (Anexo 1) não apresentaram valores de R^2_{adj} muito altos e os erros foram superiores a 10% para todos os modelos ajustados. O Modelo (44), citado por Scolforo (1990), foi modificado porque a variável independente $\ln(S)$ apresentou seu coeficiente igual a zero, então esta variável foi excluída do modelo, efetuando-se novamente o ajuste. Os gráficos de resíduos dos modelos (44) e (45), que apresentaram menores S_{yx} e os maiores R^2_{adj} , são apresentados na Figura 8

(Anexo 2). De modo geral, os dois modelos apresentaram distribuição de resíduos similares, com uma pequena vantagem para o modelo (44) inserido na Tabela 33, que apresentou uma distribuição um pouco mais homogênea e também as melhores estatísticas, sendo escolhido para a predição da área basal.

Os modelos testados para estimar a área basal utilizados por Santana (2008), apresentaram valores para R^2_{adj} entre 0,719 e 0,930, enquanto que o modelo selecionado para estimar área basal utilizado por Miguel (2009) apresentou um R^2_{adj} de 0,940. Comparando os resultados encontrados pelos autores com os resultados encontrados neste trabalho, pode-se observar que os valores de R^2_{adj} foram inferiores, com o melhor resultado chegando a 0,877 para o Modelo (44).

5.2.3. Diâmetro mínimo (D_{min})

Dos sete modelos ajustados para estimar o D_{min} , apenas três tiveram R^2_{adj} superiores a 0,8 (Tabela 29 – Anexo 1). O modelo (48), citado por Santana 2008, tinha como uma de suas variáveis independentes a variância dos diâmetros (S^2d), no entanto, os modelos que foram ajustados para estimar esta variável não apresentaram bons ajustes, e quando o modelo original era utilizado nas predições do D_{min} utilizando os dados da variância ajustados, ocorria uma subestimativa do D_{min} . Optou-se então, pela exclusão dessa variável e ajustar novamente o modelo, na forma como está na Tabela 29 (Anexo 1).

As distribuições de resíduos para os dois modelos com maiores R^2_{adj} e menores S_{yx} estão na Figura 9 (Anexo 2) que foram plotados contra os valores estimados conforme recomendado por Draper e Smith (1981). Este critério foi também adotado para os modelos dos demais atributos. O modelo utilizado para predizer os diâmetros mínimos imediatamente antes do primeiro desbaste foi o Modelo (48) inserido na Tabela 33.

Foi realizada a correlação linear de Pearson (r) entre a variável dependente D_{min} e as variáveis independentes utilizadas no modelo (48) e no modelo de Burkhart et al. (53) (Tabela 30). As maiores correlações foram obtidas entre o D_{min} e as variáveis h_{dom}/N (0,8893), D_{med} (0,7792) e o dg (0,7207). No entanto, observou-se uma baixa correlação entre o D_{min} e as demais variáveis independentes ($I*N$, $ln(G)$, h_{dom} , $dg*I$), o que pode explicar os baixos valores de R^2_{adj} e os altos valores de S_{yx} obtidos nos ajustes.

Tabela 30. Correlação linear (r) entre diâmetro mínimo e variáveis independentes dos modelos (48) e de Burkhart et al.(53)

Variável dependente	Variáveis independentes						
	D_{med}	h_{dom}	$\ln(G)$	dg	$I*N$	h_{dom}/N	$dg*I$
D_{min}	0,77919	0,37868	0,13131	0,72073	-0,05050	0,88934	0,51699

5.2.4. Variância dos diâmetros (S^2d)

Os modelos ajustados apresentaram valores elevados para o S_{yx} (Tabela 31 – Anexo 1). A dispersão de resíduos para os modelos de Burk e Burkhart (55), Knoebell e Burkhart (56) e Scolforo 2 (58) apresentaram tendência em superestimar as variâncias, enquanto o modelo de Scolforo 1 (57) apresentou uma distribuição de resíduos mais homogênea (Figura 10 – Anexo 2).

Os modelos para estimar o diâmetro mínimo e a variância dos diâmetros foram os que apresentaram as menores estatísticas de ajuste e precisão no sistema de predição de atributos na idade do primeiro desbaste. Este fato também foi constatado por Santana (2008), que obteve R^2_{adj} de 0,596 e 0,8806 e S_{yx} de 22,3% e 22,8% para D_{min} e S^2d , respectivamente, o autor trabalhou com dados de *Eucalyptus grandis* na região nordeste do Paraná. Já, Miguel (2009) conseguiu melhores resultados para o D_{min} , com um R^2_{adj} de 0,89 e um S_{yx} de 9,09%. Em contrapartida, Scolforo (1990), trabalhando com uma série de modelos para estimar o D_{min} para povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, localizados na região sudoeste do estado de São Paulo, obteve um R^2_{adj} de 0,9253 e um S_{yx} de 1,9675 cm, e para a variância o autor encontrou valores de R^2_{adj} entre 0,8869 e 0,9858, superiores aos encontrados pelos outros autores citados e pelos valores obtidos no presente trabalho.

5.2.5. Diâmetro máximo ($D_{máx}$)

Os modelos testados apresentaram boas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 32 – Anexo 1). Na Figura 11 (Anexo 2) estão os gráficos com a dispersão de resíduos para os três modelos que apresentaram menor erro padrão de estimativa.

Os ajustes para $D_{máx}$ foram superiores do que para a variância e o diâmetro mínimo. Wendling (2007) obteve valores de R^2_{adj} para o ajuste do Modelo (62) variando de 0,66 a 0,90 para dados de *Pinus taeda*. Miguel (2009) trabalhando com dados de eucaliptos encontrou um R^2_{adj} de 0,92 para um modelo que estima o $D_{máx}$ em função da altura dominante.

5.3. DESBASTES

5.3.1. Alternativa 1

A equação de desbaste ajustada e os parâmetros estimados é apresentado na Tabela 34. Os valores de R^2_{adj} foram similares para o primeiro e segundo desbastes. Já o S_{yx} foi maior para o segundo desbaste. Os erros obtidos para estimar o número de árvores removidas por classe foram altos para os dois desbastes ajustados. Na Figura 12 (Anexo 3) são apresentados os gráficos com o número de árvores removidas observadas e estimadas pela equação para quatro parcelas escolhidas aleatoriamente para o primeiro desbaste.

Tabela 34. Coeficientes e estatísticas da equação de desbaste para estimar o número de árvores a ser removido por classe de DAP no primeiro e segundo desbastes

Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (árv/ha/classe DAP)	S_{yx} %	n	Eq.
$P_i = \exp \left[b_1 \left(\frac{d_i^2}{dg^2} \right)^{b_2} \right]$	Primeiro desbaste (D1)					
	$b_1 = -0,74563$	0,8752	18,27	33,4	97	(66)
	$b_2 = 2,06196$					
	Segundo desbaste (D2)					
$b_1 = -0,71472$	0,8750	13,35	37,2	37		
$b_2 = 4,18556$						

P_i = proporção de árvores/ha removidas na classe de diâmetro i ; d_i = centro da classe de diâmetro i ; dg = diâmetro médio quadrático (cm); b_1, b_2 = coeficientes estimados a partir dos dados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

A equação estimou bem o número de árvores removidas nas primeiras classes de DAP. Já, nas classes intermediárias ocorreu superestimativas do número de árvores removidas e nas maiores classes uma subestimativa (Figura 12 – Anexo 3).

Caso o número de árvores estimado pela equação de desbaste seja inferior ao desejado, o procedimento mencionado na metodologia (Item 4.7.1.) deve ser realizado. E, caso o número de árvores estimado pela equação seja superior ao desejado, deve-se então parar a remoção na classe onde o número de árvores removido acumulado até esta classe seja igual ao desejado ou aplicar um procedimento como o mencionado no Item 5.5.2.

O número médio de árvores observadas e estimadas removidas por classes de DAP é apresentado na Figura 13. Observa-se que, na média, ocorreram superestimativas de remoção nas duas primeiras classes, estimando bem as três classes seguintes, superestimando novamente nas classes 17 a 23 e finalmente com subestimativas nas classes seguintes. De

maneira geral, a equação representou bem o padrão médio de remoção de árvores no primeiro desbaste, removendo mais árvores nas menores classes e menos nas maiores.

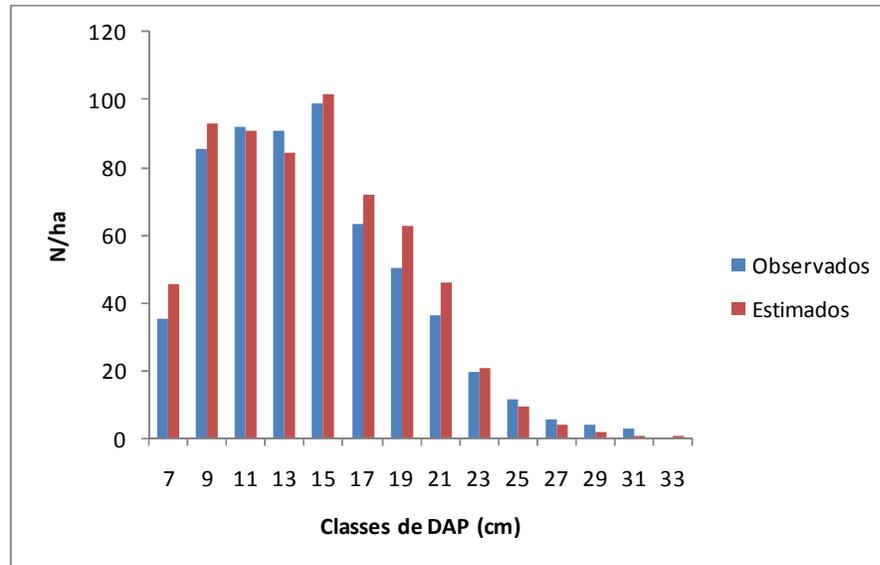


Figura 13. Número médio de árvores removidas e observadas no primeiro desbaste.

As estimativas do número de árvores removidas por classes de DAP para o segundo desbaste para quatro parcelas escolhidas aleatoriamente são apresentadas na Figura 14 (Anexo 3). No segundo desbaste ocorre remoção de árvores principalmente nas menores classes de DAP. A equação de desbaste, de maneira geral, conseguiu estimar bem este padrão de remoção, ocorrendo algumas exceções (Figura 14 (b) e (d) – Anexo 3), onde são também removidas árvores nas maiores classes e a equação subestimou os valores removidos nestas classes. A remoção de árvores nas maiores classes ocorre, em alguns casos, para que não ocorra a formação de clareiras. No entanto, na média ocorreu uma superestimativa do número de árvores nas maiores classes (Figura 15). Isto pode ter ocorrido devido ao fato de existirem poucos dados para o ajuste nessas classes (são poucas as parcelas com árvores nas classes superiores a 33 cm).

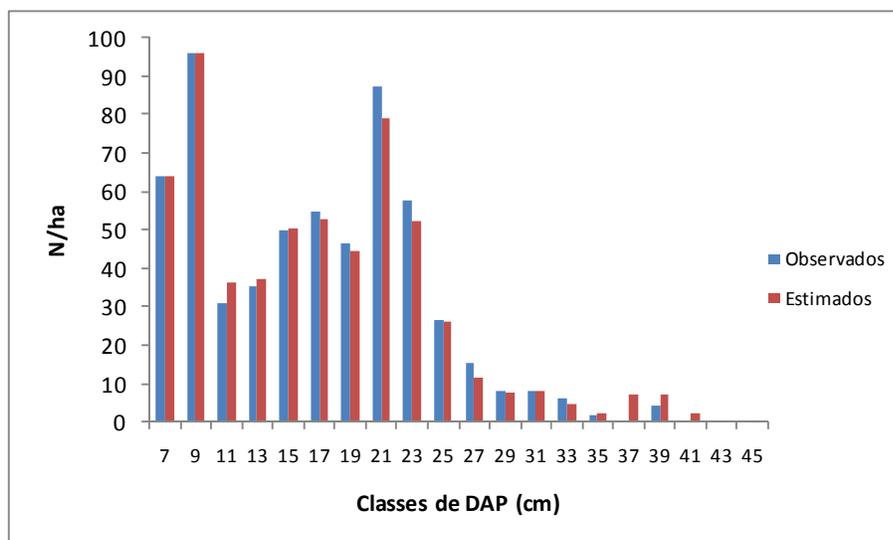


Figura 15. Número médio de árvores removidas e observadas no segundo desbaste.

Scolforo (1990) citou que os critérios de remoção das árvores, tais como, retirar prioritariamente as menores árvores; retirar árvores defeituosas mesmo que sejam de grande porte e evitar a formação de clareiras na seleção das árvores a serem removidas, são utilizados pelas equipes que efetuam os desbastes de forma subjetiva e que representá-los matematicamente de forma eficiente requer uma série de ensaios e testes. Desta maneira, acredita-se que a equação ajustada representa bem o padrão médio de árvores removidas por classes de DAP, este fato pode ser observado na Figura 15 que mostra o padrão médio de remoção de árvores por classes de DAP para o segundo desbaste.

Scolforo (1990), trabalhando com dados de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, obteve valores um pouco superiores para as estatísticas de ajuste e precisão para a equação ajustada neste trabalho, os valores de R^2_{adj} variaram de 0,8538 a 0,9128. Esta equação de desbaste também foi utilizada por Scolforo e Machado (1996), Scolforo et al. (2001) e Acerbi Jr. et al. (2002) para simular vários cenários de desbastes para *Pinus* sp. obtendo bons resultados para a maioria das simulações.

5.3.2. Alternativa 2

As estatísticas e os coeficientes de todas as equações testadas para estimar os parâmetros da função Weibull depois dos desbastes estão nas Tabelas 35 a 42 (Anexo 4),

enquanto que os resíduos para os melhores modelos para estimar cada característica podem ser observados nas Figuras 16 a 21 e 23 a 28 (Anexo 5). Nessas tabelas, os melhores modelos estão destacados em negrito e foram selecionados pela análise do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão de estimativa e distribuição gráfica dos resíduos conforme consta na metodologia. Nas Tabelas 43 e 44 estão reunidos esses melhores modelos, respectivamente, para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro e segundo desbastes.

Tabela 43. Resumo dos modelos selecionados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro desbaste (D1)

Autor/ Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx (%)	n	Eq.
-	$D \min_{depois} = \beta_1 D \min_{antes} + \beta_2 dg_{depois}$	$\beta_1 = 0,50373$ $\beta_2 = 0,47993$	0,9787	10,5	97	(68)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \ln(I)$	$\beta_0 = -19,0550$ $\beta_1 = 11,21851$ $\beta_2 = 1,43807$ $\beta_3 = 4,47312$	0,9083	2,6	97	(71)
-	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 I$	$\beta_0 = 0,95192$ $\beta_1 = 0,98232$ $\beta_2 = -0,13810$	0,9977	0,4	97	(73)
-	$a_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 D \min_{depois}$	$\beta_0 = -0,13343$ $\beta_1 = -0,02984$ $\beta_2 = 1,04022$	0,9969	0,70	97	(78)
-	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 \bar{d}_{depois}$	$\beta_0 = 0,16382$ $\beta_1 = -1,11676$ $\beta_2 = 1,10952$	0,9995	0,6	97	(83)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 b_{depois} + \beta_2 \left(\frac{N_{removido}}{N_{antes}} \right) + \beta_3 D \min_{depois} + \beta_4 dg_{depois} + \beta_5 \bar{d}_{depois}$	$\beta_0 = 2,48175$ $\beta_1 = -0,88573$ $\beta_2 = -0,60595$ $\beta_3 = -1,30079$ $\beta_4 = -3,87815$ $\beta_5 = 5,12980$	0,9127	5,4	97	(89)

Onde: $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{antes}$ = diâmetro mínimo antes do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{antes} = diâmetro médio quadrático antes do desbaste (cm); I = Idade (anos); a_{depois} = parâmetro de locação “a” depois do desbaste; a_{antes} = parâmetro de locação “a” antes do desbaste; b_{depois} = parâmetro de escala “b” depois do desbaste; c_{depois} = parâmetro de forma “c” depois do desbaste; β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq.= número da equação.

Tabela 44. Resumo dos modelos selecionados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do segundo desbaste (D2)

Autor/ Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx (%)	n	Eq.
-	$D \min_{depois} = \beta_1 D \min_{antes} + \beta_2 dg_{depois}$	$\beta_1 = 0,32211$ $\beta_2 = 0,61691$	0,9623	9,8	37	(91)
-	$dg_{depois} = \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \bar{d}_{antes}$	$\beta_1 = 4,57753$ $\beta_2 = 2,97692$ $\beta_3 = -1,99329$	0,9713	1,3	37	(95)
(Modificado)	$\bar{d}_{depois} = \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 I$	$\beta_1 = 0,97299$ $\beta_2 = 0,06057$	0,9722	0,4	37	(97)
-	$a_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois}$	$\beta_0 = -0,46898$ $\beta_1 = 1,02204$	0,9993	0,5	37	(101)
-	$b_{depois} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{depois} + \beta_2 \bar{d}_{depois} + \beta_3 \frac{N_{removido}}{N_{antes}}$	$\beta_0 = 1,39227$ $\beta_1 = -1,08279$ $\beta_2 = 1,04699$ $\beta_3 = -0,60823$	0,9991	1,8	37	(106)
-	$c_{depois} = \beta_0 + \beta_1 b_{depois} + \beta_2 D \min_{depois} + \beta_3 dg_{depois} + \beta_4 \bar{d}_{depois}$	$\beta_0 = 1,53685$ $\beta_1 = 1,07868$ $\beta_2 = 0,92740$ $\beta_3 = -3,41751$ $\beta_4 = 2,47099$	0,9801	4,5	37	(111)

Onde: $D \min_{depois}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{antes}$ = diâmetro mínimo antes do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{antes} = diâmetro médio quadrático antes do desbaste (cm); I = Idade (anos); a_{depois} = parâmetro de locação “a” depois do desbaste; a_{antes} = parâmetro de locação “a” antes do desbaste; b_{depois} = parâmetro de escala “b” depois do desbaste; : c_{depois} = parâmetro de forma “c” depois do desbaste; β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq.= número da equação.

a) Modelos para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro desbaste

Os dois modelos (75 e 76) utilizados por Álvarez et al.(2002) para estimar o parâmetro “a” depois do primeiro desbaste não apresentaram boas estatísticas (Tabela 36 – Anexo 4). O primeiro teve baixo valor para o R²adj e o segundo, apesar de apresentar um valor adequado para o R²adj resultou em um Syx maior que os outros quatro modelos testados. O Modelo (78) foi escolhido para estimar o parâmetro de locação “a” depois do desbaste, apesar de ter estatísticas similares aos modelos (77) e (79).

Os dois modelos utilizados para estimar o parâmetro de escala “b” depois do primeiro desbaste por Álvarez et al. apresentaram erros superiores a 20% (Tabela 37 – Anexo 4). O modelo do segundo método de Álvarez et al. não apresentou valor significativo para o teste t ($p > 0,05$) para o intercepto, sendo então, ajustado novamente sem β_0 . O Modelo (83) foi escolhido para estimar os valores de “b” depois do primeiro desbaste.

O modelo (84) utilizado por Álvarez et al. para estimar o parâmetro de forma “c” depois do desbaste apresentou um valor negativo para R^2_{adj} (-0,00677), este fato ocorre quando a soma de quadrados de resíduos (SQ_{res}) é muito próxima a soma de quadrados total (SQ_{tot}), neste caso, por exemplo, a SQ_{res} foi de 16,05 e a SQ_{tot} de 16,11, resultando em um R^2 de 0,0037 que, quando ajustado, resultou no valor negativo. Para Gujarati (2006), isto pode ocorrer quando o R^2 é muito próximo de zero, como ocorreu neste caso. Quando isto acontece, o autor sugeriu que os valores de R^2 ajustados negativos sejam substituídos por zero. Desta forma na Tabela 38 (Anexo 4) o valor coeficiente de determinação ajustado negativo foi substituído por zero. Além disso, o valor do coeficiente β_1 não foi significativo para o teste t ($p > 0,05$). O segundo modelo utilizado por Álvarez et al. também não apresentou bons resultados para o ajuste, o coeficiente β_1 não foi significativo ($p > 0,05$) e mesmo ajustando novamente o modelo sem o coeficiente β_1 , excluindo a variável c_{antes} as estatísticas não foram boas, com R^2_{adj} de 0,0344 e S_{yx} de 17,99%.

Após a escolha dos modelos para estimar os parâmetros “a”, “b” e “c” da função Weibull depois do primeiro desbaste, eles foram utilizados para estimar os parâmetros depois do desbaste para as 97 parcelas do inventário pré-corte marcadas para a realização do primeiro desbaste. A distribuição foi realizada até um diâmetro máximo estimado ($D_{máx}$) para cada parcela. Para estimar o $D_{máx}$ foi utilizado o modelo selecionado na Tabela 33 (Anexo 1), e quando os valores da função Weibull acumulada eram inferiores a 1, a diferença (1 menos o valor acumulado até a classe do $D_{máx}$ estimado) foi redistribuída igualmente entre as classes de DAP. As distribuições estimadas foram rejeitadas para 27,84% das parcelas para o nível de significância de 1% pelo teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Os valores de n utilizados para aplicação do teste K-S foram as quantidades de árvores observados nas parcelas. Quando se utiliza o n correspondente ao N/ha , muitas vezes a distribuição estimada é rejeitada pelo teste K-S. Isso ocorre porque à medida que o n aumenta, o valor $D_n(\alpha)$ torna-se cada vez menor ($D_n(\alpha)$ é tabelar), ficando mais difícil que a distribuição estimada seja aceita. O teste supõe que à medida que sejam utilizados mais dados para o ajuste, a qualidade deste deva ser melhor, e assim o valor de D_n é menor. Desta forma, quando n tende ao infinito, o valor de D_n tende a zero. Essa conclusão pode ser melhor compreendida observando a fórmula utilizada para o cálculo do D_n para α de 1% para n maior que 100, por exemplo:

$$D_n = \frac{1,62}{\sqrt{n}} \quad \text{se, } n \rightarrow \infty, \text{ então } D_n \rightarrow 0$$

Nos exemplos encontrados em livros didáticos, como o de Scolforo (1998), os valores de n utilizados são os valores de n observados nas parcelas utilizadas para estimar os parâmetros da função Weibull. Este critério também foi adotado nesta pesquisa.

Na Figura 22 é mostrado a distribuição por classes de DAP do número médio de árvores por hectare, ou seja, empregou-se valores médios advindos de 97 parcelas do IPC. Observa-se que a distribuição obtida por meio da função Weibull utilizando os parâmetros estimados pelos modelos selecionados na Tabela 43 não apresentou bons resultados nas extremidades da distribuição, subestimando nas menores classes e superestimando nas maiores. As estimativas dos parâmetros “ a ”, “ b ” e “ c ” utilizadas nestas simulações são oriundas de uma série de modelos que foram ajustados para obter os atributos da população requeridos pelos modelos. Desta forma, como o sistema de simulação envolveu muitos modelos, caso alguns deles não estime bem alguns desses atributos isso pode acarretar estimativas ruins nos próximos modelos em que estes atributos sejam requeridos.

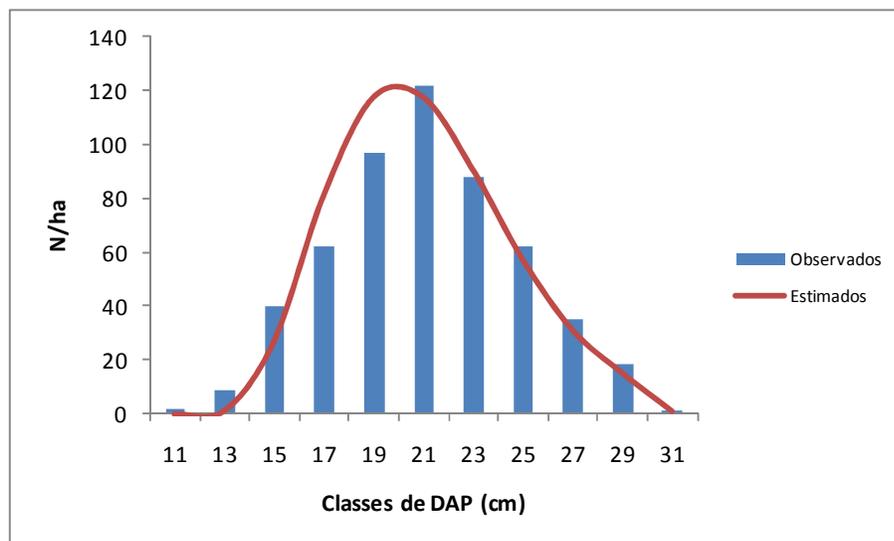


Figura 22. Distribuição do número médio de árvores por hectare por classe de DAP observado e estimado depois do primeiro desbaste.

O teste K-S foi realizado para os dados médios estimados. A distribuição estimada foi aceita pelo teste K-S (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade). Observa-se que a distribuição estimada depois do primeiro desbaste se aproxima bem dos valores médios observados, não estimando bem apenas nas menores classes.

b) Modelos para estimar os parâmetros da função Weibull depois do segundo desbaste

Os modelos testados para estimar o diâmetro mínimo, o diâmetro médio quadrático e o diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste (Tabela 39 – Anexo 4) foram ajustados sem o intercepto (β_0), porque o teste t indicou não significância ($p > 0,05$).

Os coeficientes β_0 e β_3 do modelo (93) não foram significativos ($p > 0,05$), assim sendo, ao ajustá-lo novamente sem esses coeficientes o modelo se tornaria igual ao modelo (92). Situação idêntica ocorreu com o modelo (94) e portanto, os resultados para o ajuste desses dois modelos não constam da Tabela 39 (Anexo 4).

Os dois modelos testados para estimar o parâmetro “ a ” depois do segundo desbaste utilizados por Álvarez et al. apresentaram boas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 40 – Anexo 4), no entanto, os modelos (101) e (102) geraram erros (S_{yx}) bem menores. O Modelo (101) teve um elevado valor de R^2_{adj} e baixo valor para o S_{yx} , sendo então o escolhido para estimar o parâmetro “ a ” depois do segundo desbaste.

Os coeficientes β_0 e β_1 do modelo (103), utilizado por Álvarez et al., para estimar o parâmetro “ b ” depois do segundo desbaste, foram não significativos (Tabela 41 – Anexo 4). Da mesma forma, os coeficientes β_0 e β_2 do modelo (104), utilizado por Álvarez et al., foram não significativos e portanto, a variável $N_{removido}/N_{antes}$ foi excluída do modelo e o modelo ajustado novamente sem esses coeficientes.

Os modelos obtidos do trabalho de Álvarez et al. (2002) para estimar o parâmetro de forma “ c ” depois do segundo desbaste não tiveram boas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 42 – Anexo 4) e desta forma três modelos construídos (110, 111 e 112) com base na correlação linear simples tiveram melhores resultados para estimar o parâmetro “ c ” da função Weibull.

Os modelos citados por Álvarez et al. (2002) para estimar os parâmetros da função Weibull depois do desbaste não apresentaram resultados satisfatórios com os dados da presente pesquisa, diferindo dos resultados obtidos pelos autores, que encontraram bons resultados para os modelos ajustados e para os métodos testados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do desbaste para *Pinus pinaster* Ait. Estes autores concluíram que o segundo e terceiro métodos testados por eles haviam mostrado qualidades superiores, porém, o segundo método teve uma vantagem adicional que pode definir a validade da faixa dos tipos de manejo como uma função de um erro de predição especificado.

Os modelos resumidos na Tabela 44 foram utilizados para estimar os parâmetros da função Weibull depois do segundo desbaste. Tendo-se essas estimativas foi realizado o teste K-S para cada uma das 37 parcelas do inventário pré-corte (IPC) marcadas para a realização da segunda intervenção (desbaste). A distribuição estimada para todas as parcelas (100%) foi aceita pelo teste K-S (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade).

Essa maior porcentagem de aceitação da distribuição pelo teste K-S depois do segundo desbaste pode ter ocorrido pelo fato dos atributos/características (D_{min} , dg , \bar{d}) antes do desbaste não terem sido estimados, e sim utilizados os valores observados. Estes atributos não foram estimados porque os modelos que estimam estes atributos antes do segundo desbaste são modelos de projeção e não de predição como no caso dos modelos utilizados para obter os atributos/características antes do primeiro desbaste. Ou seja, são modelos que projetam o atributo/característica em uma idade futura em função de dados desse atributo/característica em uma idade inicial. Como as parcelas disponíveis para o ajuste dos modelos das Tabelas 40, 41 e 42 (Anexo 4) não possuíam dados logo após o primeiro desbaste, isso não foi possível, a não ser que fossem ajustados modelos para predição dos atributos do povoamento com dados depois do primeiro desbaste, fugindo do objetivo proposto inicialmente.

Na Figura 29 observa-se a média dos dados observados e estimados por classes de DAP.

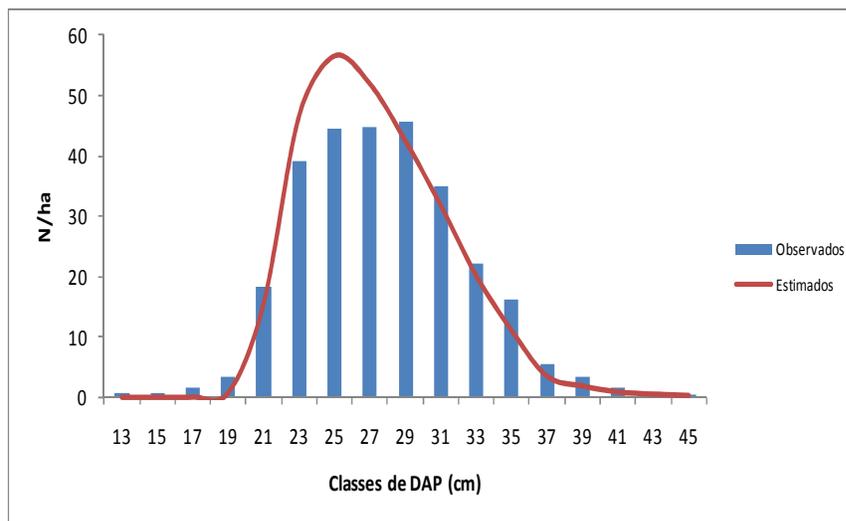


Figura 29. Distribuição do número médio de árvores por hectare por classes de DAP observado e estimado depois do segundo desbaste.

A distribuição estimada não conseguiu representar bem o número de árvores nas menores classes, observa-se uma subestimativa até a classe 21 e uma superestimativa entre a classe de 23 a 27 (Figura 29). O teste K-S foi realizado para os dados médios estimados, aceitando-se a distribuição (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade).

c) Simulação do primeiro desbaste (D1) utilizando a Alternativa 2

Após a seleção dos modelos para estimar os parâmetros da função Weibull depois do primeiro desbaste foi obtida a distribuição antes (utilizando os modelos da Tabela 33) e depois do desbaste (utilizando os modelos da Tabela 43). Para a obtenção do número de árvores removido por classes de DAP foi realizada a diferença entre o número estimado antes do desbaste e o número de árvores estimado depois do desbaste.

Foram estimados os atributos/características do povoamento e então obtidos os parâmetros da função Weibull para as 97 parcelas do inventário pré-corte (IPC) imediatamente antes do primeiro desbaste. O teste de aderência K-S foi realizado para cada uma das parcelas para verificar o ajuste. A distribuição estimada foi rejeitada para 30,93% das parcelas (resultado do teste significativo a 1% de probabilidade). As parcelas foram agrupadas para cada sítio e foi realizada a distribuição do número de árvores médio observado e estimado, e realizado novamente o teste K-S para os dados médios. A distribuição para os dados médios foi aceita pelo teste K-S (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade) para os sítios que haviam parcelas disponíveis para a comparação ($S = 38$ m, $S = 43$ m, $S = 48$ m).

Já, as distribuições estimadas depois do primeiro desbaste foram rejeitadas para 27,84% das parcelas (resultado do teste significativo a 1% de probabilidade) pelo teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (K-S). Para os dados médios a distribuição estimada depois do primeiro desbaste foi aceita pelo teste K-S (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade).

Na Figura 30 é apresentada a média observada e estimada do número de árvores por hectare removidas no primeiro desbaste. Verifica-se que ocorreram valores negativos, ou seja, a distribuição obtida depois do desbaste com os parâmetros da função Weibull estimada pelos modelos (Tabela 43) estimaram mais árvores do que foi estimado antes do desbaste.

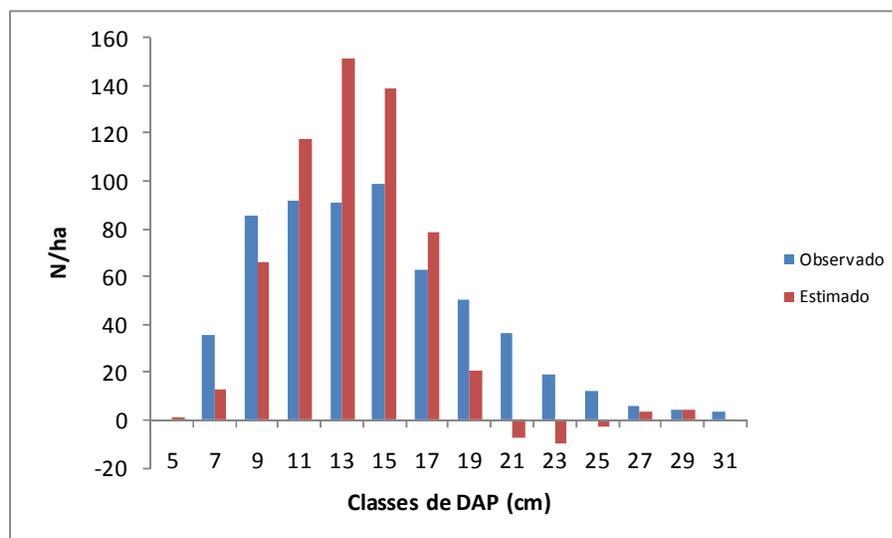


Figura 30. Valores médios observados e estimados do número de árvores removidas por classe de DAP no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2.

Estes resultados encontrados para a simulação do desbaste segundo a Alternativa 2 podem ser explicados por Scolforo (1998) quando menciona que Knoebell et al. (1986) e Scolforo (1990), ao utilizar a distribuição Weibull numa amostra que sofreu desbaste, verificaram que houve algumas discrepâncias entre a tabela de povoamento desbastado e a tabela de povoamento não desbastado. Citaram como exemplo que o número de árvores preditas aumentou após o desbaste, ou que, a tabela de povoamento desbastado, em alguns casos, tinham um diâmetro máximo maior que a do povoamento sem desbaste, ou então um diâmetro mínimo menor que o povoamento sem desbaste. Deste modo as predições da distribuição de diâmetros antes e depois do desbaste por baixo não podem ser executadas independentemente e para que isto não ocorra devem estar condicionadas a algum algoritmo de desbaste.

Deste modo Scolforo (1998) sugeriu que a distribuição diamétrica seja obtida antes do desbaste e então a proporção de área basal/número de árvores em cada classe de diâmetro deve ser removida(o) para simular o desbaste. Assim é impossível que o número de árvores aumente numa determinada classe de diâmetro depois do desbaste. Da mesma forma, o diâmetro mínimo só pode aumentar e o diâmetro máximo só pode diminuir ou se manter igual, se em todas as classes de diâmetros ocorre a remoção da área basal/número de árvores.

No entanto, uma solução encontrada para o problema das estimativas da distribuição depois do desbaste serem maiores, em algumas classes, do que a estimada antes do desbaste,

foi a de manter o número de árvores estimado pela função antes do desbaste nessas classes. Assim, quando a distribuição depois do desbaste possuía um número maior de árvores em determinada classe, este era substituído pelo estimado antes do desbaste, como consequência, não eram retiradas árvores nessas classes, evitando o problema de valores negativos.

Esse procedimento foi realizado, na tentativa de utilizar esta metodologia para simular o desbaste, uma vez que a distribuição estimada depois do desbaste por estes modelos é muito similar a observada. O problema estava na distribuição antes do desbaste, em que, ocorreram algumas subestimativas em determinadas classes, e como as distribuições antes e depois são obtidas separadamente, ocorreu o problema já mencionado. Os resultados desse procedimento podem ser observados nas Figuras 31, 32 e 33 (Anexo 6). Ao se utilizar esse procedimento para que o número de árvores estimado depois, em determinadas classes, não seja maior que o estimado antes do desbaste, valores negativos foram evitados.

As distribuições estimadas depois do primeiro desbaste com este procedimento de “correção” do número de árvores estimado depois do desbaste pelo número de árvores estimado antes, foram um pouco prejudicadas como pode ser observado nas Figuras 34, 35 e 36 (Anexo 6).

Apesar da distribuição estimada depois do desbaste por meio desta metodologia apresentar resultados razoáveis para a simulação dos desbaste, neste trabalho optou-se pela equação de desbaste ajustada na Alternativa 1 (Item 5.3.1.).

5.4. SISTEMA DE EQUAÇÕES PARA PROJEÇÃO DE ATRIBUTOS

As estatísticas e os coeficientes de todas as equações testadas para a projeção dos atributos/características dos plantios estão nas Tabelas 45 a 50 (Anexo 7), enquanto que os resíduos para os melhores modelos para estimar cada característica podem ser observados nas Figuras 37 a 42 (Anexo 8). Nessas tabelas, os melhores modelos para cada atributo estão destacados em negrito e foram selecionados pela análise do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão de estimativa e distribuição gráfica dos resíduos conforme consta na metodologia. Na Tabela 51 estão reunidos esses melhores modelos, os quais foram empregados para estimar cada variável visando a projeção dos atributos do povoamento imediatamente antes do segundo desbaste e do corte final. Nos itens a seguir, faz-se uma análise resumida da modelagem desenvolvida para cada atributo.

Tabela 51. Resumo de modelos selecionados para projetar o atributos/características do povoamento até a próxima intervenção (desbaste/corte-final) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/ Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (%)	n	Eq.
Clutter	$\ln(G_2) = \ln(G_1) \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S$	$\beta_1 = 3,03978$ $\beta_2 = 0,02237$	0,9656	5,6	127	(115)
-	$S^2 d_2 = \beta_0 + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 D_{min 2} + \beta_3 S^2 d_1 + \beta_4 D_{max 2}$	$\beta_0 = -13,31483$ $\beta_1 = 38,24657$ $\beta_2 = -0,41523$ $\beta_3 = 0,97919$ $\beta_4 = 0,54291$	0,9506	14,3	127	(118)
-	$D_{min 2} = \beta_1 D_{min 1} + \beta_2 \frac{I_1}{I_2} + \beta_3 dg_2$	$\beta_1 = 0,87141$ $\beta_2 = -3,35286$ $\beta_3 = 0,21084$	0,9886	6,7	127	(122)
-	$D_{max 2} = \beta_0 + \beta_1 D_{max 1} + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	$\beta_0 = -2,58350$ $\beta_1 = 1,06904$ $\beta_2 = 21,01017$	0,9845	3,6	127	(135)

Onde: $D_{min 2}$ = Diâmetro mínimo na idade 2 (cm); $D_{min 1}$ = Diâmetro mínimo na idade 1 (cm); dg_2 = diâmetro médio quadrático na idade 2; G_1 = Área basal na idade 1 (m²/ha); G_2 = Área basal na idade 2 (m²/ha); S = Índice de sítio; $S^2 d_2$ = Variância dos diâmetros na idade 2 (cm²); $S^2 d_1$ = Variância dos diâmetros na idade 1 (cm²); $D_{max 2}$ = Diâmetro máximo na idade 2 (cm); $D_{max 1}$ = Diâmetro máximo na idade 1 (cm); I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); β_{is} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

5.4.1. Área basal projetada (G_2)

Os três modelos testados para projetar a área basal (G_2) apresentaram bons resultados, (Tabela 45 – Anexo 7). O modelo de Clutter foi escolhido para a projeção da área basal em função da qualidade do ajuste obtido e também por ser um modelo tradicional para a projeção da área basal. No entanto, qualquer um dos outros dois modelos poderiam ser utilizados para a projeção da área basal, pois apresentaram estatísticas muito semelhantes, com baixos erros e altos valores para o R^2_{adj} . Santana (2008), por exemplo, utilizou o Modelo (114) para projetar a área basal de plantios de *Eucalyptus grandis* na região nordeste do Paraná, que possui uma variável que representa a densidade de árvores por hectare remanescente do desbaste, apesar do modelo de Clutter ter apresentado melhores estatísticas de ajuste que este modelo. O autor pressupôs que a presença de tal variável seria interessante para garantir consistência durante simulações de desbastes com intensidades diferentes daquelas observadas.

5.4.2. Variância dos diâmetros (S^2d_2)

Os três modelos testados apresentaram boas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 46 – Anexo 7). Os modelos para projetar a variância dos diâmetros apresentaram melhores resultados que os modelos para estimar a variância no sistema de predição. As estatísticas dos ajustes encontradas em Santana (2008) e Acerbi Jr. et al. (2002) para a projeção da variância dos diâmetros também apresentaram bons ajustes, como os obtidos neste trabalho.

5.4.3. Diâmetro mínimo projetado ($D_{\min 2}$)

Os quatro modelos testados para projetar o diâmetro mínimo apresentaram boas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 47 – Anexo 7). O Modelo de Scolforo (120) foi modificado porque a variável h_{dom2} não foi significativa pelo teste t ($p > 0,05$), procedendo-se o ajuste novamente sem esta variável. Já, o modelo de Abreu (121), foi ajustado novamente retirando-se três coeficientes, o intercepto e os coeficiente ligados às variáveis h_{dom2} e I_2 , todos também não significativos ($p > 0,05$).

Os modelos (119) e (122) apresentaram os menores erros e têm em comum o diâmetro mínimo inicial ($D_{\min 1}$) e as idades inicial e futura (I_1 e I_2) como variáveis independentes. Este fato pode ter contribuído para que estes dois modelos apresentassem bons desempenhos. No entanto, a distribuição de resíduos para os dois modelos (Figura 39 - Anexo 8) mostrou que os dois modelos não estimam muito bem os menores diâmetros, apresentando uma maior dispersão dos resíduos.

Assim como os modelos para projetar a variância dos diâmetros, os modelos para projetar o diâmetro mínimo também apresentaram melhores qualidades de ajuste que os modelos do sistema de predição. Nogueira (2003) e Santana (2008) utilizaram o Modelo (119) para projetar o diâmetro mínimo para plantios de eucaliptos, este modelo também apresentou bons resultados para projetar o diâmetro mínimo, como pôde ser observado, no entanto o Modelo (122) apresentou estatísticas um pouco superiores que o Modelo (119), sendo escolhido para projetar o diâmetro mínimo.

5.4.4. Diâmetro médio projetado (\bar{d}_2)

Os modelos testados para projetar o diâmetro médio (\bar{d}_2) apresentaram ótimas estatísticas de ajuste e precisão (Tabela 48 – Anexo 7), com coeficiente de determinação próximos de 1 (um) e erros para a estimativa ($S_{yx}\%$) menores que 3%. O Modelo (124) foi ajustado sem a variável I_2 , a qual foi não significativa pelo teste t ($p > 0,05$).

O Modelo (124) selecionado para projetar o diâmetro médio também foi utilizado por Santana (2008) e Arcerbi Jr. et al. (2002) para projetar o diâmetro médio, com R^2_{adj} superiores a 0,99, assim como os resultados dos ajustes obtidos no presente trabalho.

5.4.5. Diâmetro médio quadrático projetado (dg_2)

Os modelos testados para projetar o diâmetro médio quadrático (dg_2) apresentaram ótimas estimativas de ajuste e precisão, todos com coeficiente de determinação (R^2_{adj}) próximos de 1 (um) e erro padrão de estimativa (S_{yx}) inferiores a 4% (Tabela 49 – Anexo 7). O Modelo (127), assim como nos ajustes para as variáveis D_{min2} , S^2d_2 , $D_{máx2}$, apresentou tendência em subestimar nos menores valores (Figura 41 – Anexo 8). Os outros dois modelos apresentaram distribuição de resíduos similares. O Modelo (129) foi selecionado para projetar o diâmetro dg .

5.4.6. Diâmetro máximo projetado ($D_{máx2}$)

Os modelos testados para projetar o diâmetro máximo apresentaram boas estatísticas de ajuste e precisão, com destaque para o Modelo (135) que apresentou maior R^2_{adj} e menor S_{yx} (Tabela 50 – Anexo 7). Os três modelos que possuem o $D_{máx1}$ como variável independente, apresentaram melhor qualidade no ajuste. Santana (2008) selecionou o Modelo (133) para projetar o $D_{máx2}$ para dados de eucaliptos. Dos modelos testados pelo autor, este era o único que apresentava o $D_{máx1}$ como variável independente. Nogueira (2003) também utilizou o Modelo (133) para projetar o diâmetro máximo remanescente do desbaste para dados de eucalipto. No entanto, o Modelo (135) apresentou melhores estatísticas que o modelo utilizado pelo autores citados, este modelo também utiliza o $D_{máx1}$ como variável independente.

5.5. ESTIMATIVAS DOS ATRIBUTOS PARA RECUPERAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FUNÇÃO WEIBULL NAS IDADES DE DESBASTES E CORTE FINAL

As estimativas dos atributos/características do povoamento foram obtidas imediatamente antes de cada desbaste (D1 e D2) e corte final (CF). Estas estimativas, assim como as distribuições teóricas obtidas por meio dos parâmetros da função Weibull recuperados na idade de intervenção e as estimativas da produção em volume e área basal em cada intervenção são apresentados na sequência:

5.5.1. Recuperação dos parâmetros da função Weibull por índice de sítio imediatamente antes do primeiro desbaste

Com os modelos da Tabela 33 foram estimados os atributos do povoamento para cada índice de sítio e recuperados os parâmetros da função Weibull na idade do primeiro desbaste (Tabela 52). No sistema de simulação o índice de sítio, a idade e o número de árvores inicial (número de árvores plantadas menos o número de falhas do plantio) são as variáveis que devem ser fornecidas inicialmente. Com estas três variáveis, todas as demais variáveis necessárias para a recuperação dos parâmetros da função Weibull na idade de desbaste foram estimadas com os modelos resumidos da Tabela 33. A partir dos parâmetros obtidos para cada um dos índices de sítios, gerou-se a distribuição diamétrica teórica de diâmetros, tendo sido comparadas com os dados médios por sítio, quando haviam dados disponíveis para isto. Os resultados das simulações são apresentados na sequência.

Tabela 52. Estimativas dos atributos/características e parâmetros da função Weibull antes do primeiro desbaste

<i>S</i>	<i>N/ha</i>	<i>D_{min}</i>	\bar{d}	<i>Dg</i>	<i>D_{máx}</i>	<i>I</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
33	1339,1	6,11	15,89	16,42	23,66	6,0	5,57722	11,02535	2,53535
38	1153,3	7,25	17,22	17,83	26,07	6,3	6,63860	11,25838	2,29330
43	1139,0	7,40	17,82	18,56	28,24	6,3	6,66125	11,76262	2,11234
48	1225,3	6,76	17,64	18,52	29,75	6,0	5,87256	12,27718	2,01284
53	1127,0	7,31	19,96	21,38	37,87	8,3	5,88611	14,17179	1,69595
53	1226,4	6,62	18,01	19,07	32,03	6,0	5,56430	12,83509	1,89069

Onde: *S* = índice de sítio (m); *D_{min}* = diâmetro mínimo (cm); \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); *Dg* = diâmetro médio quadrático; *D_{máx}* = diâmetro máximo (cm); *I* = idade (anos); “*a*” = parâmetro de localização; “*b*” = parâmetro de escala; “*c*” = parâmetro de forma.

Para o índice de sítio 53 m, foram realizadas duas estimativas, uma para a idade de 8,3 anos onde haviam algumas parcelas sem desbaste para a comparação (5 parcelas do inventário florestal contínuo – IFC) e uma estimativa até 6 anos, idade em que geralmente ocorre o primeiro desbaste.

A distribuição estimada teve como início a classe ao qual pertencia o diâmetro mínimo estimado e para o final da distribuição foi utilizado a classe ao qual pertencia o diâmetro máximo estimado. Quando a distribuição acumulada $F(x)$ era inferior a um, a diferença era dividida pelo número de classes e distribuída igualmente entre as classes de DAP. Na Figura 43 são apresentados os resultados das distribuições estimadas para cada índice de sítio.

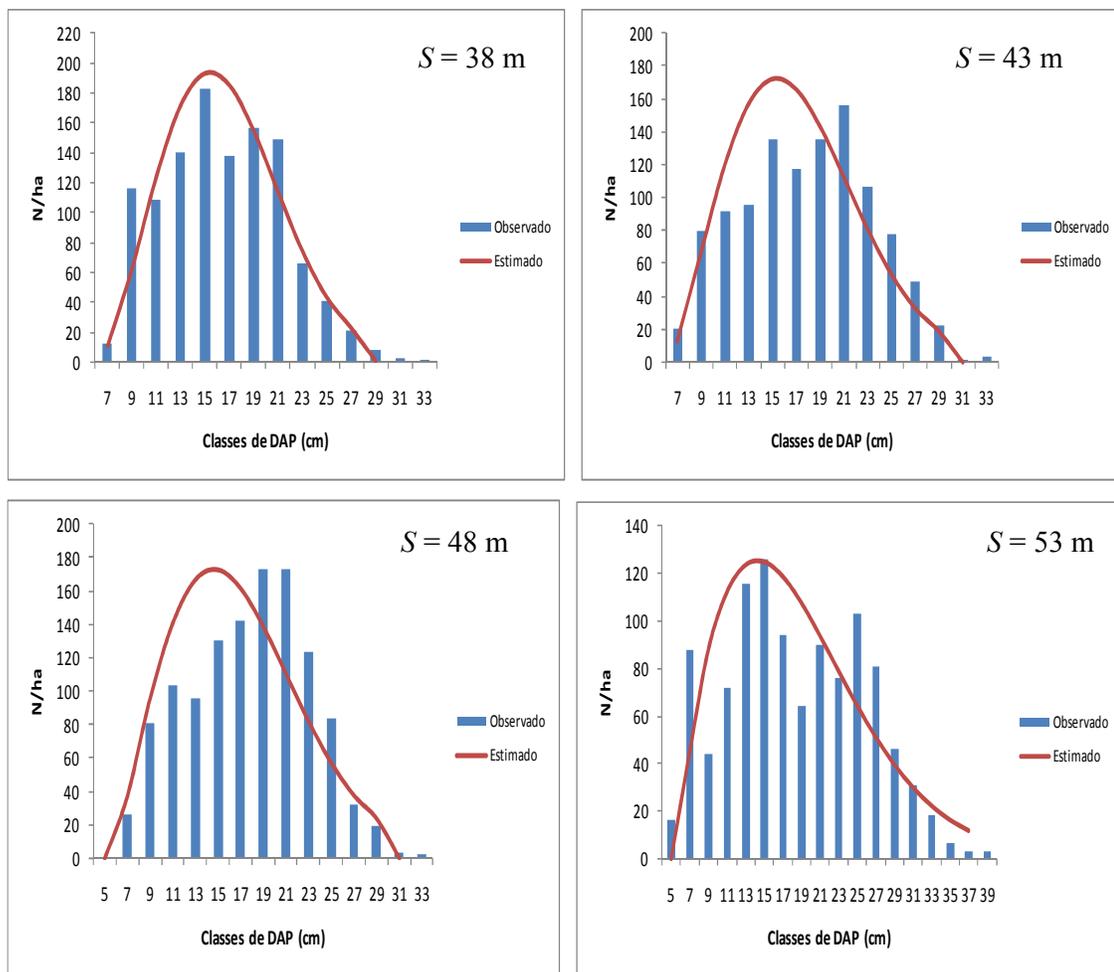


Figura 43. Distribuição diamétrica predita e distribuição média observada antes do primeiro desbaste por sítio. ($S = 53$ m (8,3 anos)).

As distribuições estimadas com os parâmetros da função Weibull recuperados para cada índice de sítio, imediatamente antes do D1, foram aceitas pelo teste K-S (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade).

Na Tabela 53 são apresentadas as estimativas para o número de árvores (N), a área basal (G) e o volume (V) por hectare por classes de DAP para o índice de sítio 33 m. Para a estimativa do volume foi utilizada a altura comercial (h_c) até um diâmetro mínimo de 8 cm, portanto, os volumes mostrados nas tabelas a seguir são volumes comerciais com casca até 8 cm de diâmetro com casca.

Tabela 53. Valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume comercial (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 33 m (6,0) anos

Centro de classe	N/ha	G (m^2/ha)	ht (m)	hc (m)	V (m^3/ha)
7	31,9	0,12	10,3	0,0	0,00
9	101,2	0,64	13,2	2,2	1,39
11	178,5	1,70	15,4	6,2	8,26
13	234,5	3,11	17,1	9,0	19,94
15	249,2	4,40	18,5	11,3	32,73
17	220,4	5,00	19,6	13,2	41,00
19	164,2	4,65	20,6	14,8	40,89
21	103,5	3,59	21,4	16,1	33,19
23	55,8	2,32	22,1	17,3	22,35
Total	1339,1	25,53			199,75

OBS: valores estimados por classes de DAP para cada variável.

Os resíduos mostrados nas tabelas a seguir foram calculados por classes de DAP para número de árvores, área basal e volume. Estes resíduos são iguais para as três estimativas por classes de DAP (N/ha , G e V), sendo diferentes apenas para o total de cada uma delas. Porém, quando o diâmetro do centro de classe é menor que o diâmetro mínimo utilizado pela empresa (8 cm), a altura comercial é zero, conseqüentemente o volume também. Então, torna-se necessário esclarecer que os resíduos obtidos nas classes com volume “zero” são referentes a área basal e ao número de árvores, em todos os casos em que isto ocorre.

As estimativas obtidas imediatamente antes do D1 para o índice de sítio 38 m para o número de árvores, da área basal e volume apresentadas na Tabela 54 foram estatisticamente iguais aos dados médios observados pelo teste L&O (para nível de significância de 1%).

Tabela 54. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 38 m

Centro de classe	N/ha		$G (m^2/ha)$		$ht (m)$	$hc (m)$	$V (m^3/ha)$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
7	13,0	10,4	0,05	0,04	11,4	0,0	0,00	0,00	19,96
9	115,7	62,2	0,74	0,40	14,5	2,4	1,76	0,95	46,21
11	108,6	123,8	1,03	1,18	17,0	6,8	5,56	6,34	-13,96
13	140,5	171,6	1,86	2,28	18,9	10,0	13,21	16,14	-22,16
15	183,0	193,0	3,23	3,41	20,4	12,5	26,58	28,03	-5,47
17	138,1	185,0	3,14	4,20	21,7	14,6	28,41	38,06	-33,96
19	157,0	154,5	4,45	4,38	22,8	16,3	43,25	42,56	1,60
21	148,8	113,6	5,15	3,93	23,6	17,8	52,73	40,25	23,66
23	66,1	73,9	2,75	3,07	24,4	19,1	29,28	32,74	-11,82
25	41,3	42,9	2,03	2,10	25,1	20,2	22,34	23,18	-3,75
27	21,3	22,4	1,22	1,28	25,6	21,2	13,76	14,49	-5,29
29	8,3	0,0	0,55	0,00	26,1	22,0	6,32	0,00	100,00
31	2,4	0,0	0,18	0,00	26,6	22,8	2,10	0,00	100,00
33	1,2	0,0	0,10	0,00	27,0	23,4	1,21	0,00	100,00
Total	1145,3	1153,3	26,48	26,27			246,51	242,74	
Resíduos%		-0,71		0,76				1,53	

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Os valores de volume, área basal e número de árvores estimados por classes de DAP para os índices de sítio 43, 48 e 53 m são apresentadas nas Tabelas 55 a 58 (Anexo 9). Na Tabela 59 está um resumo do teste L&O realizado para comparar as estimativas com os dados médios observados para cada índice de sítio.

Tabela 59. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP obtidas imediatamente antes do primeiro desbaste (D1)

Índice de Sítio (m)	N/ha	$G (m^2/ha)$	Volume (m^3/ha)
38	=	=	=
43	=	=	=
48	≠	≠	≠
53	=	≠	≠

As estimativas por classes de DAP apresentaram as maiores diferenças com os valores médios observados para o índice de sítio 53 m, principalmente nas classes iniciais e finais da distribuição (Tabela 57 – Anexo 9). No entanto, as estimativas para o total foram baixas. Já as

maiores diferenças para o total estimado foi observado para o índice de sítio 48 m, que subestimou a área basal em 10,61% e o volume em 14,04 %. As estimativas para este sítio para as três variáveis estimadas (N/ha , V e G) foram estatisticamente diferentes pelo teste L&O (para nível de significância de 1%).

Os valores estimados para a produção para o índice de sítio 53 m aos 6 anos estão próximos aos valores das estimativas de volume em povoamentos de *Eucalyptus grandis* sem desbastes obtidos pela empresa, que para o índice de sítio 50 m (índice de sítio utilizado pela empresa, idade índice = 15 anos), está em torno de 372 m³/ha. Comparando o resultado obtido na Tabela 58 (Anexo 9) que foi de 370,80 m³/ha, observa-se que o volume obtido está dentro dos valores encontrados pela empresa.

5.5.2. Simulação do primeiro desbaste para as estimativas por índices de sítio

Após a obtenção da distribuição imediatamente antes do primeiro desbaste, foi simulado o desbaste nas idades que em média as parcelas do IPC possuíam. As comparações das simulações para o primeiro desbaste só foram realizadas para os três sítios intermediários (38 m, 43 m e 48 m), por não haver parcelas disponíveis nos demais sítios para a comparação do desbaste.

Os resultados das simulações de desbastes para os índices de sítio 38 e 43 m são apresentados nas Tabelas 60, 61 no Anexo 10.

Na Tabela 62 estão os resultados para a simulação de desbaste para o sítio 48. As estimativas obtidas na simulação do D1 para o índice de sítio 48 m para o volume removido foram estatisticamente iguais aos dados médios observados pelo teste L&O (para nível de significância de 1%). No entanto, as estimativas para o número de árvores e área basal removidas foram estatisticamente diferentes.

Tabela 62. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 48 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$		$G_{remov.}$		ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
7	20,0	36,9	0,08	0,14	13,2	0,0	0,00	0,00	0,08
9	80,2	92,3	0,51	0,59	16,9	2,8	1,42	1,63	0,51
11	95,7	129,2	0,91	1,23	19,7	7,9	5,68	7,67	0,91
13	89,3	140,4	1,18	1,86	21,9	11,6	9,73	15,31	1,18
15	91,8	126,5	1,62	2,24	23,7	14,5	15,47	21,31	1,62
17	72,4	95,8	1,64	2,17	25,2	16,9	17,28	22,85	1,64
19	60,8	60,6	1,72	1,72	26,4	18,9	19,42	19,36	1,72
21	38,8	31,6	1,34	1,09	27,4	20,7	15,95	12,98	1,34
23	29,8	13,3	1,24	0,55	28,3	22,2	15,28	6,81	1,24
25	18,1	4,4	0,89	0,21	29,1	23,5	11,35	2,74	0,89
27	3,2	1,1	0,19	0,06	29,7	24,6	2,43	0,83	0,19
29	3,2	0,2	0,21	0,01	30,3	25,6	2,87	0,18	0,21
31	1,3	0,0	0,10	0,00	30,8	26,4	1,34	0,01	0,10
Total	604,7	732,2	11,64	11,88			118,21	111,66	11,64
Resíduos%		-21,08		-2,12				5,54	

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

A Tabela 63 apresenta o resumo dos resultados do Teste L&O para os valores obtidos na simulação do primeiro desbaste para os índices de sítio 38, 43 e 48 m.

Tabela 63. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP removidos no D1

Índice de Sítio (m)	N/ha	G (m^2/ha)	Volume (m^3/ha)
38	=	=	=
43	=	=	=
48	≠	≠	=

As simulações de desbastes realizadas para as distribuições estimadas para os três índices de sítio ($S = 38$ m, $S = 43$ m e $S = 48$ m) removeu mais árvores que a média observada para o total removido, principalmente para os índices de sítio 43 e 48 m. Neste último, apesar de serem removidas mais árvores o volume estimado foi inferior a média observada (Tabela 62). Nas comparações por classes diamétricas ocorreram algumas diferenças elevadas em determinados casos, principalmente nas menores ou maiores classes de DAP.

O número de árvores removidas na simulação do D1 e as distribuições diamétricas remanescentes podem ser visualizados nas Figuras 44 e 45 no Anexo 11.

Nas simulações de desbaste realizadas para os três índices de sítio, a equação de desbaste, quando aplicada em todas as classes de DAP removiu um número de árvores maior do que a média observada, como pôde ser observado nas simulações anteriores (Tabelas 60 a 62). Para contornar esse problema e ter um maior controle sobre o número de árvores removido foi utilizado o seguinte procedimento:

- Foram removidas todas as árvores das duas menores classes de DAP;
- Aplicou-se um fator de correção estabelecido de acordo com os valores médios removidos observados. Dessa forma, aplicou-se a equação de desbaste para toda a distribuição estimada, removeu-se todas as árvores estimadas das duas primeiras classes de DAP, e nas demais classes foram removidas apenas 85% do número de árvores obtido pela equação de desbaste.

Esse procedimento possibilitou que fossem removidas árvores em todas as classes de DAP, que fossem removidas todas as menores árvores e que o número de árvores total removido não fosse muito superior ao que realmente ocorre na prática. Esse procedimento poderia ter sido realizado por sítio. No entanto, optou-se por um fator médio para todos os índices de sítio.

Os resultados obtidos com este procedimento são apresentados nas Tabelas 64, 65 (Anexo 10) e 66 e nas Figuras 46, 47 e 48 (Anexo 11).

Tabela 66. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 48 m com controle do número de árvores removido

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$		$G_{remov.}$		ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
7	20,0	37,4	0,08	0,14	13,2	0,0	0,00	0,00	-86,59
9	80,2	95,9	0,51	0,61	16,9	2,8	1,42	1,69	-19,53
11	95,7	109,8	0,91	1,04	19,7	7,9	5,68	6,52	-14,70
13	89,3	119,3	1,18	1,58	21,9	11,6	9,73	13,01	-33,72
15	91,8	107,5	1,62	1,90	23,7	14,5	15,47	18,11	-17,08
17	72,4	81,4	1,64	1,85	25,2	16,9	17,28	19,42	-12,39
19	60,8	51,5	1,72	1,46	26,4	18,9	19,42	16,45	15,27
21	38,8	26,8	1,34	0,93	27,4	20,7	15,95	11,03	30,85
23	29,8	11,3	1,24	0,47	28,3	22,2	15,28	5,79	62,12
25	18,1	3,7	0,89	0,18	29,1	23,5	11,35	2,33	79,47
27	3,2	0,9	0,19	0,05	29,7	24,6	2,43	0,70	71,01
29	3,2	0,2	0,21	0,01	30,3	25,6	2,87	0,16	94,57
31	1,3	0,0	0,10	0,00	30,8	26,4	1,34	0,00	100,00
Total	604,7	645,8	11,64	10,24			118,21	95,22	
Resíduos%	-6,79		12,05				19,45		

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Na Tabela 67 é apresentado um resumo para o teste L&O realizado para a comparação dos dados médios observados com os dados estimados removidos no primeiro desbaste com controle do número removido de árvores.

Tabela 67. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP removidos no D1 com controle do número de árvores removidas

Índice de Sítio (m)	N/ha	G (m^2/ha)	Volume (m^3/ha)
38	=	=	=
43	=	=	=
48	=	=	=

As estimativas do número de árvores, área basal e volume removidos no primeiro desbaste com este procedimento apresentaram melhores resultados, sendo estatisticamente iguais aos dados médios observados pelo teste L&O (para nível de significância de 1%) nos três sítios.

Observam-se que as estimativas, apresentaram melhores resultados, principalmente para o número de árvores total removido. Porém, para o índice de sítio 48 m, apesar do número de árvores removido ser 6,79% a mais que o observado médio, ocorreu uma subestimativa nos valores de área basal e volume. Nota-se que ocorreu uma superestimativa do número de árvores nas menores classes, mas apesar do grande número de árvores removido nessas classes, elas contribuíram com um valor baixo de volume e área basal.

As estimativas por classes de DAP, apesar de algumas diferenças elevadas em alguns casos, não apresentaram valores muito discrepantes.

Os resultados da simulação do primeiro desbaste, comparando com os resultados obtidos por meio da aplicação da equação de desbaste sem controle do número de árvores total removido e das simulações com controle do número de árvores total removido e a remoção de todas as árvores estimadas nas duas menores classes de DAP são apresentados nas Figuras 46, 47 e 48 (Anexo 11). Com este procedimento, o número de árvores removido nas classes intermediárias aproximou-se mais dos valores observados, principalmente para o índice de sítio 38 m. Já nas Figuras 49, 50 e 51 (Anexo 11) estão as distribuições observadas e estimadas remanescentes do primeiro desbaste, comparando as simulações de desbastes, sem e com controle do número total removido.

Na Tabela 68 é mostrado o resumo do teste L&O realizado para as estimativas da distribuição diamétrica remanescente após as simulações do primeiro desbaste sem e com controle do número de árvores removidas.

Tabela 68. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores por classes de DAP remanescentes do D1 sem e com controle do número de árvores removidas

Índice de Sítio (m)	Controle do número de árvores removidas	N/ha
38	Sem controle	=
	Com controle	=
43	Sem controle	≠
	Com controle	=
48	Sem controle	≠
	Com controle	≠

O procedimento utilizado melhorou as estimativas do número de árvores remanescentes nas classes intermediárias, porém, manteve um número de árvores maior nas menores classes. No entanto, se esse fator de correção do número de árvores removido não

fosse aplicado, o número de árvores remanescente depois do primeiro desbaste seria consideravelmente menor que as médias observadas, o que resultaria em problemas no segundo desbaste e, principalmente no corte final.

Para os índices de sítio 33 e 53 m foram realizadas simulações do primeiro desbaste, utilizando o mesmo procedimento de controle de desbaste, porém não foram realizadas comparações com valores observados, em função de não haver parcelas disponíveis destes dois índices de sítio na idade do primeiro desbaste nos dados do IFC e nem dados no inventário pré-corte. Essas simulações são apresentadas nas Tabelas 69 e 70 (Anexo 10) e nas Figuras 52 e 53 (Anexo 11).

5.5.3. Projeção dos atributos necessários para recuperação dos parâmetros da função Weibull na idade do segundo desbaste (D2)

Após as simulações do primeiro desbaste, os atributos/características das distribuições diamétricas remanescentes estimadas foram projetados para a idade do segundo desbaste (aproximadamente 8 anos) utilizando-se os modelos selecionados anteriormente para a projeção resumidos na Tabela 51.

Depois do desbaste foi considerado que não ocorre mortalidade natural no povoamento. Para projetar o diâmetro médio quadrático (dg) e o diâmetro médio aritmético (\bar{d}) foram utilizados os modelos que projetam a área basal (G_2) e a variância dos diâmetros (S^2d_2). Apesar dos modelos que estimam o dg e o \bar{d} separadamente terem apresentado boas estatísticas de ajuste, em algumas simulações realizadas para projetar esses dois atributos (apesar do dg ser maior que o \bar{d} em todos os casos estimados), a distribuição diamétrica estimada com os parâmetros da função Weibull obtida com os valores estimados de dg e \bar{d} separadamente não apresentaram bons resultados. Já com os parâmetros obtidos com a projeção de G_2 e S^2d_2 e então obtenção do dg e do \bar{d} por meio dos processos algébricos mencionados no Item 4.6.4., a distribuição diamétrica projetada se aproximou mais dos valores médios observados.

Os modelos da Tabela 51 também foram utilizados nas projeções dos atributos/características do povoamento remanescente depois do segundo desbaste até a idade de corte final (CF), em torno dos 20 anos.

Os valores dos atributos/características do povoamento projetados imediatamente antes do segundo desbaste (D2) para cada índice de sítio, assim como os parâmetros da função Weibull recuperados na idade de desbaste são apresentados na Tabela 71.

Tabela 71. Estimativas dos atributos/características e parâmetros da função Weibull antes do segundo desbaste (D2)

<i>S</i>	<i>N/ha</i>	<i>D_{min}</i>	\bar{d}	<i>dg</i>	<i>D_{máx}</i>	<i>I</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
33	669,1	11,28	19,49	19,94	27,96	8,0	10,82865	9,27704	2,05085
38	585,9	11,55	21,17	21,70	29,95	8,1	11,02265	10,85878	2,11767
43	564,3	11,81	22,28	22,90	32,27	8,1	11,18377	11,82053	2,07023
48	579,5	12,11	23,04	23,73	34,67	8,1	11,41542	12,33952	2,01242
53	567,4	12,34	24,18	25,01	36,91	8,0	11,52239	13,35192	1,94179

Onde: *S* = Índice de Sítio (m); *N/ha* = número árvores por hectare; *D_{min}* = diâmetro mínimo (cm); \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); *D_{máx}* = diâmetro máximo (cm); *dg* = diâmetro médio quadrático (cm); *I* = idade (anos); “*a*” = parâmetro de localização; “*b*” = parâmetro de escala; “*c*” = parâmetro de forma.

Os resultados dos valores das estimativas do número de árvores (*N*), área basal (*G*) e volume (*V*) por hectare por classe diamétrica obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para os cinco índices de sítio são apresentados nas Tabelas 72, 73, 74 e 76 (Anexo 12) e na Tabela 75. Quando haviam dados disponíveis de parcelas pertencentes a determinado sítio na idade do segundo desbaste foi realizada a comparação da distribuição estimada com os valores médios observados. Nem sempre era possível obter parcelas para comparação e, apesar de haver um padrão médio do número de árvores remanescente depois de cada desbaste (Primeiro desbaste: 600 – 700 árvores remanescentes por hectare / 5 – 6 anos; Segundo desbaste: 250 – 350 árvores remanescentes por hectare / 8 – 9 anos), ocorreu uma grande variação nos dados observados. As projeções realizadas para o índice de sítio 53 m foram baseadas na distribuição remanescente depois do primeiro desbaste simulado aos 6 anos.

Tabela 75. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 48 m

Centro de classe	N/ha Obs.	N/ha Est.	G (m²/ha) Obs.	G (m²/ha) Est.	ht (m)	hc (m)	V (m³/ha) Obs.	V (m³/ha) Est.	Resíduos (%)
13	3,6	24,1	0,05	0,32	24,42	13,69	0,47	3,12	-569,08
15	13,8	50,4	0,24	0,89	26,42	16,10	2,52	9,22	-265,42
17	31,4	69,7	0,71	1,58	28,05	18,81	8,13	18,07	-122,32
19	42,3	79,9	1,20	2,27	29,41	21,08	14,70	27,73	-88,69
21	91,8	80,9	3,18	2,80	30,56	23,01	40,98	36,11	11,87
23	104,3	74,3	4,33	3,09	31,55	24,65	58,19	41,44	28,80
25	67,9	62,8	3,33	3,08	32,40	26,06	46,26	42,78	7,52
27	80,3	49,3	4,60	2,83	33,14	27,28	65,53	40,27	38,55
29	59,1	36,2	3,91	2,39	33,80	28,36	56,94	34,91	38,69
31	46,4	25,0	3,50	1,89	34,38	29,30	52,07	28,09	46,06
33	13,1	16,4	1,19	1,40	34,90	30,13	18,04	21,16	-17,30
35	7,2	10,2	0,69	0,98	35,36	30,87	10,64	15,10	-41,86
37	0,9	0,0	0,10	0,00	35,78	31,54	1,57	0,00	100,00
Total	563,1	579,5	27,05	23,53			376,03	317,98	
Resíduos %	-2,90		13,02				15,44		

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

As distribuições estimadas tanto para o índice de sítio 43 m como para o índice de sítio 48 m foram aceitas pelo teste K-S (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade).

As estimativas obtidas imediatamente antes do segundo desbaste (D2) para o número de árvores foram estatisticamente iguais aos dados médios observados para os índices de sítio 43 e 48 m pelo teste L&O (para nível de significância de 1%). Já, as estimativas de área basal e volume foram estatisticamente diferentes aos dados médios observados para os dois índices de sítio.

Nos dois índices de sítio onde os valores estimados foram comparados com os valores médios observados ($S = 43$ m e $S = 48$ m), observa-se que ocorreu uma grande diferença nas primeiras classes de DAP (Tabela 74 (Anexo 12) e Tabela 75). Houve uma superestimativa nessas classes, no entanto, para o total ocorreu uma subestimativa. O número de parcelas utilizadas para o cálculo dos valores médios observados para o índice de sítio 43 m foi 8 parcelas e para o índice de sítio 48 m foi 17 parcelas. Por ser um número baixo de parcelas, elas podem não ter sido representativas da população.

Na Figura 54 são apresentados os gráficos da distribuição diamétrica projetada para os índices de sítio 43 e 48 m com os valores médios observados. Verifica-se por meio das diferenças (%) apresentadas nas Tabelas 74 (Anexo 12) e 75, a ocorrência de superestimativa dos valores estimados nas menores classes, principalmente para o índice de sítio 48 m.

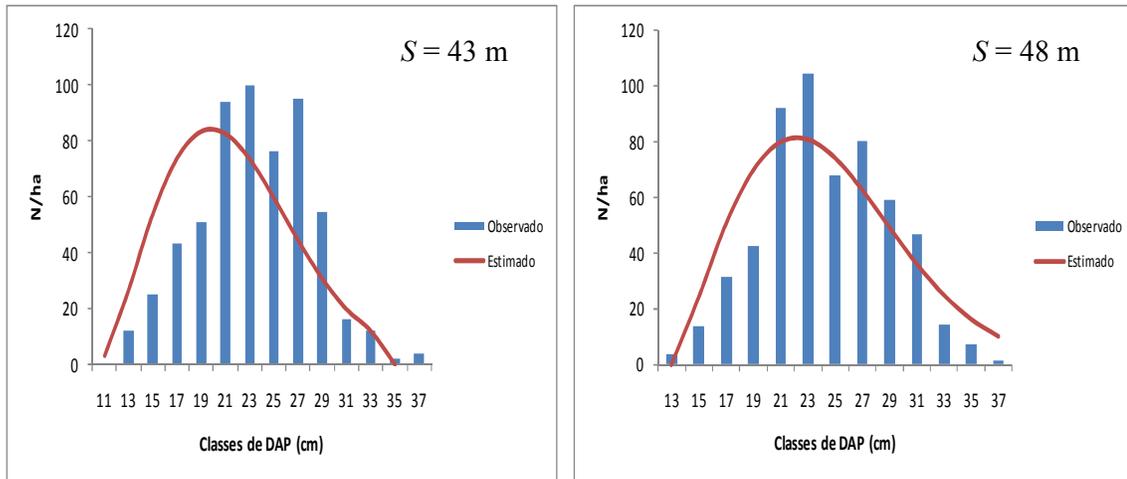


Figura 54. Distribuição diamétrica projetada até a idade do segundo desbaste (D2) e a distribuição média observada.

Na Figura 55 são apresentadas as distribuições diamétricas remanescentes depois do primeiro desbaste (D1) e a distribuição projetada até o segundo desbaste (D2) para os índices de sítio 33, 38 e 53 m.

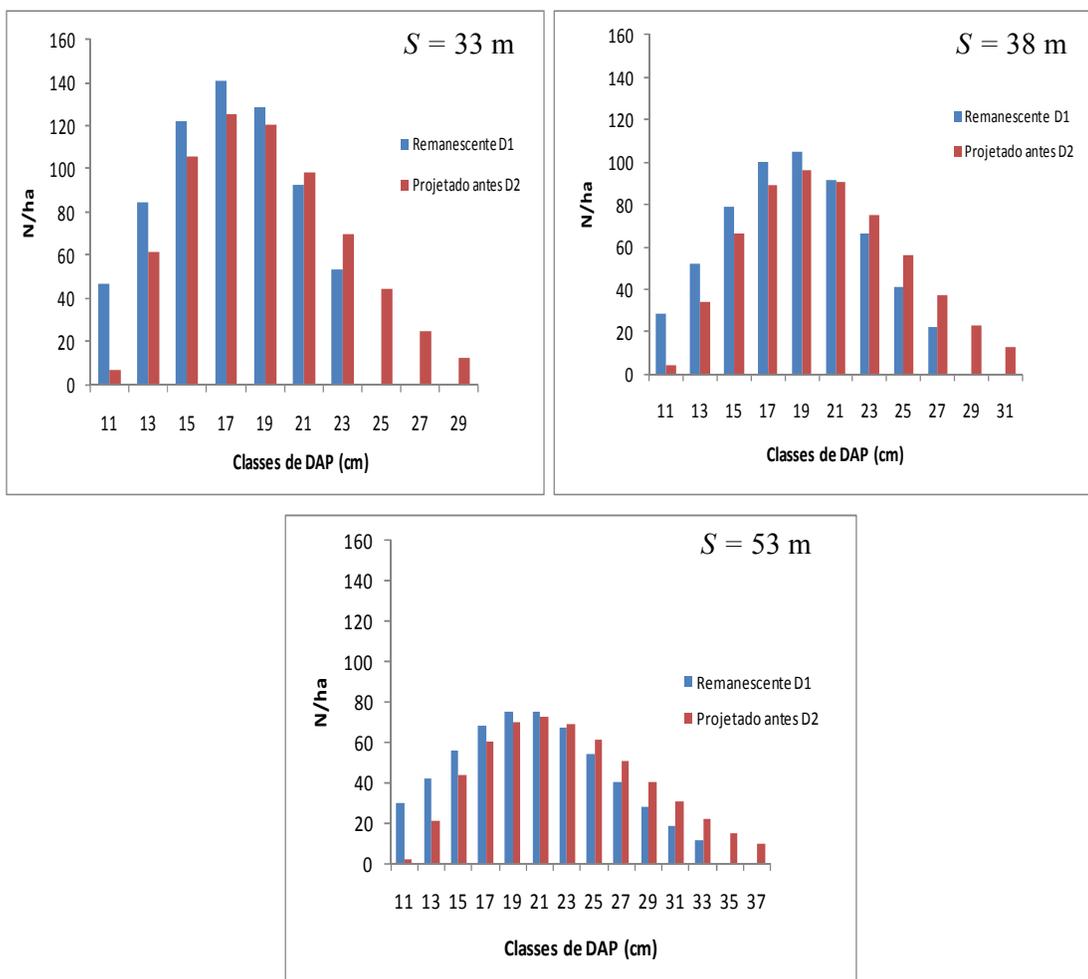


Figura 55. Distribuição diamétrica remanescente depois do primeiro desbaste e projetada até a idade do segundo desbaste (D2).

5.5.4. Simulação do segundo desbaste (D2)

Após a projeção dos atributos/características do povoamento e recuperação dos parâmetros da função Weibull na idade do segundo desbaste, foi realizada a simulação do segundo desbaste para os cinco índices de sítio. Foram retiradas todas as árvores estimadas para a primeira classe de DAP e adotou-se o mesmo fator de correção para a retirada do número de árvores em cada classe, ou seja, eram retiradas apenas 85% do número de árvores estimado pela equação de desbaste. Dessa maneira, retirou-se árvores em todas as classes diamétricas e, obteve-se um número de árvores remanescente total próximo aos praticados pela empresa. As comparações com dados observados foram realizadas de acordo com a disponibilidade dos mesmos.

Os resultados das simulações do segundo desbaste podem ser visualizados nas Tabelas 77, 78, 79 e 81 (Anexo 13) e na Tabela 80.

Tabela 80. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 48 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$		$G_{remov.}$		ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
13	1,6	24,1	0,02	0,32	24,4	13,7	0,21	3,12	-1408,71
15	17,6	42,1	0,31	0,74	26,4	16,1	3,22	7,69	-139,00
17	30,4	56,1	0,69	1,27	28,1	18,8	7,87	14,54	-84,66
19	44,8	59,1	1,27	1,68	29,4	21,1	15,54	20,52	-32,02
21	89,6	49,9	3,10	1,73	30,6	23,0	40,01	22,29	44,30
23	64	31,8	2,66	1,32	31,5	24,6	35,70	17,75	50,30
25	27,2	13,5	1,34	0,66	32,4	26,1	18,52	9,17	50,50
27	11,2	3,0	0,64	0,17	33,1	27,3	9,14	2,48	72,84
29	3,2	0,3	0,21	0,02	33,8	28,4	3,08	0,25	91,85
31	8	0,0	0,60	0,00	34,4	29,3	8,97	0,01	99,94
Total	297,6	280,0	10,85	7,92			142,27	97,81	
Resíduos %		5,92		27,00				31,25	

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

O resumo do teste L&O realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP removidos no D2 é apresentado na Tabela 82.

Tabela 82. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP removidos no D2

Índice de Sítio (m)	N/ha	G (m^2/ha)	Volume (m^3/ha)
43	≠	≠	≠
48	=	=	≠

Os valores removidos estimados para os índices de sítio 43 e 48 m não apresentaram bons resultados quando comparados com as médias das parcelas observadas, principalmente nas menores classes de DAP para o índice sítio 48 m. Essa diferença de mais de 1000% na classe de 13 cm (Tabela 80) deve-se ao fato da distribuição estimada antes do desbaste ter superestimado o número de árvores nas menores classes. É importante salientar que a média do número de árvores removidos nos dois índices de sítio ($S = 43$ m e $S = 48$ m) foram obtidas com base em apenas 8 e 10 parcelas, respectivamente. Estas parcelas podem não representar

adequadamente a população, ocasionando as elevadas diferenças observadas nas Tabelas 79 (Anexo 13) e 80. Ainda, para o ajuste da equação de desbaste para a segunda intervenção (D2) foram utilizados dados de apenas 37 parcelas e, em algumas delas, o povoamento já possuía mais de 10 anos. A inclusão dessas parcelas com mais de 10 anos foi necessária para obter pelo menos o mínimo necessário para o ajuste da equação de desbaste.

As distribuições diamétricas projetadas até o segundo desbaste, a distribuição remanescente e a distribuição do número de árvores removido no segundo desbaste para os índices de sítio 33, 38 e 53 m são apresentadas nas Figuras 56, 57 e 58 no Anexo 14.

A distribuição diamétrica estimada remanescente para os dois sítios não representou bem o número de árvores remanescente apenas nas primeiras classes de DAP, principalmente para o índice de sítio 43 m (Figura 59 – Anexo 14). Já nas demais classes a distribuição estimada remanescente se aproximou mais da média observada. As estimativas do número de árvores remanescentes para os dois índices de sítio ($S = 43$ m e $S = 48$ m) foram estatisticamente iguais aos dados médios observados por meio do teste L&O (para nível de significância de 1%).

5.5.5. Projeção dos atributos necessários para recuperação dos parâmetros da função Weibull na idade do corte final (CF)

Após as simulações do segundo desbaste os atributos das distribuições diamétricas remanescentes estimadas foram projetados para a idade do corte final (CF) (em torno dos 20 anos) utilizando-se os modelos resumidos na Tabela 51. Os resultados das projeções e os parâmetros da função Weibull recuperados na idade do corte final para cada índice de sítio estão na Tabela 83.

Tabela 83. Estimativas dos atributos/características projetados(as) e parâmetros da função Weibull recuperados na idade de corte final (CF)

<i>S</i>	<i>N/ha</i>	<i>D_{min}</i>	\bar{d}	<i>dg</i>	<i>D_{máx}</i>	<i>I</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
33	395,6	16,36	29,41	30,07	40,12	20,5	15,69916	14,72969	2,19217
38	300,8	17,36	34,38	34,99	42,04	20,0	16,76250	19,09266	2,83721
43	331,3	17,48	34,84	35,54	44,54	20,3	16,79147	19,52252	2,66712
48	299,5	19,98	38,48	39,08	47,17	20,5	19,39549	20,71779	2,96005
53	317,9	17,67	36,92	37,60	47,94	16,9	17,00019	21,56854	2,95331

Onde: *S* = Índice de Sítio (m); *N/ha* = número árvores por hectare; *D_{min}* = diâmetro mínimo (cm); \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); *D_{máx}* = diâmetro máximo (cm); *dg* = diâmetro médio quadrático (cm); *I* = idade (anos); “*a*” = parâmetro de locação; “*b*” = parâmetro de escala; “*c*” = parâmetro de forma.

Com os parâmetros da função Weibull recuperados na idade do corte final (CF) foram obtidas as distribuições diamétricas teóricas para cada índice de sítio. Devido a maior amplitude dos diâmetros encontrados no IPC, optou-se em utilizar uma amplitude de classe de diâmetro de 5 cm, em vez de 2 cm como estava sendo utilizado nas estimativas anteriores. As distribuições estimadas foram realizadas desde o diâmetro mínimo estimado para cada índice de sítio até uma classe de DAP a mais que o diâmetro máximo estimado. Nogueira (2003) utilizou como limite superior da distribuição teórica dos diâmetros por classes de DAP a estimativa do diâmetro máximo, acrescentada de duas classes de diâmetro.

As projeções foram realizadas até uma idade média dos dados observados para cada índice de sítio observado no IPC. Para os índices de sítio 43 e 48 m as idades observadas estavam em torno dos 20 anos. Já para o índice de sítio 53 m, em torno dos 18 anos. Para os índices de sítio 33 e 38 m e não haviam parcelas disponíveis para a comparação das estimativas para o CF. As médias para os dados observados para os índices de sítio 43, 48 e 53 m foram obtidas com base em 29, 45 e 30 parcelas, respectivamente, obtendo assim uma média possivelmente mais representativa da população que nas situações anteriores.

A distribuição diamétrica foi aceita pelo teste K-S (resultado do teste não significativo a 1% de probabilidade) utilizando n como N/ha para o índice de sítio 48 m. Já, quando foi utilizado o n da parcela para obter o valor tabelado de D_α as distribuições estimadas foram aceitas para os três índices de sítio que haviam parcelas para comparação. As estimativas da área basal e do volume por classe diamétrica para cada índice de sítio são apresentadas nas Tabelas 84, 85, 86, 87 (Anexo 15) e Tabela 88.

Tabela 88. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 53 m

Centro de classe	N/ha Obs.	N/ha Est.	G (m ² /ha) Obs.	G (m ² /ha) Est.	ht (m)	hc (m)	V (m ³ /ha) Obs.	V (m ³ /ha) Est.	Resíduos (%)
12,5	0,5	0,0	0,01	0,00	33,8	18,0	0,09	0,00	100,00
17,5	1,1	1,1	0,03	0,03	40,3	27,5	0,42	0,45	-5,51
22,5	6,4	15,8	0,25	0,63	44,4	34,4	4,80	11,84	-146,86
27,5	24,5	47,5	1,46	2,82	47,2	39,1	29,61	57,32	-93,58
32,5	63,3	77,3	5,25	6,42	49,3	42,4	111,98	136,83	-22,20
37,5	79,9	82,2	8,83	9,08	50,9	44,9	194,77	200,32	-2,85
42,5	64,9	58,5	9,21	8,29	52,1	46,9	208,40	187,78	9,89
47,5	39,8	27,3	7,06	4,84	53,1	48,4	162,96	111,76	31,41
52,5	15,9	8,1	3,44	1,76	53,9	48,4	74,84	38,29	48,84
57,5	4,8	0,0	1,25	0,00	54,6	49,5	27,44	0,00	100,00
62,5	1,1	0,0	0,33	0,00	55,2	50,4	7,28	0,00	100,00
Total	302,2	317,9	37,10	33,87			822,50	744,60	
Resíduos %		-5,18		8,72				9,47	

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Na Tabela 89 é apresentado o resumo do teste L&O realizado para as estimativas do número de árvores, área basal e volume obtidas imediatamente antes do corte final para cada índice de sítio.

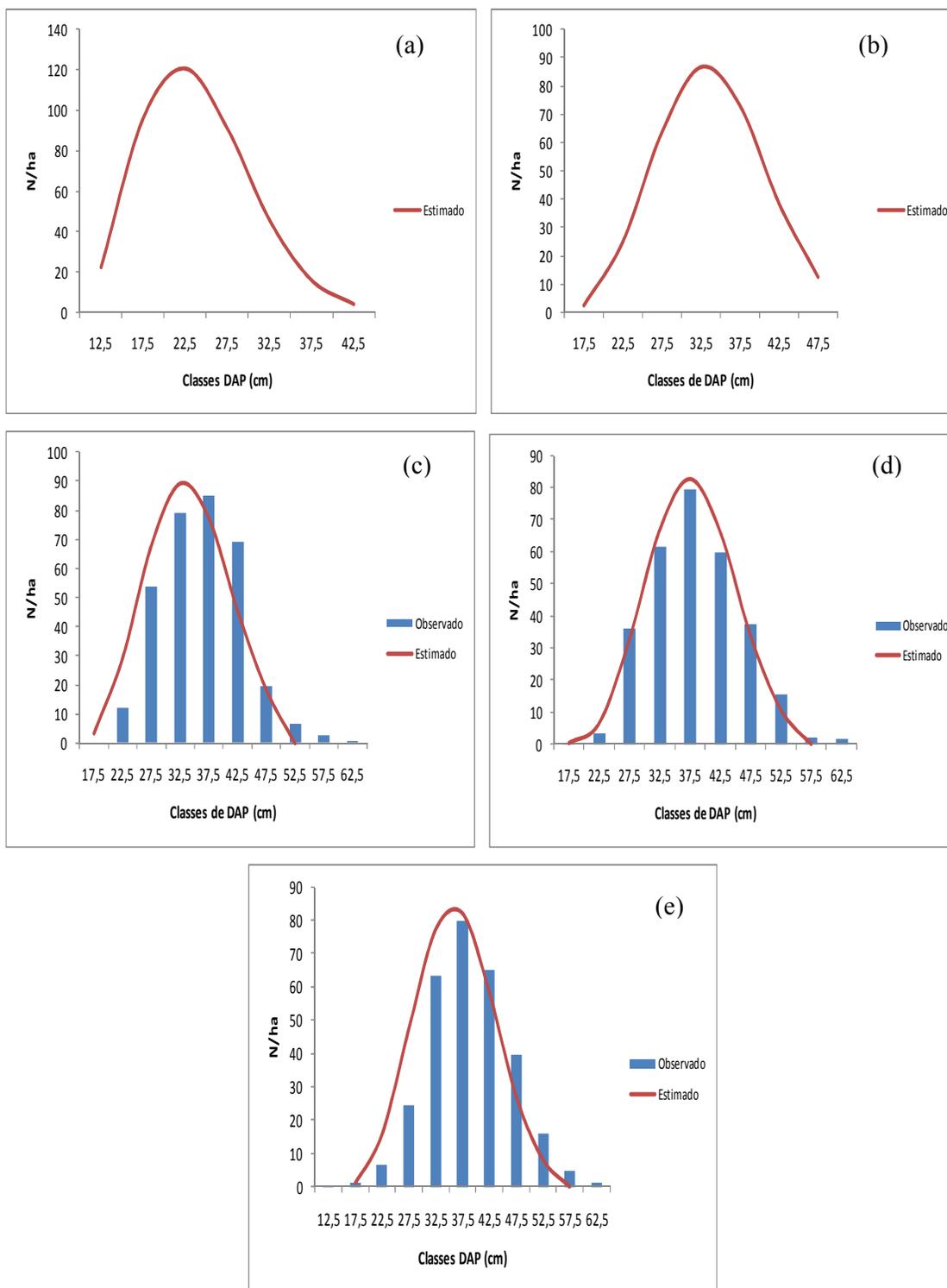
Tabela 89. Resumo do teste L&O (para nível de significância de 1%) realizado para as estimativas de número de árvores, área basal e volume por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final (CF)

Índice de Sítio (m)	N/ha	G (m²/ha)	Volume (m³/ha)
43	=	=	=
48	=	=	=
53	=	=	=

Os resultados obtidos para o número de árvores, área basal e volume total apresentaram uma subestimativa para os três índices de sítio comparados. A maior diferença ocorrida foi de 13,03% no volume para o índice de sítio 43 m (Tabela 86 – Anexo 15). Para as estimativas por classes de DAP ocorreram algumas diferenças elevadas em alguns casos, no entanto essas diferenças ocorreram nas primeiras classes ou nas últimas classes de DAP, onde o número de árvores é menor.

Para o índice de sítio 48 m (Tabela 87 – Anexo 15) ocorreu a menor diferença para o total estimado para o volume e área basal, e as diferenças por classes de DAP apresentaram bons resultados, exceto a classe 22,5 que superestimou em 81,30% os valores estimados. Apesar das diferenças observadas, as estimativas obtidas para os três índices de sítio ($S = 43$ m, $S = 48$ m e $S = 53$ m) para o número de árvores, para a área basal e para o volume por classes de DAP foram estatisticamente iguais aos valores médios observados pelo teste L&O (para nível de significância de 1%) (Tabela 89).

Na Figura 60 são apresentadas as distribuições diamétricas estimadas na idade do CF para cada índice de sítio.



Obs: (a) e (b) sem dados observados

Figura 60. Distribuição diamétrica estimada e observada na idade de corte final. (a): $S = 33$ m (20,5 anos); (b): $S = 38$ m (20,0 anos); (c): $S = 43$ m (20,3 anos); (d): $S = 48$ m (20,5 anos); (e): $S = 53$ m (16,9 anos).

Observa-se que as distribuições estimadas se aproximaram bem dos dados médios observados. Em alguns casos, como na distribuição estimada para o índice de sítio 53 m, a distribuição estimada não representou bem o número de árvores nas menores e maiores classes.

Ocorreram algumas diferenças elevadas em alguns casos, no entanto, as distribuições estimadas para o corte final apresentaram boas estimativas, e os valores da produção total em volume apresentaram valores dentro do padrão observado para os plantios de *Eucalyptus grandis* da empresa (Tabela 90).

Tabela 90. Comparação da produção total estimada com desbaste com informações de produção sem desbaste fornecidas pela empresa

Idade (anos)	Produção sem desbaste (informações fornecidas pela empresa)					
	Sítio I	Sítio II	Sítio III			
20	h_{dom} (m) (idade índice = 15 anos)	50	45	40		
	$V(m^3/ha)$	811	694	581		
	Produção total estimada com desbaste					
	Sítio I	Sítio II	Sítio III	Sítio IV	Sítio V	
	h_{dom} (m) (idade índice = 15 anos)	53 (17 anos)	48	43	38	33
	$V(m^3/ha)$	953	947	770	648	555

6. CONCLUSÕES

- Os modelos hipsométricos apresentaram melhores ajustes com a inclusão das variáveis independentes idade, altura dominante, índice de sítio, além é claro, do DAP.
- O modelo biológico de Chapman-Richards apresentou resultados superiores aos demais modelos testados, além de possuir características lógicas para projeções do Índice de Sítio.
- O diâmetro mínimo e a variância dos diâmetros foram os atributos/características que apresentaram maiores dificuldades de modelagem durante o desenvolvimento do sistema de predição de atributos na idade do primeiro desbaste.
- Os modelos do sistema de projeção apresentaram melhores estatísticas de ajuste e precisão que os modelos do sistema de predição.
- A análise da simulação com a equação de desbaste utilizado por Scolforo (1990) aponta para a necessidade de uma base mais consistente de dados, principalmente nas projeções para o segundo desbaste.
- A alternativa de Álvarez et al. (2002) para simular desbaste apresentou superestimativas em algumas classes de DAP depois do desbaste em relação à distribuição diamétrica antes do desbaste, gerando valores negativos, mas o problema pode ser contornado com uma solução algébrica.
- As projeções do diâmetro médio quadrático e aritmético com os modelos de variância dos diâmetros e da área basal projetadas gerou melhores estimativas na recuperação dos parâmetros da função Weibull nas idades de intervenção (segundo desbaste ou corte final) quando comparadas às projeções geradas por meio de modelos que estimam estes diâmetros médios separadamente.
- A simulação do segundo desbaste apresentou as maiores diferenças entre os valores estimados e observados, podendo ser atribuído a valores médios de poucas parcelas – não representativas – ou pela base de dados pequena usada para desenvolver a equação para simular o segundo desbaste.
- O procedimento de controle do número de árvores removido nos desbastes possibilitou que o número estimado de árvores remanescente para o corte final fosse próximo aos valores médios praticados no manejo dos plantios estudados.
- As diferenças nas projeções do número de árvores, da área basal e do volume por classes de DAP obtidas no corte final não foram estatisticamente significativas.

- A metodologia empregada possibilita simular o crescimento e a produção em plantios de *Eucalyptus grandis* ao longo da rotação gerando resultados adequados, principalmente para o corte final, onde são colhidas as melhores árvores com maiores valores agregados.

7. REFERÊNCIAS

- ABRAF: Anuário estatístico da associação brasileira de produtores de florestas plantadas. Brasília: ABRAF, ano base 2009. 140 p. 2010.
- 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.
- ACERBI JR. F. W.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R. **Modelo para prognose do crescimento e da produção e análise econômica de regimes de manejo para *Pinus taeda* L. R.** *Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.699-713, 2002.
- AHRENS, S. Manejo e silvicultura de plantação de pinus na pequena propriedade rural. Cap 12. In: GALVÃO, A. P. M. (org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília, DF: Embrapa, 2000.
- ÁLVAREZ, G. J. G.; SCHRÖDER, J.; RODRÍGUEZ, S. R.; RUÍZ, G. A. D. Modelling the effect of the diameter distribution of even-aged Maritime pine stands. **Forest Ecology and Management**. 165. p. 57–65, 2002.
- ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 149-164, 149, 2004.
- ASSMANN, E. **The principle of forest yield study**. New York: Pergamon Press. 1970.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores cultivadas no sul do Brasil: guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas**. Porto Alegre RS:, Instituto Souza Cruz, 1 ed, 2004. 205 p.
- BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n. 2, p. 97-104, jun. 1973.
- BAILEY, R. L. Individual tree growth derived from diameter distribution models. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 626-632, 1980.
- BARRA, O. S. V. et al. Proposta metodológica para o ajuste ótima da distribuição diamétrica Weibull 3p. **Floresta** 34 (3), Set/Dez 2004, 387-393, Curitiba-PR.
- BERGAMIN FILHO, A. Análise matemática de epidemias. In: GALLI, F. (coord.) **Manual de Fitopatologia**. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1978. 373 p.

BERTOLANI, F.; NICOLIELO, N.; CHAVES, R. Manejo de *Eucalyptus sp* para serraria: a experiência da Duratex S.A. In: **Anais**: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. p. 31-40, 05 e 06 de abril de 1995.

BURK, T. E.; NEWBERRY, J. D. A algorithm for moment-based recovery of Weibull distribution parameters. **Forest Science**, Peking, 30(2): 329-332, june 1984.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**: perguntas e respostas. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009.

CARELLI NETTO, C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos**. UFSM: Santa Maria, RS, 2008. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, RS.

CHIKUMBO, O., MAREELS, I.M.Y., TURNER, B.J., 1992. Integrating the Weibull into a dynamical model to predict future diameter distributions. In: Wood, G.B., Turner, B.J., (Eds.), Integrating Forest Information over space and Time. The Australian National University, ANUTECH Pty Ltd, pp. 94-102.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333p.

CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; BERNI, D. M. Modelos de simulação para classe diamétrica em *Populus sp*. **Revista Acadêmica**: ciências agrárias e ambientais, Curitiba, v.2, n.3, p. 33-40, jul./set. 2004.

COUTO, H. T. Z. do . Manejo de florestas e sua utilização em serraria. In: **Anais**: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. p. 21-30, 05 e 06 de abril de 1995.

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. UFV: Viçosa, 2000. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. UFV: Viçosa, 2005. 135p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Willey and Sons, 1981. 709p.

FERREIRA, C. A. **Cultivo do eucalipto**: Manejo de plantações para desdobro. In: Embrapa Florestas Sistemas de Produção, 4 ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica Ago./2003. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/08_conducao_para_serraria.htm. Acesso em: 30 jul. 2009.

FIGURA, M. A. **A distribuição de weibull na descrição da estrutura diamétrica de *Eucalyptus grandis*: um enfoque sobre o método dos momentos.** UFPR: Curitiba, 2010. 108p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 2010.

GLUFKE, C.; FINGER, C. A.G.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento de *Pinus elliottii* Engelm sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p. 11-25, 1997.

GONÇALEZ, J. C.; BREDA, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex. Madeir e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16. n.3, p. 329-341, 2006.

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A.; PAULESKI, D. T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13. n.2, p. 167-75, 2003.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica.** Domador Gujarati; tradução de Maria José Cyhlar Monteiro. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006 – 3ª reimpressão.

HYINK, D. M. Diameter distribution approaches to growth and yield modeling. In: BROWN, K. M.; CLARKE, F. R., eds. **Forecasting forest stand dynamics.** Ontario, Lakehead Univ. 1980. p. 138-163.

KIKUTI, P.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R. Manejo de eucalipto para uso múltiplo na Klabin. In: **Anais: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria.** p.41, 05 e 06 de abril de 1995.

LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Árvore**, Viçosa-MG, v.21, n.3, p. 313-321, 1997.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test identity between analytical methods. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v.33, n.7/8, p.1105-1118, 2002.

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas.** Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

MALTAMO M.; KANGAS, A.; UUTTERA, J.; TORNIAINEN, T.; SARAMÄKI, J. Comparison of percentile based prediction methods and the Weibull distribution in describing the diameter distribution of heterogeneous Scots pine stands. **Forest Ecology and Management**, 133, p. 263-274, 2000.

MEDRADO, M. J. S. **Cultivo do eucalipto:** Importância socioeconômica e ambiental. In: Embrapa Florestas Sistemas de Produção, 4 ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica Ago./2003. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/01_Importancia_economica.htm. Acesso em: 29 jul. 2009.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; JOSÉ TARCÍSIO DA SILVA OLIVEIRA, J.T. S.; NOGUEIRA, G. S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a utilização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 71-82, jan./mar. 2007.

MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás.** UFPR: Curitiba, 2009. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2009.

MONTEIRO, A. L. A. **Um sistema para o cálculo da resistência mecânica de materiais frágeis pelo uso do método estatístico de Weibull.** 2001, 63 p. Monografia. Universidade Estadual Paulista.

MURRAY, D. M.; GADOW, K. v. Relationship between the diameter distribution before and after thinning. **Forest Science**. v.37, n.2, p. 552-559, 1991.

NANOS, N; G. MONTERO. Spatial prediction of diameter distribution models. **Forest Ecology and Management**, 161, p. 147-158, 2002.

NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste.** UFV: Viçosa, 2003. 132p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

NOGUEIRA, G. S. LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.579-589, 2005.

PALUDZYSZYN FILHO, E. **Cultivo do eucalipto:** Indicações de Espécies. In: Embrapa Florestas Sistemas de Produção, 4 ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica Ago./2003. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/02_indicacao_de_especies.htm. Acesso em: 29 jul. 2009.

PIENAAR, L. V. An approximation of basal area growth after thinning based on growth in unthinned plantations. **Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 223-232, 1979.

PHILLIP, M.S. **Measuring trees and Forests.** Wallingford, UK: CAB international, 1994. 264p.

PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal.** San José: IICA, 1997. 586 p. (Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible).

RODRIGUEZ, L. C. E.; BUENO, A. R. S.; RODRIGUES, F. Rotações de eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia Forestalis**. n. 51, p. 15-28, jun. 1997

SANTANA, C. J. de O. **Simulação do crescimento e da produção em plantações desbastadas de *Eucalyptus grandis* com diferentes procedimentos de obtenção dos parâmetros da distribuição Weibull.** UPPR: CURITIBA, PR. 2008. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2008.

SCHNEIDER, P. R. et al. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill exMaiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 129-140, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. UFPR: Curitiba, 1990. 289p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 1990.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia Forestalis**. n. 50. p. 51-64, dez., 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEP, 1998.

SIIPILEHTO, J. Modelling stand structure in young Scots pine dominated stands. **Forest Ecology and Management**, 257, p. 223–232, 2009.

SILVA, H. D. DA; BELLOTE, A. F. J ; FERREIRA, C. A. **Cultivo do eucalipto**: Sistemas de plantio. In: Embrapa Florestas Sistemas de Produção, 4 ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica Ago./2003. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br /FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/04_consideracoes_gerais_sobre_o_plantio.htm. Acesso em: 29 jul. 2009.

Silvicultura do Eucalipto (*Eucalyptus* spp.): Produção de mudas, Plantio, Tratos culturais, Tratos silviculturais, Exploração, Manejo da brotação. Disponível em: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/silvicultura/silvicultura_do_eucalipto_\(eucalyptus_spp.\).html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/silvicultura/silvicultura_do_eucalipto_(eucalyptus_spp.).html). Acesso em: 12 ago 2009.

SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. New York: Jonh Wiley e Sons, 1962, 578 p.

SOARES, T. S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. UFV: Viçosa, 2002. 49p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B.; SOARES, C. P.; SILVA, G. F. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus* sp. **Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.2, p.275-283, 2007.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 71p. 2000.

SPURR, S.H. **Forest Inventory**. New York, The Ronald Press Company. 476 p. 1952.

TRINCADO, G. V; QUEZADA, R. P.; KLAUS, v. G. A comparison of two stand table projection methods for young *Eucalyptus nitens* (Maiden) plantations in Chile. **Forest Ecology and Management**, 180, p. 443–451, 2003.

TEMPS, M. **Adição da precipitação pluviométrica na modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L.** Curitiba: UFPR, 2005. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2005.

THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*.** 1997. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Lavras, 1997.

TONINI, H. **Índices de Competição e o seu Uso na Modelagem do Crescimento das Árvores.** Boa Vista- RR: Embrapa. **Documentos 08**, Novembro, 2007.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests.** Wallingford: CAB International. 1994.

VEIGA, A.A. **Curso intensivo de Silvicultura.** Publicação do Instituto Florestal de São Paulo, n. 26, 114p. 1985.

WEBER, K. S. **Manejo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais.** UFPR: Curitiba, 2007. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2007.

WENDLING, W. T. **Sistema computacional e modelagem para simulação dinâmica da produção florestal.** UFPR: Curitiba, 2007. 191p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2007.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v.39, n.3, p.594-616, 1993.

ANEXOS

ANEXO 1: Tabelas com estimativas dos parâmetros dos modelos testados dos sistemas de predição

Tabela 27. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (N/ha)	Syx (%)	n	Eq.
Pienaar e Shiver (1981)	$\ln(N_2) = \ln(N_1) - \beta_1(I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2})$	$\beta_1 = 1133,34$ $\beta_2 = 6,82E-05$	0,9850	24,05	2,0	46	(35)
Lenhart	$N_2 = N_1 \exp \left[\beta_1(I_2 - I_1) + \beta_2 \left(\ln \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \right) \right]$	$\beta_1 = -0,00536$ $\beta_2 = -0,04856$	0,9863	22,93	1,9	46	(36)
Clutter	$N_2 = N_1 \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^{\beta_1} \cdot \exp [(\beta_0 + \beta_2 S)(I_2 - I_1)]$	$\beta_1 = 0,94616$ $\beta_2 = -0,14149$ $\beta_3 = 0,00360$	0,6308	119,19	9,9	46	(37)
Acerbi Jr. et al. (2002)	$N_2 = N_1 \{ \exp [I_2(\beta_1 + \beta_2 \ln(N_1) + \beta_3 S)] \}$	$\beta_1 = 0,01715$ $\beta_2 = -0,00222$ $\beta_3 = -8,1E-05$	0,9781	29,04	2,4	46	(38)
Feducia et al.	$N_s = N_p / \{ \exp(I(\beta_1 \ln(N_p) + \beta_2 h_{\text{dom}} + \beta_3 (h_{\text{dom}})^{1/2})) \}$	$\beta_1 = 0,00223$ $\beta_2 = 0,00030$ $\beta_3 = -0,00392$	0,9746	36,12	2,9	227	(39)
Burkhardt e Sprinz 1984	$N_s = \{ N_p \cdot [\exp(I(\beta_0 - \beta_1 \ln(N_p)))] \}$	$\beta_1 = 1,11834$ $\beta_2 = -0,01867$ $\beta_3 = -0,01549$	0,9713	38,37	3,1	227	(40)
Acerbi Jr. et al. (2002) Modificado	$N_s = N_p \{ \exp [I_2(\beta_1 + \beta_2 \ln(N_1) + \beta_3 S)] \}$	$\beta_1 = 0,00459$ $\beta_2 = -0,00111$ $\beta_3 = 7,54E-06$	0,9743	36,30	2,9	227	(41)

Onde: N_2 = número de árvores na idade 2; N_1 = número de árvores na idade 1; I_2 = idade 1; I_1 = idade 2; N_s = número de árvores da medição feita na idade I ; N_p = número de árvores plantadas menos falhas de plantio; \exp = exponencial; h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); S = índice de sítio; \ln = logaritmo natural. β_{is} = coeficientes de regressão estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 28. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para área basal com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (m ² /ha)	S_{yx} (%)	n	Eq.
Scolforo (1998)	$\ln(G) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_2 S + \beta_3 \ln\left(\frac{1}{N}\right)$	$\beta_0 = 0,17461$ $\beta_1 = -3,75746$ $\beta_2 = 0,01231$ $\beta_3 = -0,47354$	0,8666	4,17	14,2	505	(42)
Santana (2008)	$G = \beta_0 + \beta_1 \ln(I) + \beta_2 \ln(N)$	$\beta_0 = -107,55927$ $\beta_1 = 1,11561$ $\beta_2 = 14,85768$	0,8315	4,68	16,0	505	(43)
Scolforo (1990) Modificado	$\ln(G) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \beta_2 \ln\left(\frac{N}{I}\right) + \beta_3 \ln(SI)$	$\beta_0 = -1,85116$ $\beta_1 = -3,05139$ $\beta_2 = 0,46553$ $\beta_3 = 0,59691$	0,8779	3,97	13,5	505	(44)
Scolforo (1990)	$\ln(G) = \beta_0 + \beta_1 \ln(N) + \beta_2(I) + \beta_3\left(\frac{1}{I}\right) + \beta_4\left(\frac{1}{S}\right)$	$\beta_0 = 1,04205$ $\beta_1 = 0,47462$ $\beta_2 = 0,01369$ $\beta_3 = -3,27707$ $\beta_4 = -22,61548$	0,8711	4,10	14,0	505	(45)
Scolforo (1990)	$\ln(G) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_2 S + \beta_3 \left(\frac{1}{N}\right)$	$\beta_0 = 3,77541$ $\beta_1 = -3,69913$ $\beta_2 = 0,01161$ $\beta_3 = -270,23842$	0,8364	4,61	15,8	505	(46)
Scolforo (1998)	$G = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 h_{\text{dom}}$	$\beta_0 = -21,50887$ $\beta_1 = 0,01612$ $\beta_2 = 1,09919$	0,8277	4,71	16,0	505	(47)

Onde: G = área basal (m²/ha); I = Idade (anos); S = índice de sítio; N = número de árvores por hectare; h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 29. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para diâmetro mínimo com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (cm)	Syx (%)	n	Eq.
Santana (2008) Modificado	$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d} + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \ln(G) + \beta_4 dg$	$\beta_0 = 2,99557$ $\beta_1 = 3,59640$ $\beta_2 = 0,05769$ $\beta_3 = -3,32997$ $\beta_4 = -2,69131$	0,8650	1,32	18,5	505	(48)
Scolforo	$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 \left(\frac{h_{dom}}{I} \right) + \beta_3 N + \beta_4 dg$	$\beta_0 = 1,03967$ $\beta_1 = -0,55242$ $\beta_2 = -0,38005$ $\beta_3 = -0,00270$ $\beta_4 = 0,81905$	0,6799	2,04	28,5	505	(49)
Cao et al.	$D_{\min} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I} + \beta_2 \ln(h_{dom}) + \beta_3 \ln(G) + \beta_4 \ln(N)$	$\beta_0 = 28,60172$ $\beta_1 = 1,31854$ $\beta_2 = -0,05317$ $\beta_3 = 2,30164$ $\beta_4 = -3,90035$	0,4804	2,79	39,1	505	(50)
Lenhart	$\ln(D_{\min}) = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 N$	$\beta_0 = 2,40223$ $\beta_1 = 0,01111$ $\beta_2 = -0,00072$	0,5463	2,43	34,0	505	(51)
Burkhardt e Daniels	$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 \left(\frac{h_{dom}}{N} \right)$	$\beta_0 = 4,52993$ $\beta_1 = -0,07077$ $\beta_2 = 163,44112$	0,8133	1,56	21,8	505	(52)
Burkhardt et al.	$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 (I \cdot N) + \beta_3 \left(\frac{h_{dom}}{N} \right) + \beta_4 (dg \cdot I)$	$\beta_0 = 4,74908$ $\beta_1 = -0,06092$ $\beta_2 = -0,00009$ $\beta_3 = 148,51595$ $\beta_4 = 0,00447$	0,8142	1,55	21,8	505	(53)
Burkhardt e Sprinz	$\ln(D_{\min}) = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 \left(\frac{h_{dom}}{I} \right) + \beta_3 N$	$\beta_0 = 2,84708$ $\beta_1 = 0,01650$ $\beta_2 = -0,03931$ $\beta_3 = -0,00075$	0,5602	2,39	33,5	505	(54)

Onde: D_{\min} = diâmetro mínimo (cm); G = área basal (m^2/ha); h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); N = número de árvores por ha; I = idade (anos); S^2_d = variância dos diâmetros (cm^2); dg = diâmetro médio quadrático (cm); \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 31. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a variância dos diâmetros com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (cm ²)	Syx (%)	n	Eq.
Burk e Burkchart modificado	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \ln(S^2d) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \frac{\beta_2}{h_{dom}} + \beta_3 \ln(G) + \frac{\beta_4}{G}$	$\beta_0 = -6,19198$ $\beta_1 = 1,06850$ $\beta_2 = 0,50025$ $\beta_3 = 1,55758$ $\beta_4 = 15,03376$	0,6738	13,23	41,6	505	(55)
Knoebell e Burkchart	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \beta_0 + \beta_1 \ln(G) + \beta_2 \ln(h_{dom}) + \beta_3(I \cdot N)$	$\beta_0 = -2,67122$ $\beta_1 = 0,67088$ $\beta_2 = 1,01157$ $\beta_3 = 0,00003$	0,6265	13,29	41,5	505	(56)
Scolforo 1	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \ln(S^2d) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \left(\frac{1}{h_{dom}} \right) + \beta_3 \ln(G)$	$\beta_0 = -7,44687$ $\beta_1 = 2,41360$ $\beta_2 = 22,20361$ $\beta_3 = 0,53611$	0,7932	11,63	35,4	505	(57)
Scolforo 2	$\ln(dg^2 - \bar{d}^2) = \ln(S^2d) = \beta_0 + \beta_1 \ln(h_{dom}) + \beta_2 \ln\left(\frac{G}{N}\right) + \beta_3 \left(\frac{h_{dom}}{I}\right)$	$\beta_0 = -6,56737$ $\beta_1 = 1,75930$ $\beta_2 = 18,67629$ $\beta_3 = 0,94792$	0,6977	12,68	39,6	505	(58)

Onde: S^2d = variância dos diâmetros (cm²); G = área basal (m²ha); h_{dom} = altura média das árvores dominantes (m); N = número de árvores por ha; I = idade em anos; dg = diâmetro médio quadrático (cm); \bar{d} = média aritmética dos diâmetros (cm); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 32. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar diâmetro máximo ($D_{m\acute{a}x}$) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx (cm)	Syx (%)	n	Eq.
Scolforo (1998)	$D_{m\acute{a}x} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 \bar{d}$	$\beta_0 = 7,86679$ $\beta_1 = 1,60763$ $\beta_2 = 0,55229$	0,88330	2,90	10,34	505	(61)
Wendling (2007)	$D_{m\acute{a}x} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 I^2 + \beta_3 N + \beta_4 N^2 + \beta_5 h_{dom}^2 + \beta_6 G$	$\beta_0 = 20,52720$ $\beta_1 = 0,95337$ $\beta_2 = -0,02709$ $\beta_3 = -0,01286$ $\beta_4 = 2,98E-06$ $\beta_5 = 0,00465$ $\beta_6 = 0,31322$	0,92644	2,31	8,21	505	(62)
Santana (2008) Modificado	$D_{m\acute{a}x} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d} + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 \ln(G) + \beta_4 dg$	$\beta_0 = -2,74791$ $\beta_1 = -5,72659$ $\beta_2 = 0,22661$ $\beta_3 = 1,37156$ $\beta_4 = 6,56224$	0,94420	2,01	7,15	505	(63)
-	$D_{m\acute{a}x} = \beta_1 I + \beta_2 h_{dom} + \beta_3 N + \beta_4 dg$	$\beta_1 = 0,74190$ $\beta_2 = 0,33468$ $\beta_3 = 0,00210$ $\beta_4 = 0,60786$	0,99079	2,50	8,89	505	(64)
-	$D_{m\acute{a}x} = \beta_1 I + \beta_2 S + \beta_3 dg$	$\beta_1 = 1,46173$ $\beta_2 = 0,14672$ $\beta_3 = 0,64957$	0,98939	2,73	9,71	505	(65)

Onde: $D_{m\acute{a}x}$ = diâmetro máximo (cm); \bar{d} = diâmetro médio aritmético (cm); N = Número de árvores por hectare; I = Idade (anos); dg = diâmetro médio quadrático (cm); G = área basal (m²/ha); h_{dom} = altura dominante (m); S = Índice de Sítio (m); β_i = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

ANEXO 2: Gráficos de dispersão de resíduos para os modelos do sistema de predição

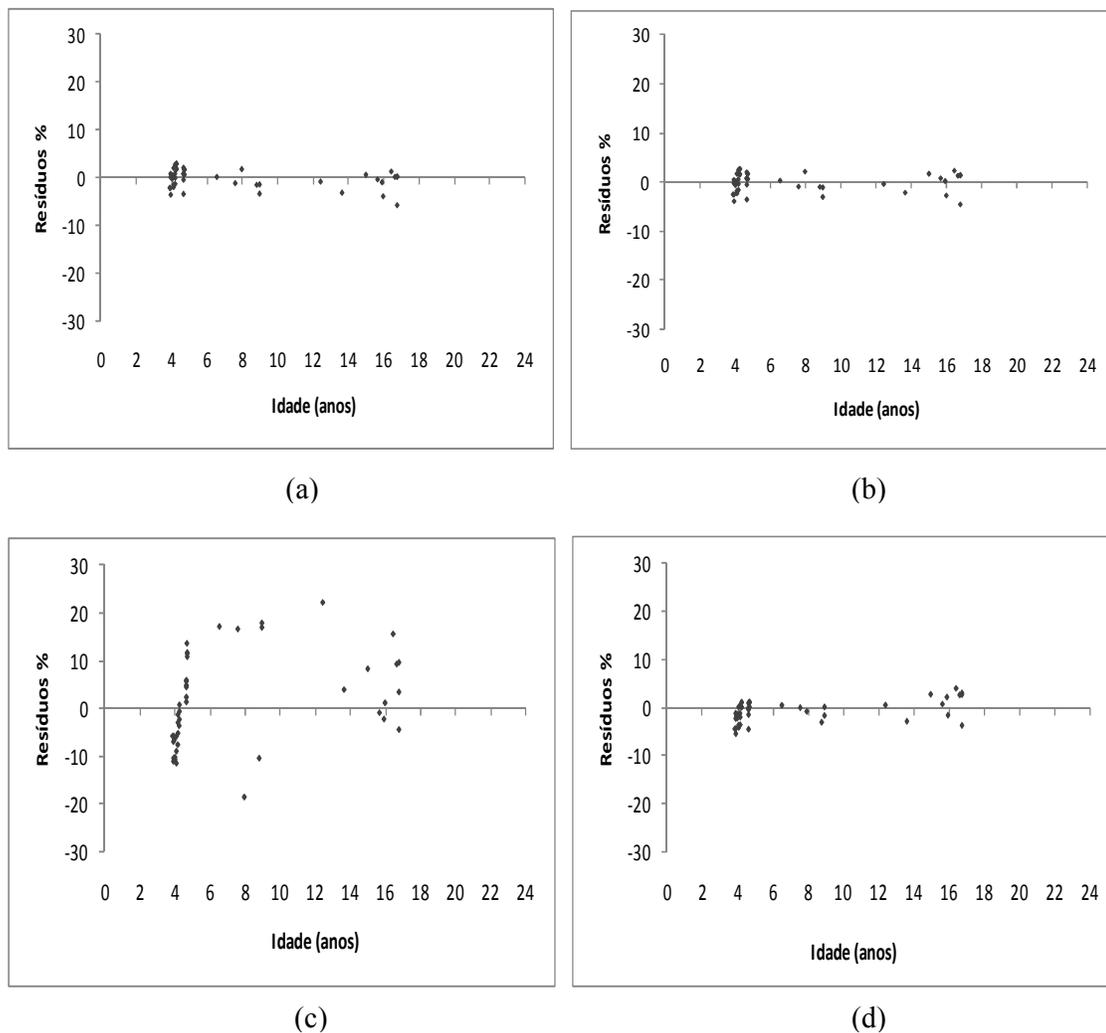
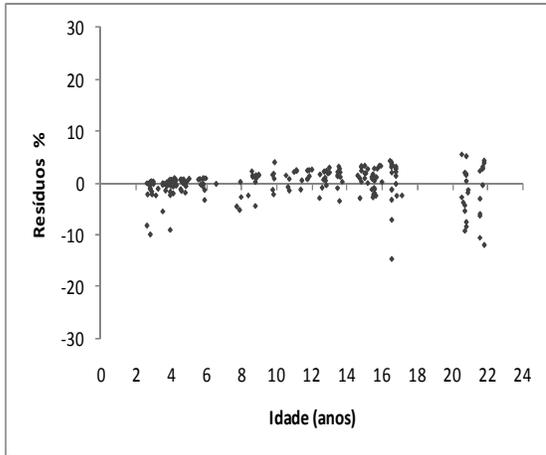
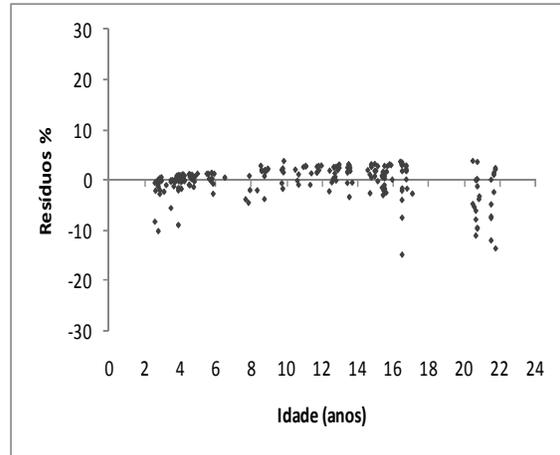


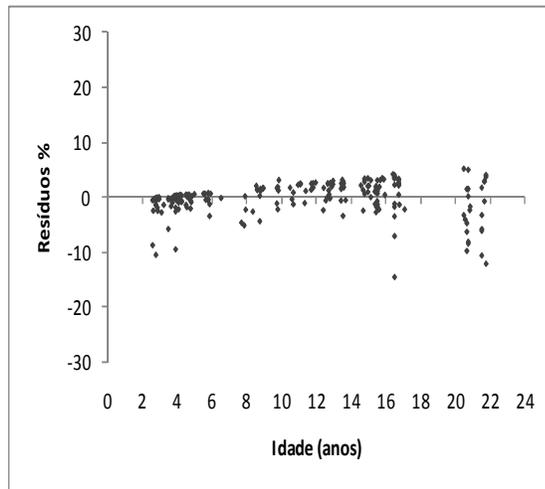
Figura 6. Distribuição de resíduos para modelos de sobrevivência. (a): Pienaar e Shiver; (b): Lenhart; (c): Clutter; (d): Modelo (38).



(a)



(b)



(c)

Figura 7. Distribuição de resíduos de sobrevivência. (a): Feducia et al.; (b): Burkhardt e Sprinz; (c): Modelo (41).

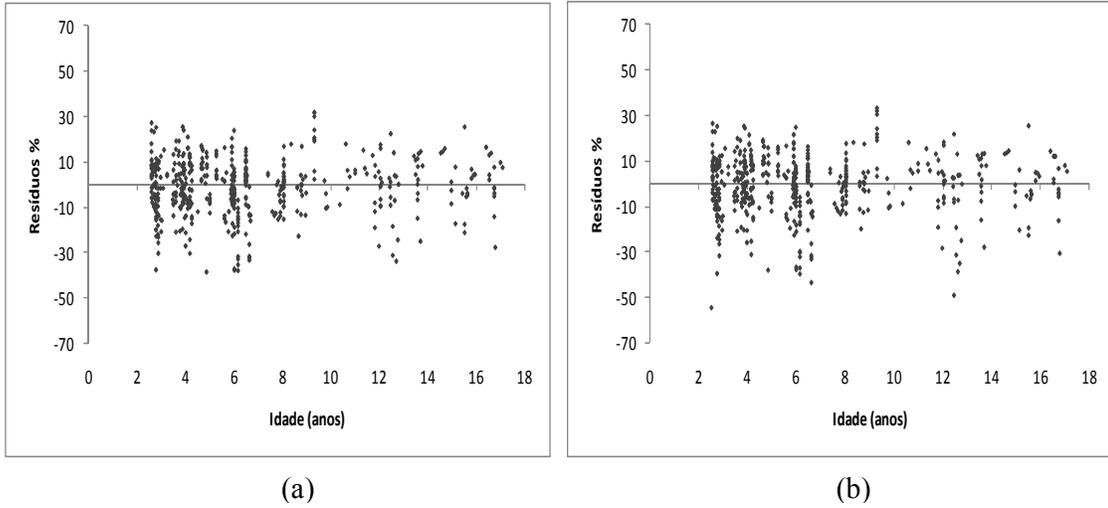


Figura 8. Distribuição de resíduos para área basal (m^2/ha). (a): Modelo (44); (b): Modelo (45).

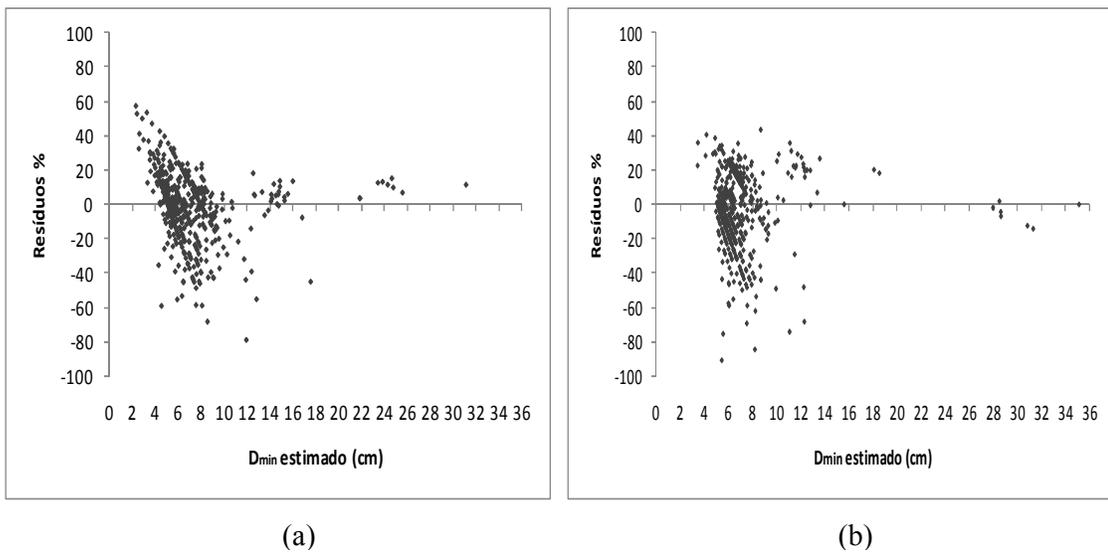


Figura 9. Dispersão de resíduos para diâmetro mínimo. (a): Modelo (48) ; (b): Burkhardt et al. (53).

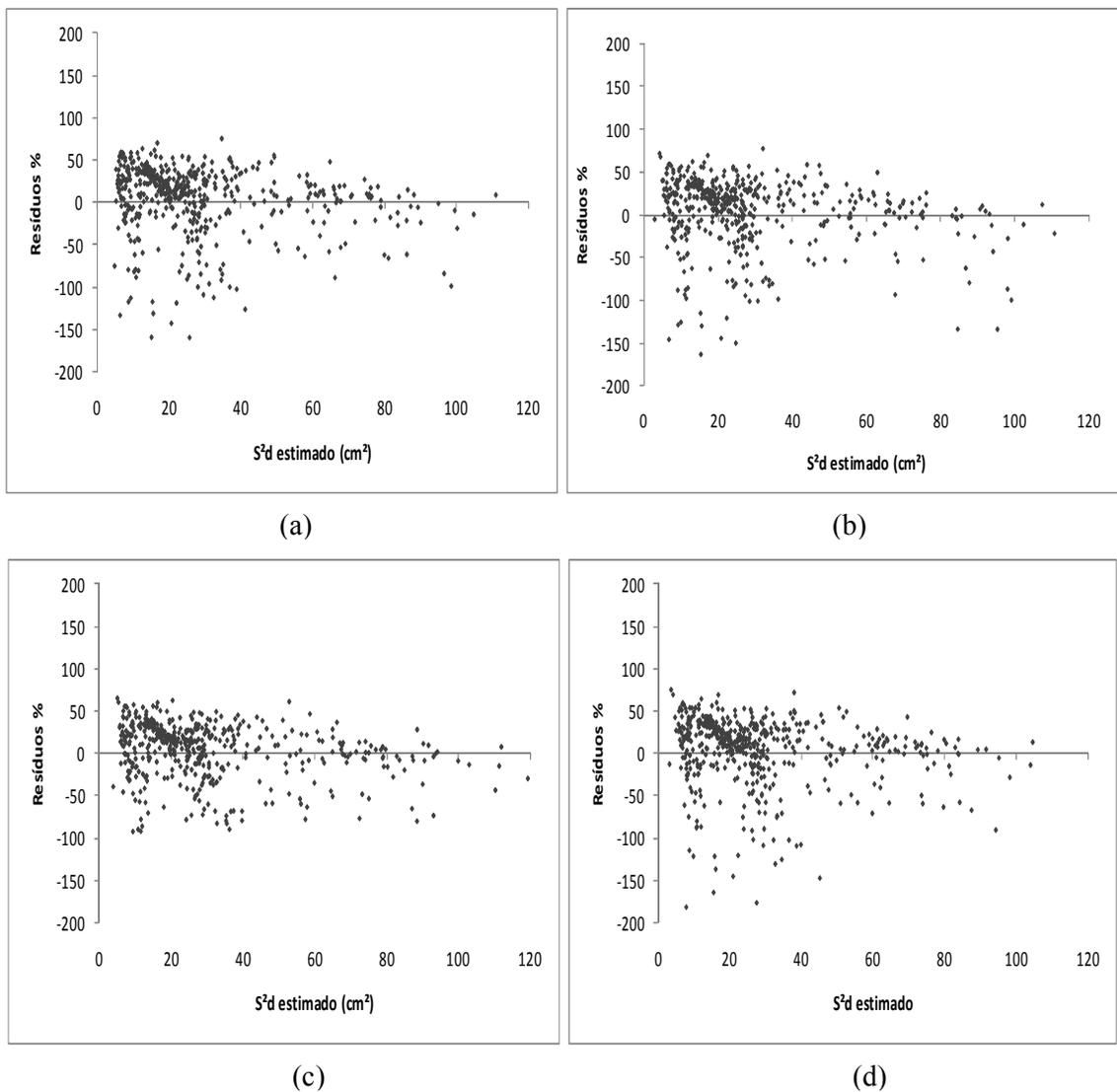
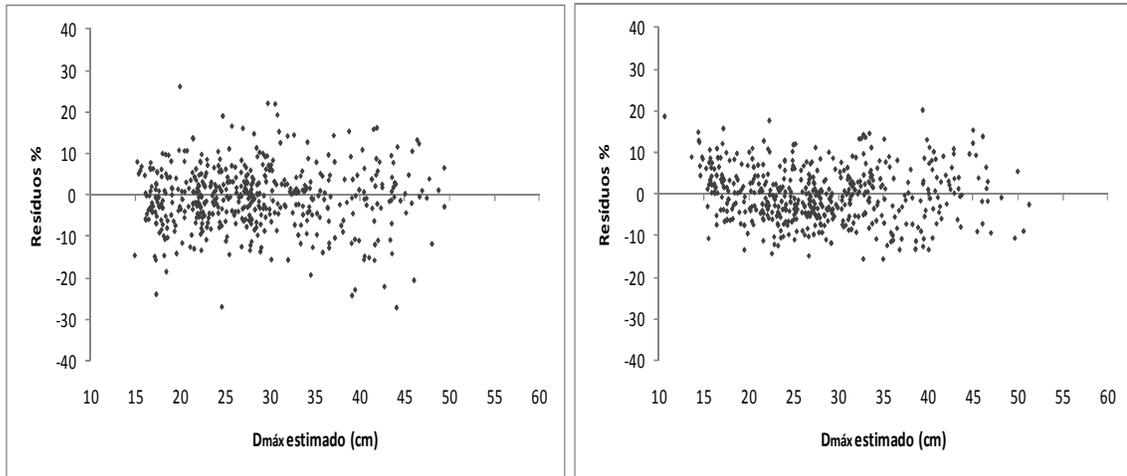
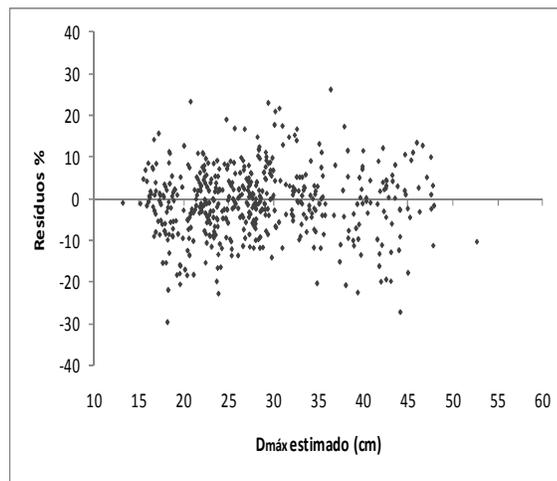


Figura 10. Resíduos para variância dos diâmetros. (a): Burk e Burkhart (55); (b): Knoebell e Burkhart (56); (c): Scolforo 1 (57); (d): Scolforo 2 (58).



(a)

(b)



(c)

Figura 11. Dispersão de resíduos para diâmetro máximo. (a): Modelo (62); (b): Modelo (63); (c): Modelo (64).

ANEXO 3: Gráficos dos desbastes obtidos com a equação de desbaste

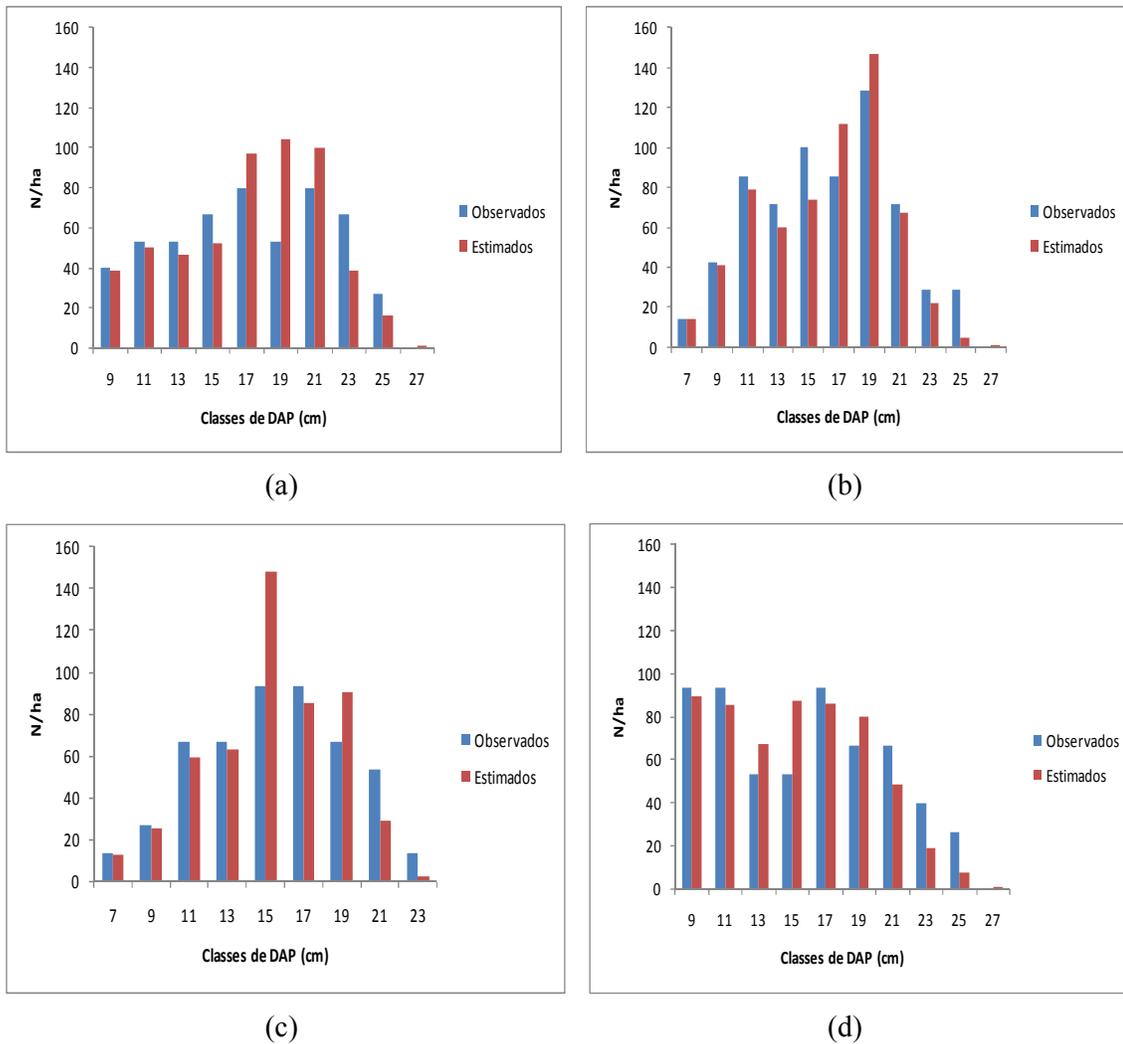
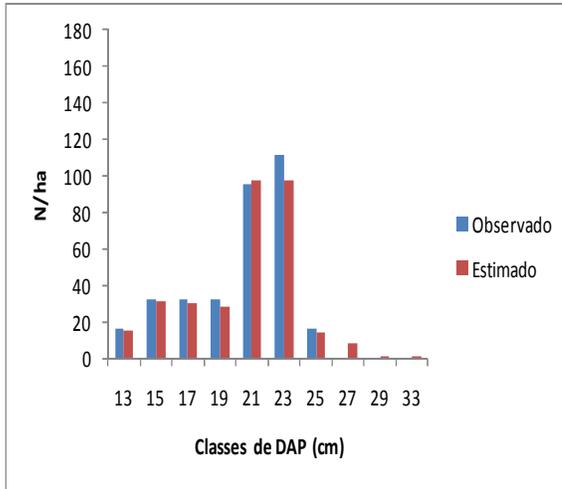
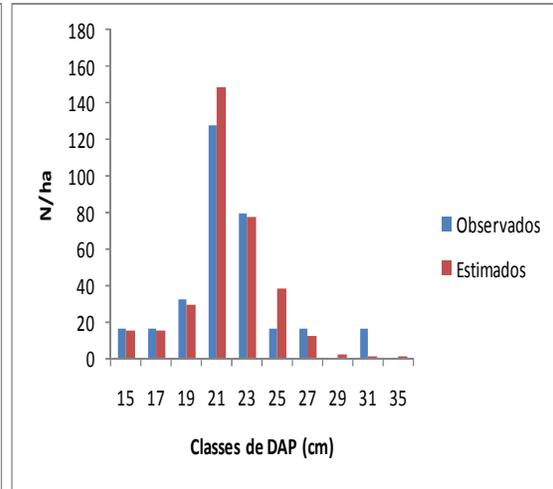


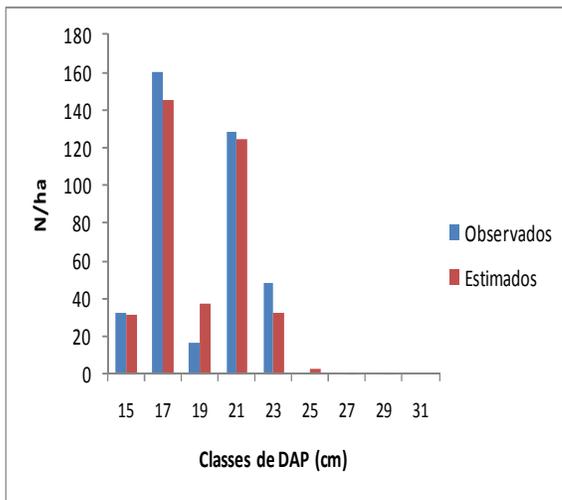
Figura 12. Árvores removidas observadas e estimadas por classe de DAP no primeiro desbaste – (a): parcela 22; (b): parcela 24; (c): parcela 270; (d): parcela 1667.



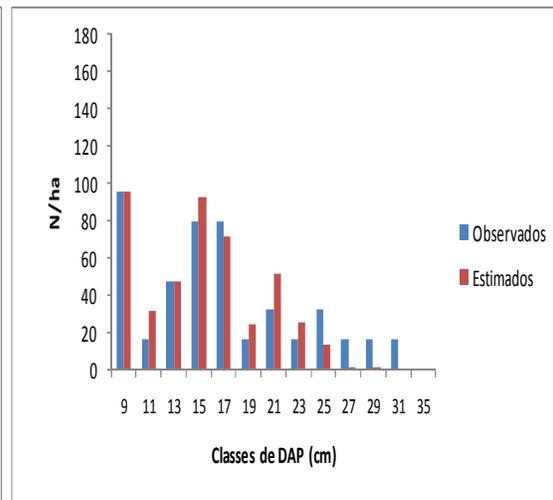
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 14. Árvores removidas observadas e estimadas por classe de DAP no segundo desbaste. (a): parcela 68; (b): parcela 72; (c): parcela 4846; (d): parcela 5255.

ANEXO 4: Tabelas com estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar os parâmetros da função Weibull depois dos desbastes

Tabela 35. Estimativas dos modelos para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do primeiro desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² -adj	Syx (cm)	Syx (%)	n	Eq.
-	Diâmetro mínimo depois do primeiro desbaste ($D_{\min_{depois}}$)						
-	$D \min_{depois} = \beta_1 dg_{depois}$	$\beta_1 = 0,66488$	0,9779	1,57	11,0	97	(67)
-	$D \min_{depois} = \beta_1 D \min_{antes} + \beta_2 dg_{depois}$	$\beta_1 = 0,50373$ $\beta_2 = 0,47993$	0,9787	1,50	10,5	97	(68)
Diâmetro médio quadrático depois do primeiro desbaste (dg_{depois})							
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes}$	$\beta_0 = -12,43447$ $\beta_1 = 12,92018$ $\beta_2 = 1,47231$	0,8876	0,62	2,9	97	(69)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 I$	$\beta_0 = -15,46317$ $\beta_1 = 11,26368$ $\beta_2 = 1,43833$ $\beta_3 = 0,73107$	0,9079	0,56	2,6	97	(70)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \ln(I)$	$\beta_0 = -19,0550$ $\beta_1 = 11,21851$ $\beta_2 = 1,43807$ $\beta_3 = 4,47312$	0,9083	0,56	2,6	97	(71)
Diâmetro médio aritmético depois do primeiro desbaste (\bar{d}_{depois})							
Álvarez et al. (modificado)	$\bar{d}_{depois} = \beta_1 \bar{d}_{antes}$	$\beta_1 = 0,00048$	0,9896	0,10	0,5	97	(72)
-	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 I$	$\beta_0 = 0,95192$ $\beta_1 = 0,98232$ $\beta_2 = -0,13810$	0,9977	0,09	0,4	97	(73)
-	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 dg_{depois}$	$\beta_0 = 0,22802$ $\beta_1 = 0,97634$	0,9969	0,10	0,5	97	(74)

Onde: $D_{\min_{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D_{\min_{antes}}$ = diâmetro mínimo antes do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{antes} = diâmetro médio quadrático antes do desbaste (cm); I = Idade (anos); β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 36. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “*a*” da função Weibull depois do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx	Syx (%)	n	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$a_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 dg_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 4,56834$ $\beta_1 = 0,44479$	0,2057	1,60	11,28	97	(75)
Álvarez et al. (Método 2)	$a_{\text{depois}} = \beta_1 a_{\text{antes}} + \beta_2 \frac{N_{\text{removido}}}{N_{\text{antes}}}$	$\beta_1 = 1,35828$ $\beta_2 = 8,35658$	0,9703	1,98	14,04	97	(76)
-	$a_{\text{depois}} = \beta_1 dg_{\text{depois}} + \beta_2 D \min_{\text{depois}}$	$\beta_1 = -0,03480$ $\beta_2 = 1,03841$	0,9894	0,10	0,71	97	(77)
-	$a_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 dg_{\text{depois}} + \beta_2 D \min_{\text{depois}}$	$\beta_0 = -0,13343$ $\beta_1 = -0,02984$ $\beta_2 = 1,04022$	0,9969	0,10	0,71	97	(78)
-	$a_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}}$	$\beta_0 = -0,55355$ $\beta_1 = 1,02473$	0,9962	0,11	0,78	97	(79)

Onde: a_{depois} = parâmetro de locação “*a*” depois do desbaste; a_{antes} = parâmetro de locação “*a*” antes do desbaste; ($N_{\text{removido}}/N_{\text{antes}}$) = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{\text{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); $\beta_{i,s}$ = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 37. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “*b*” da função Weibull depois do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx	Syx (%)	n	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$b_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 dg_{\text{depois}}$	$\beta_0 = -4,63189$ $\beta_1 = 0,57376$	0,2931	1,64	21,2	97	(80)
Álvarez et al. (Método 2)	$b_{\text{depois}} = \beta_1 b_{\text{antes}} + \beta_2 \frac{N_{\text{removido}}}{N_{\text{antes}}}$	$\beta_1 = 0,07767$ $\beta_2 = 1,64681$	0,9423	1,75	22,4	97	(81)
-	$b_{\text{depois}} = \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 \bar{d}_{\text{depois}} + \beta_3 \bar{d}_{\text{antes}}$	$\beta_1 = -1,11939$ $\beta_2 = 1,10256$ $\beta_3 = 0,01964$	0,9893	0,04	0,6	97	(82)
-	$b_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 0,16382$ $\beta_1 = -1,11676$ $\beta_2 = 1,10952$	0,9995	0,04	0,6	97	(83)

Onde: b_{depois} = parâmetro de escala “*b*” depois do desbaste; b_{antes} = parâmetro de escala “*b*” antes do desbaste; ($N_{\text{removido}}/N_{\text{antes}}$) = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{\text{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); \bar{d}_{antes} = diâmetros médio aritmético antes do desbaste (cm); $\beta_{i,s}$ = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 38. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ c ” da função Weibull depois do primeiro desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	Syx	S_{yx} (%)	n	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$C_{\text{depois}} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{\ln(\bar{d}_{\text{depois}} / dg_{\text{depois}})}$	$\beta_0 = 2,18887$ $\beta_1 = 0,00024$	0,0000	0,41	18,8	97	(84)
Álvarez et al. (Método 2)	$C_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 c_{\text{antes}} + \beta_2 \frac{N_{\text{removido}}}{N_{\text{antes}}}$	$\beta_0 = 2,84685$ $\beta_1 = 0,00186$ $\beta_2 = -1,24262$	0,0237	0,40	18,1	97	(85)
-	$C_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 dg_{\text{depois}} + \beta_3 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 1,88188$ $\beta_1 = -0,31102$ $\beta_2 = -4,01924$ $\beta_3 = 4,29624$	0,9042	0,13	5,7	97	(86)
-	$C_{\text{depois}} = \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 dg_{\text{depois}} + \beta_3 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_1 = -0,28069$ $\beta_2 = -3,97471$ $\beta_3 = 4,31890$	0,9809	0,20	9,1	97	(87)
-	$C_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 b_{\text{depois}} + \beta_2 D \min_{\text{depois}} + \beta_3 dg_{\text{depois}} + \beta_4 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 1,97138$ $\beta_1 = -0,51647$ $\beta_2 = -0,88778$ $\beta_3 = -4,02301$ $\beta_4 = 4,87287$	0,9064	0,12	5,6	97	(88)
-	$C_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 b_{\text{depois}} + \beta_2 \left(\frac{N_{\text{removido}}}{N_{\text{antes}}} \right) + \beta_3 Dim_{\text{depois}} + \beta_4 dg_{\text{depois}} + \beta_5 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 2,48175$ $\beta_1 = -0,88573$ $\beta_2 = -0,60595$ $\beta_3 = -1,30079$ $\beta_4 = -3,87815$ $\beta_5 = 5,12980$	0,9127	0,12	5,4	97	(89)

Onde: C_{depois} = parâmetro de forma “ c ” depois do desbaste; c_{antes} = parâmetro de forma “ c ” antes do desbaste; b_{depois} = parâmetro “ b ” depois do desbaste; dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{\text{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{\text{removido}}/N_{\text{antes}})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); β_s = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq.= número da equação.
OBS: O coeficiente β_1 no Modelo (84) apresentou um p -valor de 0,5528. No Modelo (85) o coeficiente β_1 apresentou um p -valor de 0,9883.

Tabela 39. Estimativas dos modelos testados para estimar diâmetro mínimo, diâmetro médio quadrático e diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx	Syx (%)	n	Eq.
-	Diâmetro mínimo depois do segundo desbaste ($D_{\min_{d_{depois}}}$)						
-	$D_{\min_{depois}} = \beta_1 dg_{depois}$	$\beta_1 = 0,79700$	0,9621	2,27	10,3	37	(90)
-	$D_{\min_{depois}} = \beta_1 D_{\min_{antes}} + \beta_2 dg_{depois}$	$\beta_1 = 0,32211$ $\beta_2 = 0,61691$	0,9623	2,15	9,8	37	(91)
-	Diâmetro médio quadrático depois do segundo desbaste (dg_{depois})						
(Modificado)	$dg_{depois} = \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes}$	$\beta_1 = 5,56799$ $\beta_2 = 0,99858$	0,9719	0,51	1,8	37	(92)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 I$					37	(93)
-	$dg_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \ln(I)$					37	(94)
-	$dg_{depois} = \beta_1 \frac{N_{removido}}{N_{antes}} + \beta_2 dg_{antes} + \beta_3 \bar{d}_{antes}$	$\beta_1 = 4,57753$ $\beta_2 = 2,97692$ $\beta_3 = -1,99329$	0,9713	0,36	1,3	37	(95)
-	Diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste (\bar{d}_{depois})						
Álvarez et al.	$\bar{d}_{depois} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_{antes}$	$\beta_1 = 6,94293$ $\beta_2 = 0,84088$	0,9538	0,64	2,3	37	(96)
(Modificado)	$\bar{d}_{depois} = \beta_1 dg_{depois} + \beta_2 I$	$\beta_1 = 0,97299$ $\beta_2 = 0,06057$	0,9722	0,11	0,4	37	(97)
(Modificado)	$\bar{d}_{depois} = \beta_1 dg_{depois}$	$\beta_1 = 0,99210$	0,9730	0,12	0,4	37	(98)

Onde: $D_{\min_{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D_{\min_{antes}}$ = diâmetro mínimo antes do desbaste (cm); \bar{d}_{antes} = diâmetro médio aritmético antes do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); $(N_{removido}/N_{antes})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{antes} = diâmetro médio quadrático antes do desbaste (cm); I = Idade (anos); β_{1s} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 40. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ a ” da função Weibull depois do segundo desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	Syx	Syx (%)	n	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$a_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 dg_{\text{depois}}$	$\beta_0 = -14,65795$ $\beta_1 = 1,32402$	0,7432	1,96	8,9	37	(99)
Álvarez et al. (Método 2)	$a_{\text{depois}} = \beta_1 a_{\text{antes}} + \beta_2 \frac{N_{\text{removido}}}{N_{\text{antes}}}$	$\beta_1 = 1,13173$ $\beta_2 = 9,26468$	0,9509	3,23	14,73	37	(100)
-	$a_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}}$	$\beta_0 = -0,46898$ $\beta_1 = 1,02204$	0,9993	0,10	0,5	37	(101)
-	$a_{\text{depois}} = \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 dg_{\text{depois}}$	$\beta_1 = 1,03642$ $\beta_2 = -0,02833$	0,9714	0,10	0,4	37	(102)

Onde: a_{depois} = parâmetro de locação “ a ” depois do desbaste; a_{antes} = parâmetro de locação “ a ” antes do desbaste; $(N_{\text{removido}}/N_{\text{antes}})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{\text{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 41. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “ b ” da função Weibull depois do segundo desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	Syx	Syx (%)	n	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$b_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 dg_{\text{depois}}$	$\beta_0 = -3,73366$ $\beta_1 = 0,36998$	0,0567	3,74	56,9	37	(103)
Álvarez et al. (Método 2) Modificado	$b_{\text{depois}} = \beta_1 b_{\text{antes}}$	$\beta_1 = 0,64104$	0,8175	3,04	46,1	37	(104)
-	$b_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 0,62326$ $\beta_1 = -1,08278$ $\beta_2 = 1,06358$	0,9990	0,12	1,9	37	(105)
-	$b_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 \bar{d}_{\text{depois}} + \beta_3 \frac{N_{\text{removido}}}{N_{\text{antes}}}$	$\beta_0 = 1,39227$ $\beta_1 = -1,08279$ $\beta_2 = 1,04699$ $\beta_3 = -0,60823$	0,9991	0,11	1,8	37	(106)
-	$\ln(b_{\text{depois}}) = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 1,93880$ $\beta_1 = -0,11369$ $\beta_2 = 0,08346$	0,7957	1,74	26,5	37	(107)

Onde: b_{depois} = parâmetro de escala “ b ” depois do desbaste; b_{antes} = parâmetro de escala “ b ” antes do desbaste; $(N_{\text{removido}}/N_{\text{antes}})$ = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); $D \min_{\text{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação. OBS: Os coeficientes β_0 e β_1 do Modelo (103) tiveram p -valor, respectivamente, de 0,52229 e 0,08094.

Tabela 42. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar o parâmetro “c” da função Weibull depois do segundo desbaste com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx (%)	n	Eq.
Álvarez et al. (Método 1)	$c_{\text{depois}} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{\ln(\bar{d}_{\text{depois}} / dg_{\text{depois}})}$	$\beta_0 = 1,32493$	0,1547	0,52	37	(108)
		$\beta_1 = -56,37328$				
Álvarez et al. (Método 2)	$c_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 c_{\text{antes}} + \beta_2 \frac{N_{\text{removido}}}{N_{\text{antes}}}$	$\beta_0 = 2,60832$	0,0265	0,56	37	(109)
		$\beta_1 = -0,01452$				
		$\beta_2 = -1,55341$				
		$\beta_3 = 3,54298$				
-	$c_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 D \min_{\text{depois}} + \beta_2 dg_{\text{depois}} + \beta_3 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 2,17954$	0,9239	0,16	37	(110)
		$\beta_1 = -0,23844$				
		$\beta_2 = -3,34344$				
		$\beta_3 = 3,54298$				
-	$c_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 b_{\text{depois}} + \beta_2 D \min_{\text{depois}} + \beta_3 dg_{\text{depois}} + \beta_4 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 1,53685$	0,9801	0,08	37	(111)
		$\beta_1 = 1,07868$				
		$\beta_2 = 0,92740$				
		$\beta_3 = -3,41751$				
		$\beta_4 = 2,47099$				
-	$c_{\text{depois}} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 D \min_{\text{depois}} + \beta_3 dg_{\text{depois}} + \beta_4 \bar{d}_{\text{depois}}$	$\beta_0 = 2,31288$	0,9340	0,15	37	(112)
		$\beta_1 = 0,08124$				
		$\beta_2 = -0,23625$				
		$\beta_3 = -3,11055$				
		$\beta_4 = 3,27593$				

Onde: c_{depois} = parâmetro de forma “c” depois do desbaste; c_{antes} = parâmetro de forma “c” antes do desbaste; dg_{depois} = diâmetro médio quadrático depois do desbaste (cm); b_{depois} = parâmetro escala “b” depois do desbaste; $D \min_{\text{depois}}$ = diâmetro mínimo depois do desbaste (cm); \bar{d}_{depois} = diâmetro médio aritmético depois do desbaste (cm); ($N_{\text{removido}}/N_{\text{antes}}$) = razão entre o número de árvores removidas e o número de árvores anteriores ao desbaste (por hectare); β_{is} = coeficientes estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.
OBS: Os coeficientes β_1 e β_2 do Modelo (109) tiveram *p*-valor, respectivamente, de 0,95118 e 0,16047.

ANEXO 5: Gráficos de dispersão de resíduos para os modelos da Alternativa 2 para simular desbaste

Gráficos de dispersão de resíduos para modelos do primeiro desbaste

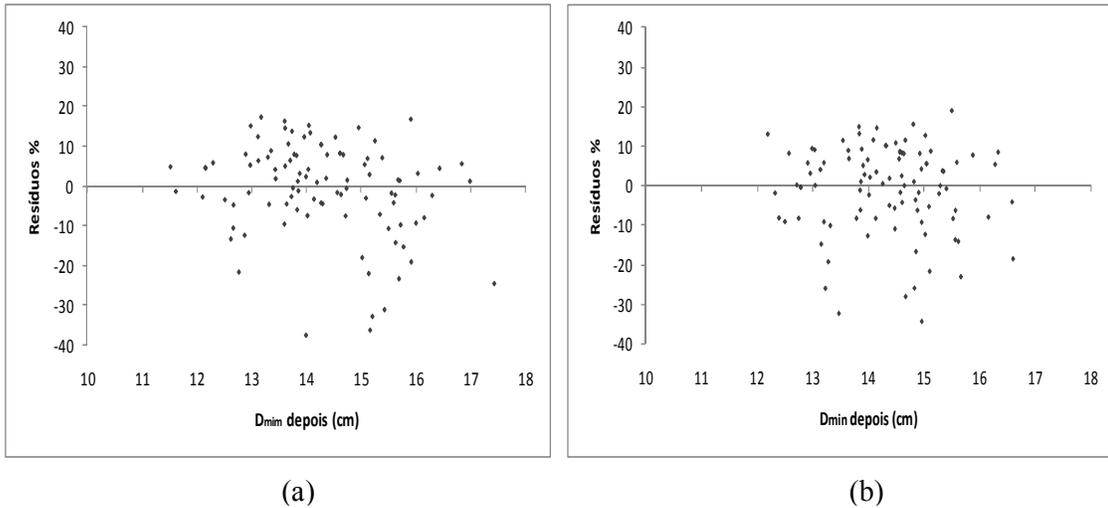


Figura 16. Distribuição de resíduos para diâmetro mínimo depois ($D_{min_{depois}}$) do primeiro desbaste. (a): Modelo (67); (b): Modelo (68).

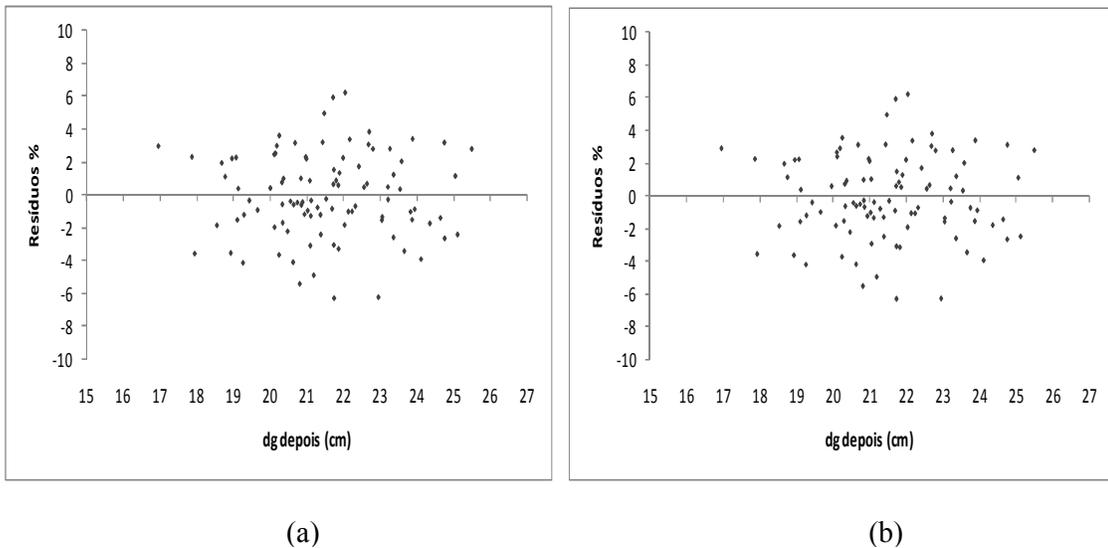
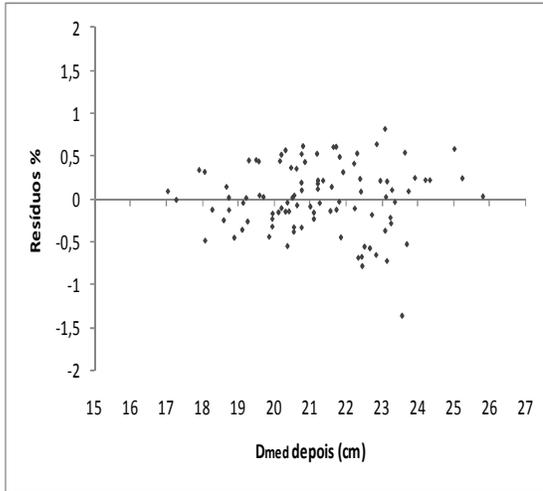
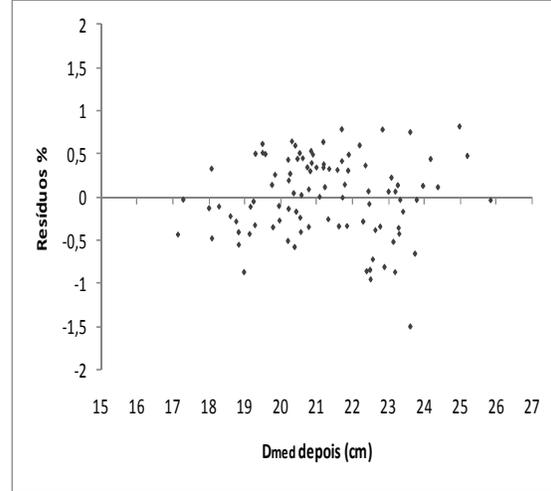


Figura 17. Distribuição de resíduos para diâmetro médio quadrático depois (dg_{depois}) do primeiro desbaste. (a): Modelo (70); (b): Modelo (71).

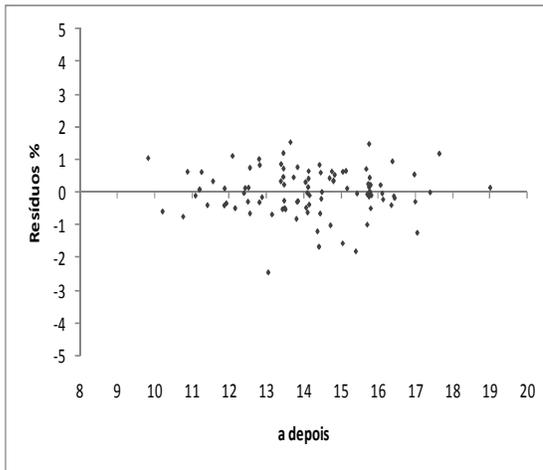


(a)

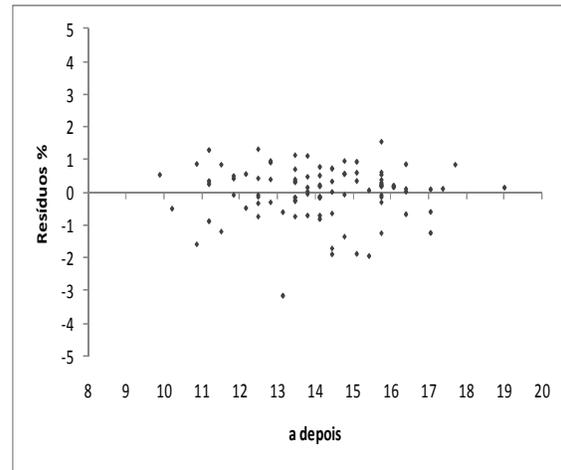


(b)

Figura 18. Distribuição de resíduos para diâmetro médio aritmético depois (\bar{d}_{depois}) do primeiro desbaste. (a): Modelo (73); (b): Modelo (74).

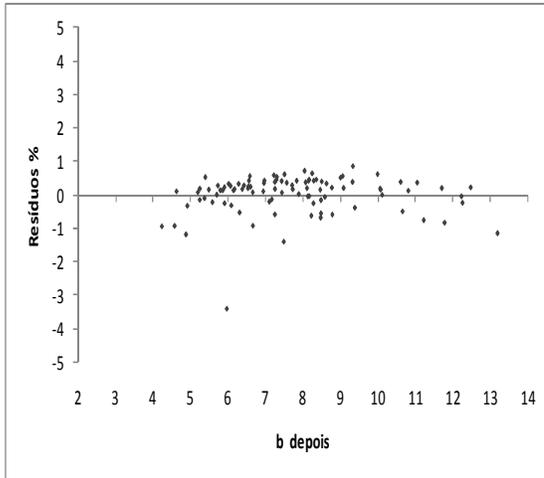


(a)

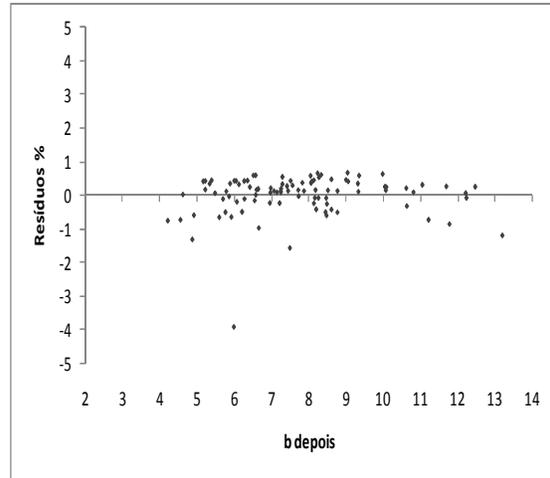


(b)

Figura 19. Resíduos para o parâmetro “a” depois do primeiro desbaste. (a): Modelo (78); (b): Modelo (79).

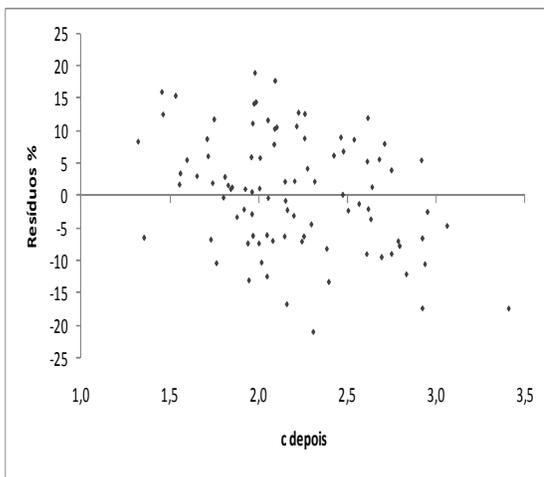


(a)

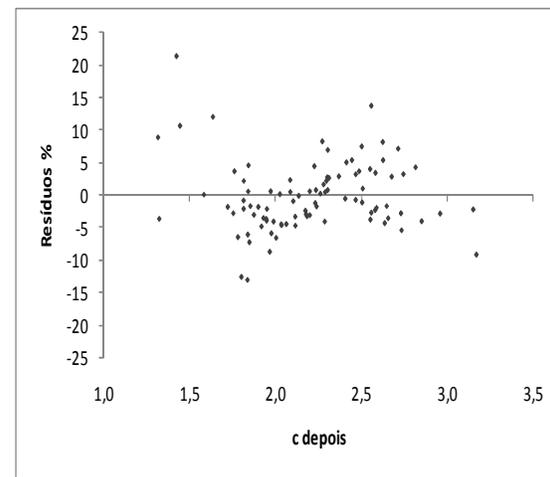


(b)

Figura 20. Dispersão de resíduos para o parâmetro de escala “*b*” depois do primeiro desgaste. (a): Modelo (82); (b): Modelo (83).



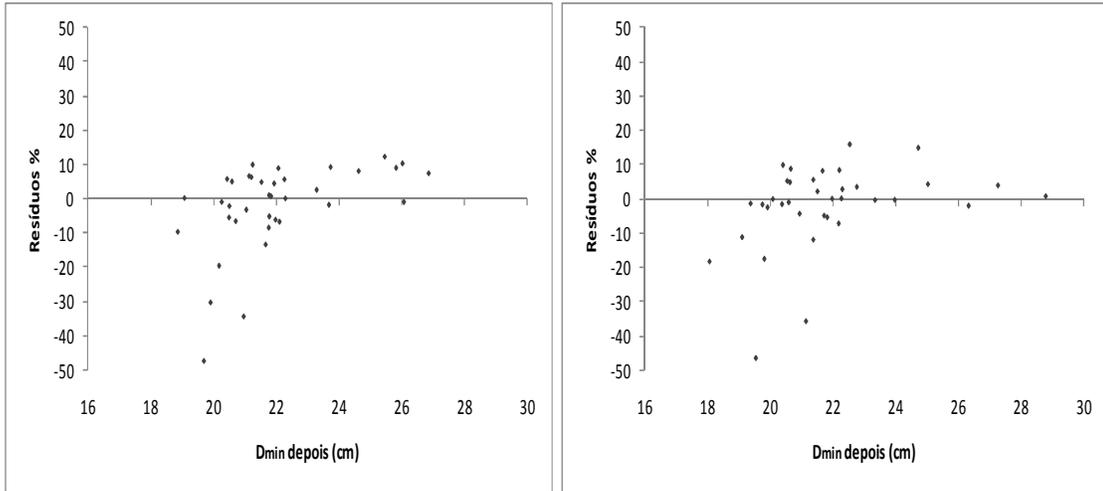
(a)



(b)

Figura 21. Distribuição de resíduos para o parâmetro “*c*” depois do primeiro desgaste. (a): Modelo (87); (b): Modelo (89).

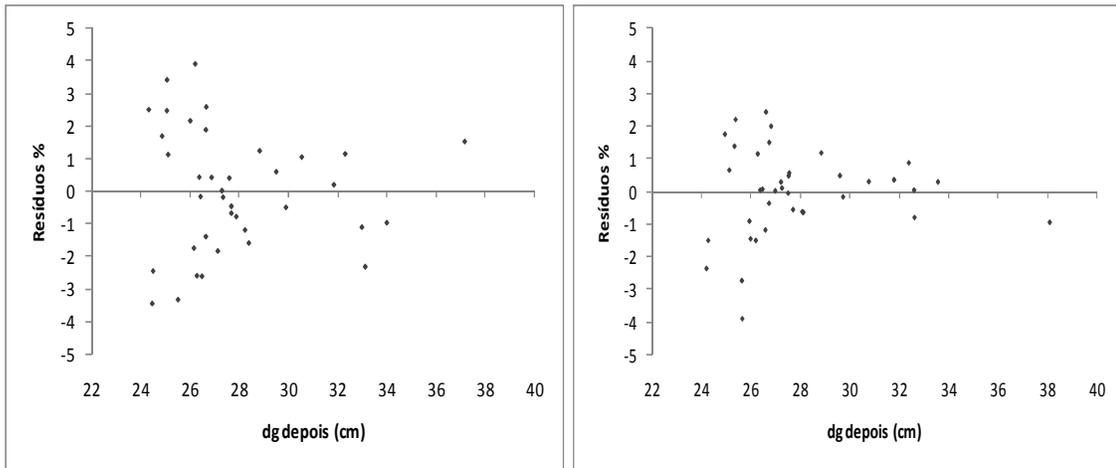
Gráficos de dispersão de resíduos para modelos do segundo desbaste



(a)

(b)

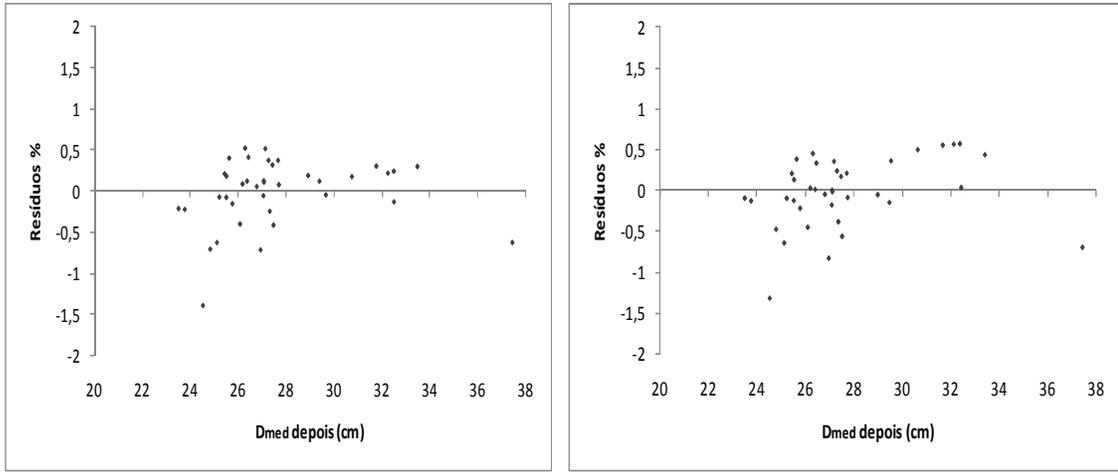
Figura 23. Distribuição de resíduos para o diâmetro mínimo depois do segundo desbaste. (a): Modelo (90); (b): Modelo (91).



(a)

(b)

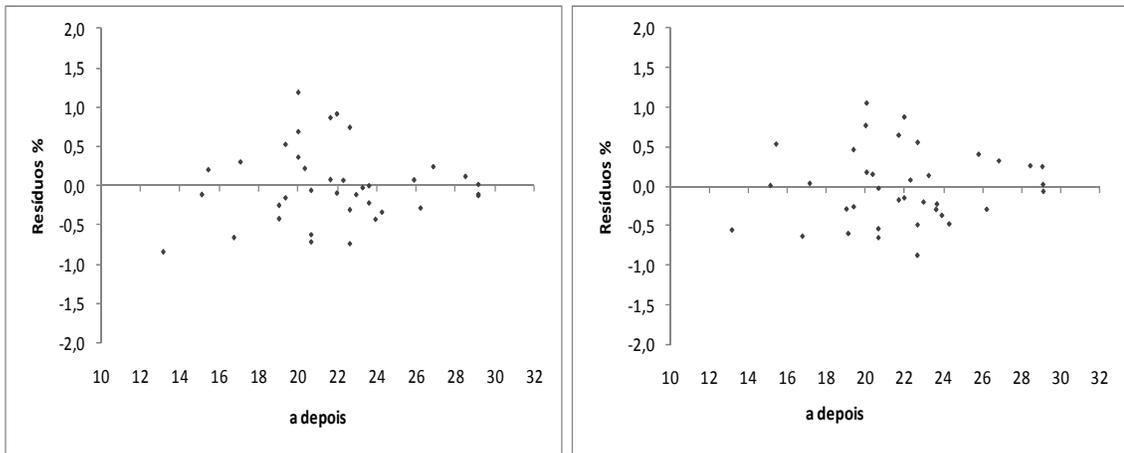
Figura 24. Distribuição de resíduos para o diâmetro médio quadrático depois do segundo desbaste. (a): Modelo (92); (b): Modelo (95).



(a)

(b)

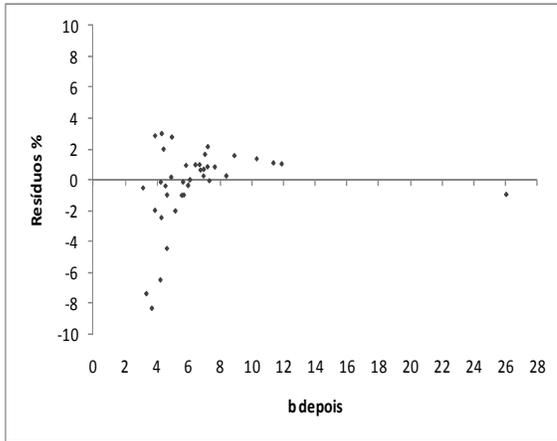
Figura 25. Distribuição de resíduos para o diâmetro médio aritmético depois do segundo desbaste. (a): Modelo (97); (b): Modelo (98).



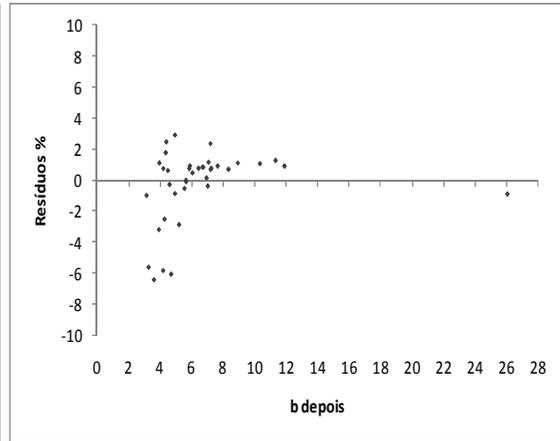
(a)

(b)

Figura 26. Distribuição de resíduos para o parâmetro “a” depois do segundo desbaste. (a): Modelo (101); (b): Modelo (102).

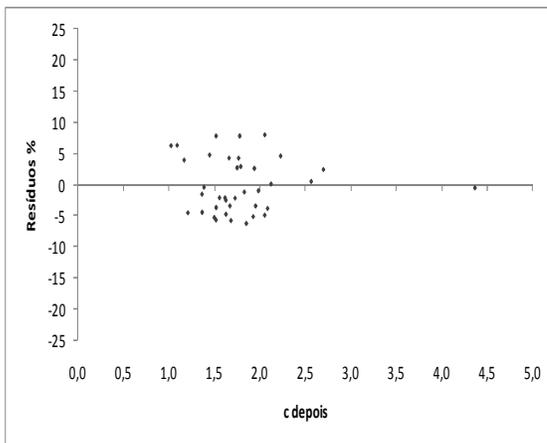


(a)

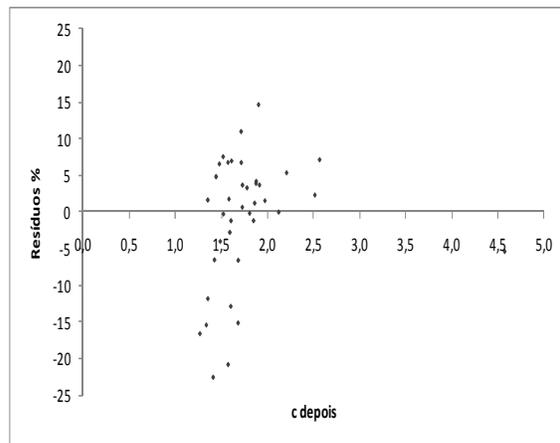


(b)

Figura 27. Distribuição de resíduos para o parâmetro “*b*” depois do segundo desgaste. (a): Modelo (105); (b): Modelo (106).



(a)



(b)

Figura 28. Distribuição de resíduos para o parâmetro “*c*” depois do segundo desgaste. (a): Modelo (111); (b): Modelo (112).

ANEXO 6: Gráficos da distribuição diamétrica estimada depois dos desbastes por meio da Alternativa 2 para simular desbastes

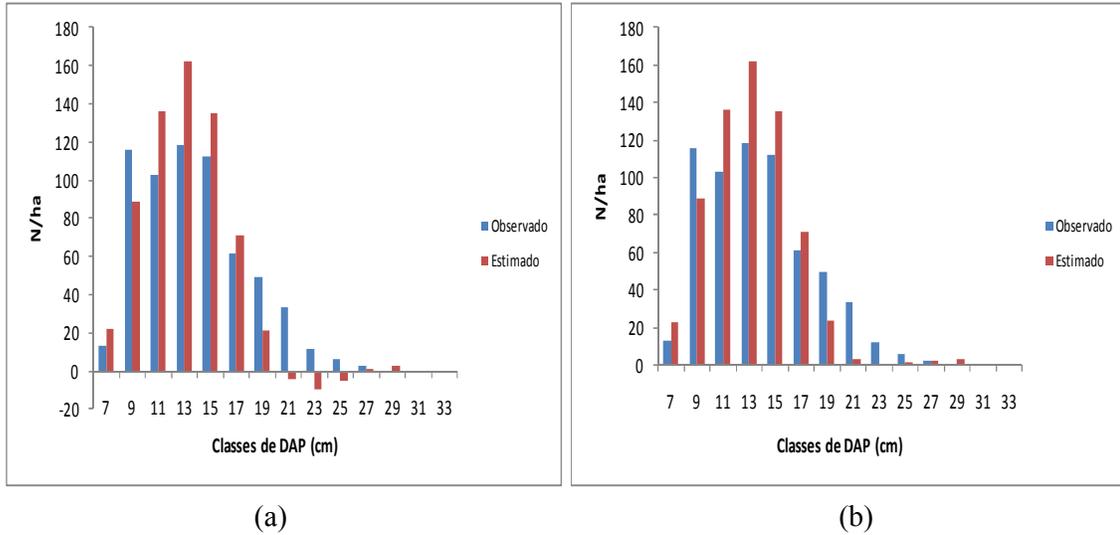


Figura 31. Distribuição do número de árvores médio removido no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2 para o índice de sítio 38 m. (a): Procedimento normal (estimado antes menos estimado depois do desbaste); (b): Procedimento com correção do número de árvores estimado depois.

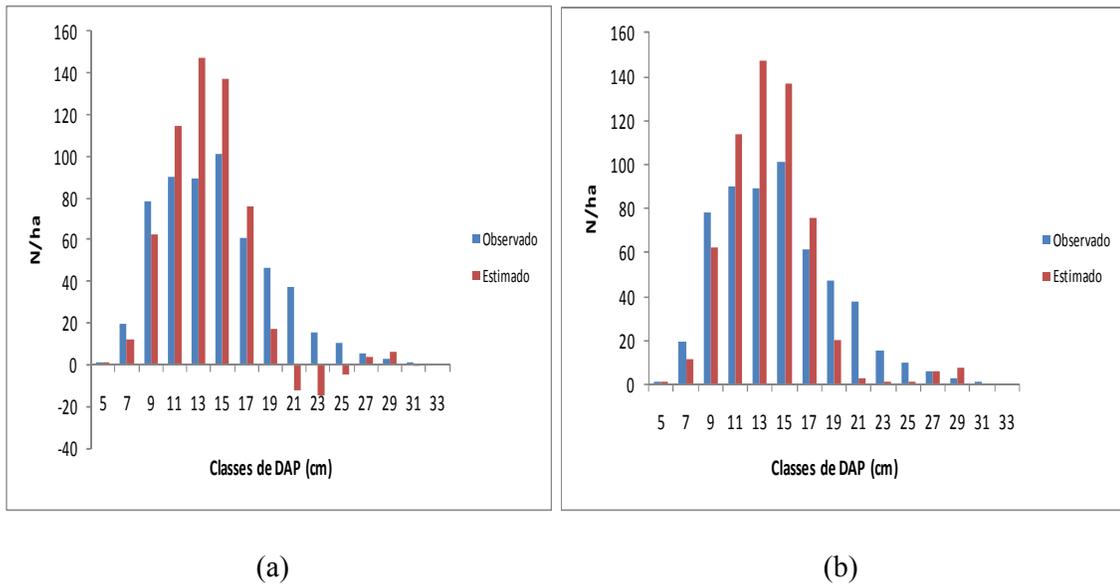
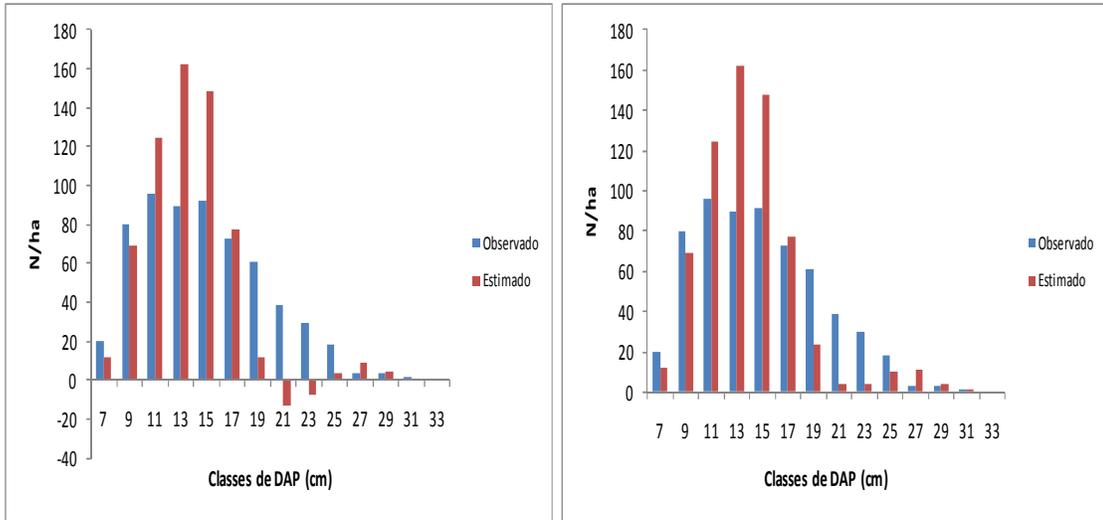


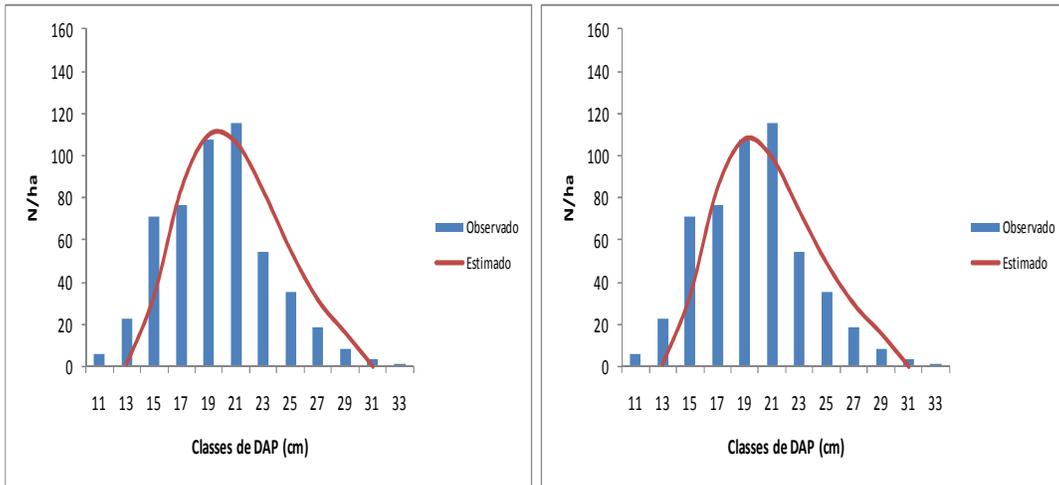
Figura 32. Distribuição do número de árvores médio removido no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2 para o índice de sítio 43 m. (a): Procedimento normal (estimado antes menos estimado depois do desbaste); (b): Procedimento com correção do número de árvores estimado depois.



(a)

(b)

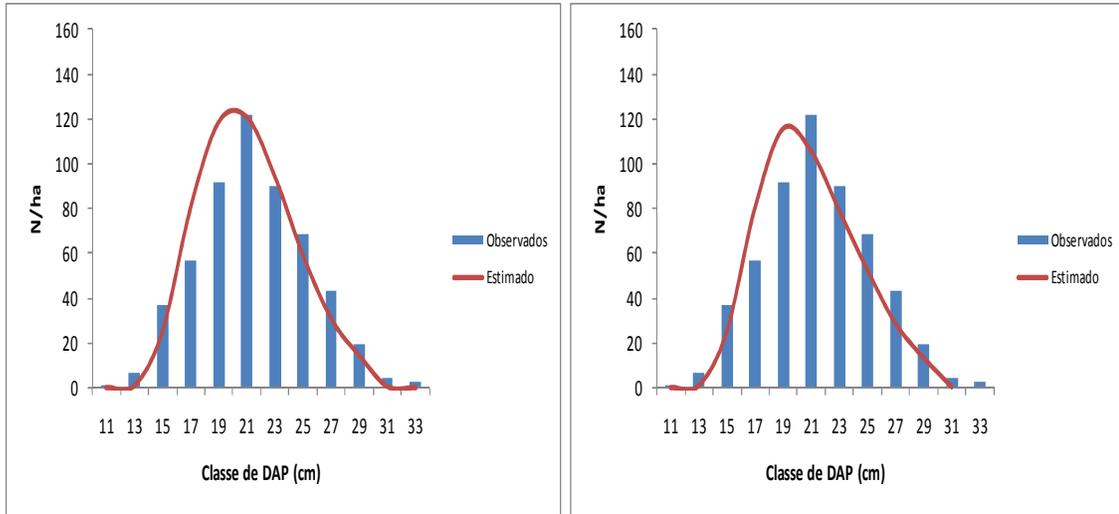
Figura 33. Distribuição do número de árvores médio removido no primeiro desbaste utilizando a Alternativa 2 para o índice de sítio 48 m. (a): Procedimento normal (estimado antes menos estimado depois do desbaste); (b): Procedimento com correção do número de árvores estimado depois.



(a)

(b)

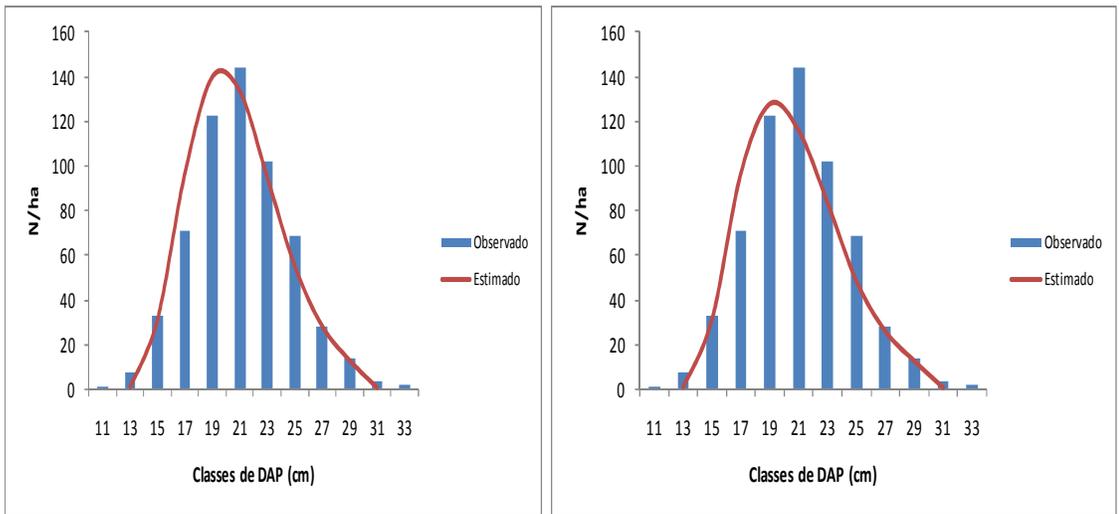
Figura 34. Distribuição do número de árvores médio observado e estimado depois do primeiro desbaste ($S = 38$ m). (a): estimado sem “correção” do número de árvores; (b): estimado com “correção” do número de árvores.



(a)

(b)

Figura 35. Distribuição do número de árvores médio observado e estimado depois do primeiro desbaste ($S = 43$ m). (a): estimado sem “correção” do número de árvores; (b): estimado com “correção” do número de árvores.



(a)

(b)

Figura 36. Distribuição do número de árvores médio observado e estimado depois do primeiro desbaste ($S = 48$ m). (a): estimado sem “correção” do número de árvores; (b): estimado com “correção” do número de árvores.

ANEXO 7: Tabelas com estimativas dos parâmetros dos modelos testados dos sistemas de predição

Tabela 45. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a área basal futura (G_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (m ² /ha)	S_{yx} (%)	n	Eq.
Scolforo 1	$G_2 = \beta_1 G_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(N_2) + \beta_3 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(h_{dom2}) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(I_2)$	$\beta_1 = 1,07169$	0,9888	1,74	5,7	127	(113)
		$\beta_2 = 10,26670$					
		$\beta_3 = -17,42298$					
		$\beta_4 = 18,36418$					
Scolforo 2	$G_2 = \beta_1 G_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(N_2) + \beta_3 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \ln(h_{dom2}) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) I_2^2$	$\beta_1 = 1,06772$	0,9887	1,76	5,8	127	(114)
		$\beta_2 = 8,69231$					
		$\beta_3 = -5,87322$					
		$\beta_4 = 0,06946$					
Clutter	$\ln(G_2) = \ln(G_1) \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S$	$\beta_1 = 3,03978$	0,9656	1,69	5,6	127	(115)
		$\beta_2 = 0,02237$					

Onde: G_1 = Área basal na idade 1 (m²/ha); G_2 = Área basal na idade 2 (m²/ha); N_2 = Número de árvores na idade 2 (N/ha); S = Índice de sítio; I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); h_{dom2} = Altura média das árvores dominantes na idade 2 (m); β_{1-4} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq = número da equação.

Tabela 46. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para estimar a variância dos diâmetros futura (S^2d_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (cm ²)	S_{yx} (%)	n	Eq.
Santana (2008)	$S^2d_2 = \beta_1 S^2d_1 + \beta_2 G_1 + \beta_3 G_2$	$\beta_1 = 1,15671$	0,9716	5,54	17,4	127	(116)
		$\beta_2 = -1,01148$					
		$\beta_3 = 0,94512$					
Nogueira (2003) Modificado	$S^2d_2 = S^2d_1 e^{(-\beta_1 * (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	$\beta_1 = -124,5150$	0,9494	4,95	14,4	127	(117)
		$\beta_2 = 0,00954$					
-	$S^2d_2 = \beta_0 + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_2 D_{min2} + \beta_3 S^2d_1 + \beta_4 D_{máx2}$	$\beta_0 = -13,31483$	0,9506	4,91	14,3	127	(118)
		$\beta_1 = 38,24657$					
		$\beta_2 = -0,41523$					
		$\beta_3 = 0,97919$					
		$\beta_4 = 0,54291$					

Onde: S^2d_2 = Variância dos diâmetros na idade 2 (cm²); S^2d_1 = Variância dos diâmetros na idade 1 (cm²); \bar{d}_2 = Média aritmética dos diâmetros na idade 2 (cm); $\bar{d}g_2$ = diâmetro médio quadrático na idade 2; G_1 = Área basal na idade 1 (m²/ha); G_2 = Área basal na idade 2 (m²/ha); I_1 = Idade da plantação na idade 1 (anos); I_2 = Idade da plantação na idade 2 (anos); D_{min2} = Diâmetro mínimo na idade 2 (cm); $D_{máx2}$ = Diâmetro máximo na idade 2 (cm); β_{0-4} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq = número da equação.

Tabela 47. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro mínimo ($D_{\min 2}$) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (cm)	Syx (%)	n	Eq.
Nogueira (2003)	$D_{\min 2} = D_{\min 1} e^{(-\beta_1(I_2 - I_1)^{\beta_2})}$	$\beta_1 = -0,61029$ $\beta_2 = 0,28894$	0,9848	1,33	7,3	127	(119)
Scolforo Modificado	$D_{\min 2} = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_2 + \beta_2 Sd_2 + \beta_3 \ln(G_2) + \beta_4 (dg_2)$	$\beta_0 = -4,84329$ $\beta_1 = -4,17725$ $\beta_2 = -2,09382$ $\beta_3 = -0,09559$ $\beta_4 = 5,38506$	0,9803	1,51	8,3	127	(120)
Abreu Modificado	$D_{\min 2} = \beta_1 \bar{d}_2 + \beta_2 Sd_2 + \beta_3 \ln(G_2)$	$\beta_1 = 1,09727$ $\beta_2 = -0,94332$ $\beta_3 = -2,23095$	0,9864	1,59	8,8	127	(121)
-	$D_{\min 2} = \beta_1 D_{\min 1} + \beta_2 \frac{I_1}{I_2} + \beta_3 dg_2$	$\beta_1 = 0,87141$ $\beta_2 = -3,35286$ $\beta_3 = 0,21084$	0,9886	1,23	6,7	127	(122)

Onde: $D_{\min 1}$ = Diâmetro mínimo na idade 1 (cm); $D_{\min 2}$ = Diâmetro mínimo na idade 2 (cm); \bar{d}_2 = Diâmetro médio na idade 2 (cm); dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); Sd_2 = Desvio padrão dos diâmetros na idade 2 (cm); G_2 = Área basal na idade 2 (m^2/ha); I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); β_{is} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 48. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro médio (\bar{d}_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R ² adj	Syx (cm)	Syx (%)	n	Eq.
Nogueira (2003) Modificado	$\bar{d}_2 = \bar{d}_1 e^{(-\beta_1(I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	$\beta_1 = -610,17155$ $\beta_2 = 0,00077$	0,9980	0,79	2,8	127	(123)
Santana (2008) Modificado	$\bar{d}_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_2 + \beta_2 (h_{dom2})^{0,2} + \beta_3 D_{max2}$	$\beta_0 = 2,98038$ $\beta_1 = 1,10223$ $\beta_2 = -1,91729$ $\beta_3 = -0,06602$	0,9996	0,19	0,7	127	(124)
-	$\bar{d}_2 = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 h_{dom2}$	$\beta_0 = -1,86966$ $\beta_1 = 1,09884$ $\beta_2 = 13,85281$ $\beta_3 = -0,02501$	0,9942	0,74	2,7	127	(125)
-	$\bar{d}_2 = \beta_0 + \beta_1 \bar{d}_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 dg_2$	$\beta_0 = -1,5077$ $\beta_1 = 0,21028$ $\beta_2 = 3,36678$ $\beta_3 = 0,82196$	0,9983	0,41	1,5	127	(126)

Onde: \bar{d}_2 = Diâmetro médio (cm) na idade 2; \bar{d}_1 = Diâmetro médio (cm) na idade 1; h_{dom2} = altura dominante na idade 2; dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); D_{max2} = Diâmetro máximo na idade 2 (cm); β_{is} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq.= número da equação.

Tabela 49. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro médio quadrático (dg_2) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	S_{yx} (cm)	S_{yx} (%)	n	Eq.
Nogueira (2003) Modificado	$dg_2 = dg_1 e^{(-\beta_1 \cdot (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	$\beta_1 = -610,17000$ $\beta_2 = 0,00079$	0,9981	0,79	2,8	127	(127)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 h_{dom_2}$	$\beta_0 = -1,81108$ $\beta_1 = 1,09815$ $\beta_2 = 14,33318$ $\beta_3 = -0,02680$	0,9944	0,72	2,5	127	(128)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 \bar{d}_1$	$\beta_0 = -2,00869$ $\beta_1 = 0,71527$ $\beta_2 = 14,33864$ $\beta_3 = 0,35697$	0,9945	0,72	2,5	127	(129)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 I_2$	$\beta_0 = 3,38191$ $\beta_1 = 0,99929$ $\beta_2 = -0,08759$	0,9864	1,12	3,9	127	(130)
-	$dg_2 = \beta_0 + \beta_1 dg_1 + \beta_2 \frac{I_1}{I_2}$	$\beta_0 = 12,33156$ $\beta_1 = 1,07736$ $\beta_2 = -14,72417$	0,9943	0,73	2,5	127	(131)

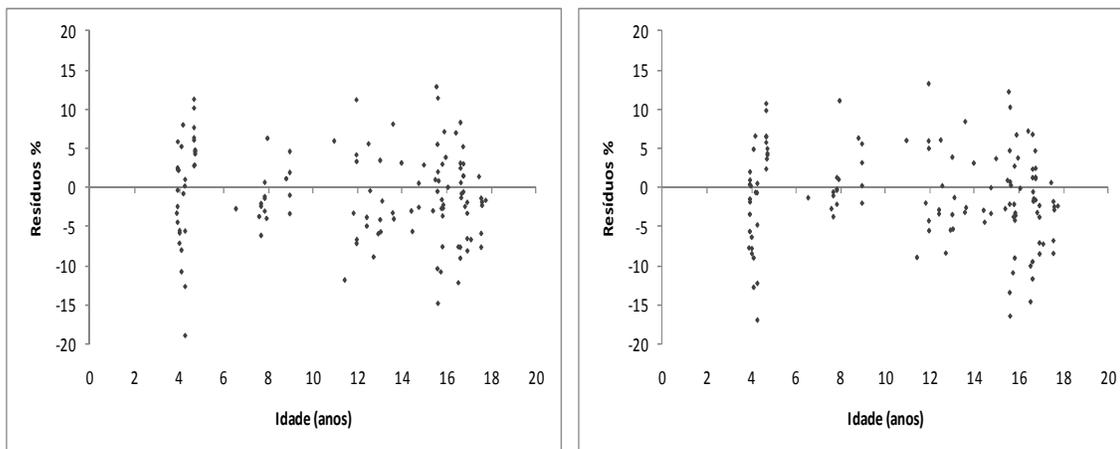
Onde: dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); \bar{d}_1 = Diâmetro médio (cm) na idade 1; h_{dom_2} = altura dominante na idade 2; I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); β_{is} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

Tabela 50. Estimativas dos parâmetros dos modelos testados para projetar o diâmetro máximo ($D_{máx,2}$) com respectivos coeficientes de determinação (R^2_{adj}) e erro padrão de estimativa (S_{yx})

Autor/Fonte	Modelo	Coefficientes	R^2_{adj}	Syx (cm)	Syx (%)	n	Eq.
Nogueira (2003) Modificado	$D_{máx,2} = D_{máx,1} e^{(-\beta_1(I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}))}$	$\beta_1 = -685,177$ $\beta_2 = 0,00079$	0,9820	1,48	3,8	127	(132)
Nogueira (2003)	$D_{máx,2} = D_{máx,1} \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dg_2$	$\beta_1 = 1,98136$	0,9709	1,88	4,9	127	(133)
Santana (2008)	$D_{máx,2} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(t_{dom,2}) + \beta_2 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(G_2) + \beta_3 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(N_2) + \beta_4 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \ln(G_2)$	$\beta_0 = 41,33205$ $\beta_1 = -5,39364$ $\beta_2 = 9,17439$ $\beta_3 = -13,43807$ $\beta_4 = 23,04648$	0,9068	3,37	8,8	127	(134)
-	$D_{máx,2} = \beta_0 + \beta_1 D_{máx,1} + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	$\beta_0 = -2,58350$ $\beta_1 = 1,06904$ $\beta_2 = 21,01017$	0,9845	1,37	3,6	127	(135)

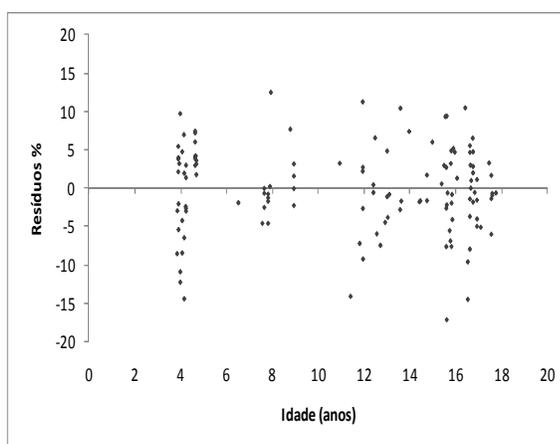
Onde: $D_{máx,2}$ = Diâmetro máximo na idade 2 (cm); $D_{máx,1}$ = Diâmetro máximo na idade 1 (cm); dg_2 = Diâmetro médio quadrático na idade 2 (cm); I_1 = Idade inicial da plantação (anos); I_2 = Idade futura da plantação (anos); N_2 = Número de árvores na idade 2 (N/ha); G_2 = Área basal na idade 2 (m^2/ha); β_{is} = Parâmetros estimados; n = número de observações; Eq. = número da equação.

ANEXO 8: Gráficos de dispersão de resíduos para os modelos do sistema de projeção



(a)

(b)



(c)

Figura 37. Distribuição de Resíduos para projeção da área basal. (a): Scolforo 1 (113); (b): Scolforo 2 (114); (c): Clutter (115).

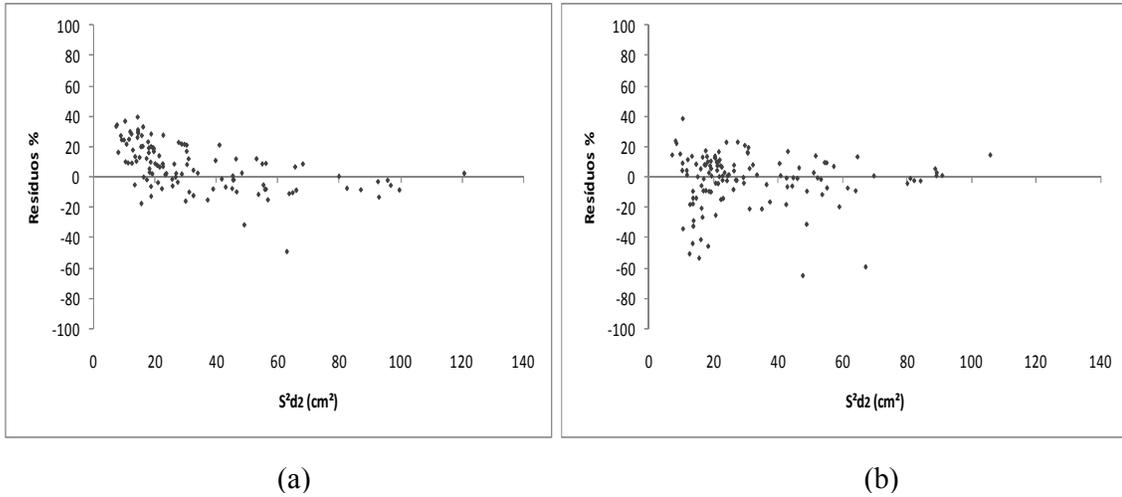


Figura 38. Distribuição de resíduos para S^2d_2 . (a): Modelo (115); (b): Modelo (116).

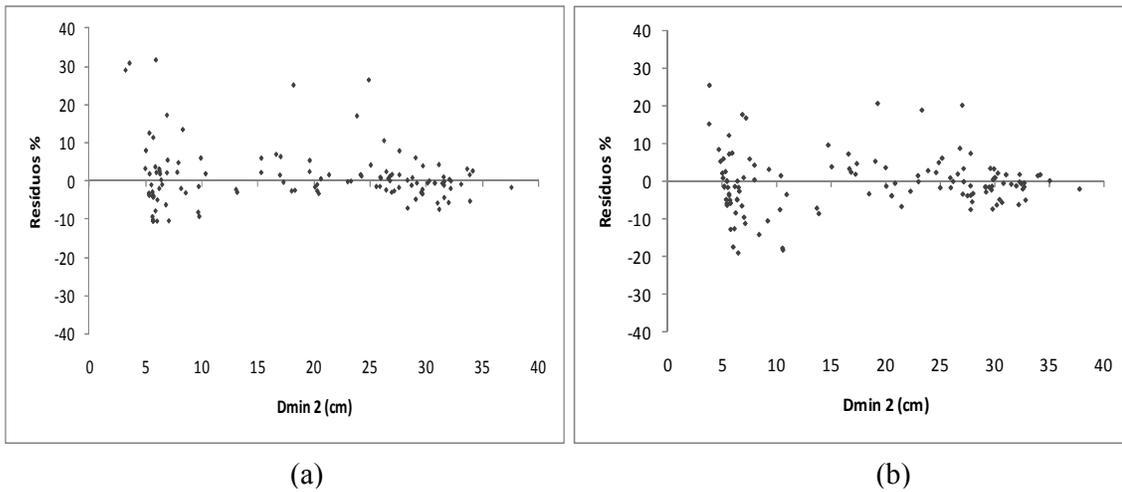


Figura 39. Distribuição de resíduos para projeção do diâmetro mínimo ($Dmin_2$). (a): Modelo (119); (b): Modelo (122).

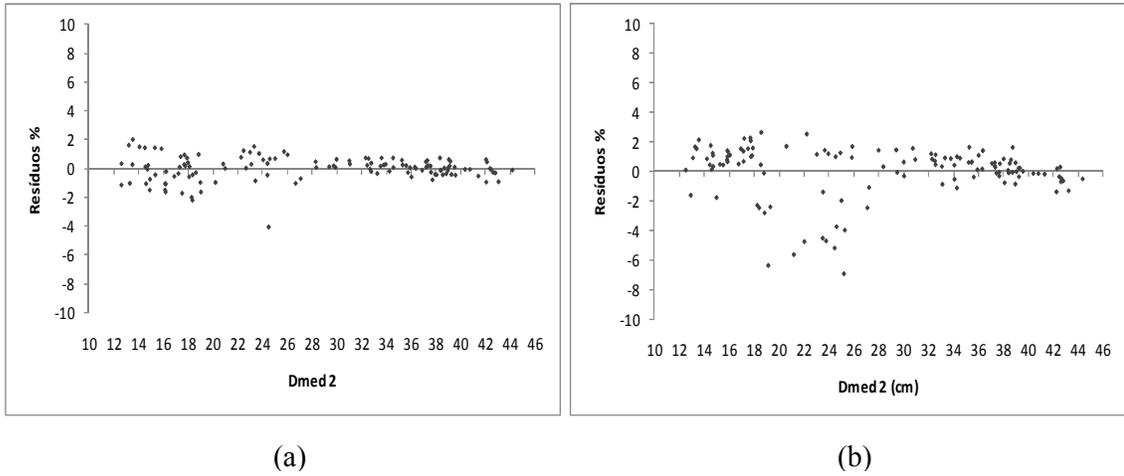
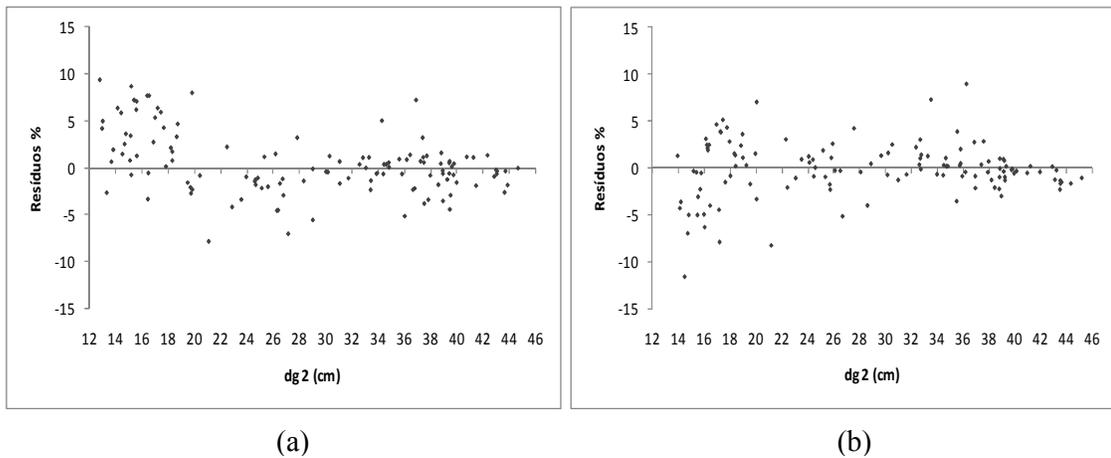


Figura 40. Dispersão de resíduos para projeção do diâmetro médio (\bar{d}_2). (a): Modelo (124); (b): Modelo (126).



(a) (b)

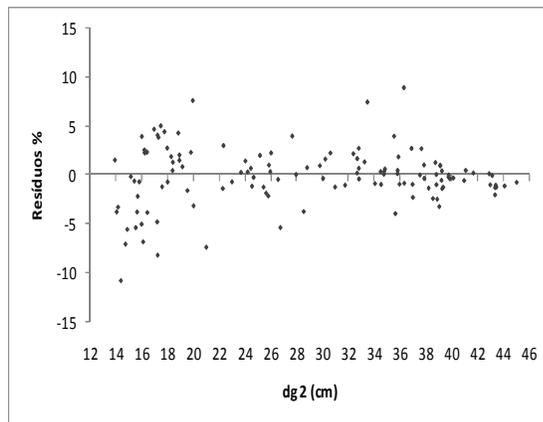


Figura 41. Distribuição de resíduos para projeção do diâmetro médio quadrático (dg_2). (a): Modelo (127); (b) Modelo (128); (c): Modelo (129).

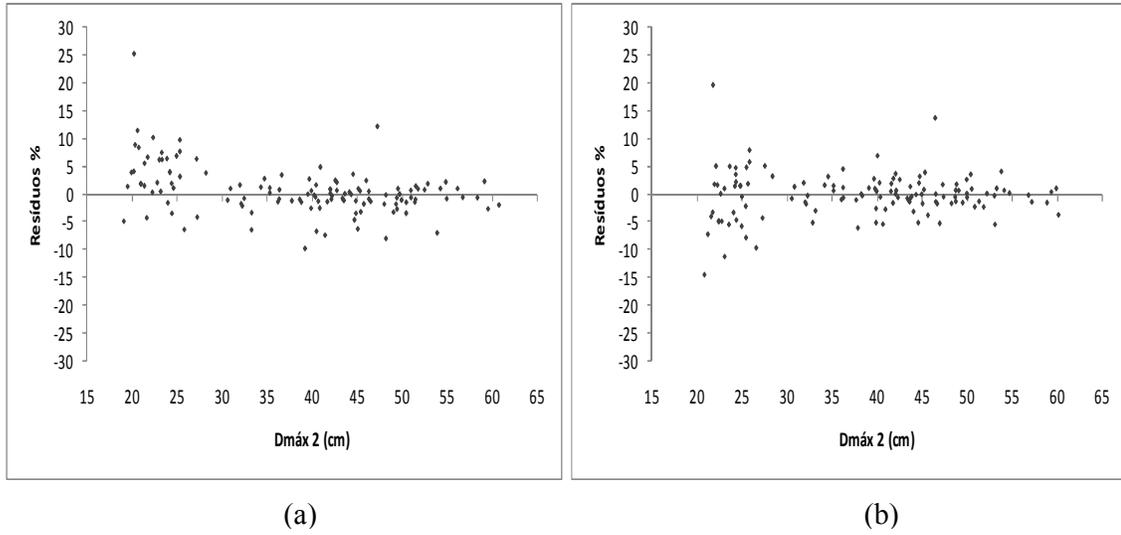


Figura 42. Distribuição de resíduos para projeção do diâmetro máximo ($D_{max 2}$). (a): Modelo (132); (b): Modelo (135).

ANEXO 9: Tabelas de produção estimadas para cada índice de sítio imediatamente antes do D1

Tabela 55. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (*N*), área basal (*G*) e volume (*V*) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 43 m

Centro de classe	<i>N</i>/ha Obs.	<i>N</i>/ha Est.	<i>G</i> (m²/ha) Obs.	<i>G</i> (m²/ha) Est.	<i>ht</i> (m)	<i>hc</i> (m)	<i>V</i> (m³/ha) Obs.	<i>V</i> (m³/ha) Est.	Resíduos (%)
7	20,4	12,8	0,08	0,05	12,4	0,0	0,00	0,00	36,94
9	79,3	66,8	0,50	0,42	15,8	2,7	1,31	1,11	15,75
11	91,9	120,1	0,87	1,14	18,4	7,4	5,11	6,68	-30,63
13	95,8	157,3	1,27	2,09	20,5	10,8	9,79	16,06	-64,17
15	135,2	172,5	2,39	3,05	22,2	13,5	21,33	27,22	-27,61
17	117,3	166,2	2,66	3,77	23,6	15,8	26,21	37,14	-41,70
19	135,4	143,7	3,84	4,07	24,7	17,7	40,53	43,01	-6,12
21	155,8	112,9	5,40	3,91	25,7	19,4	60,00	43,48	27,53
23	106,5	81,2	4,43	3,37	26,5	20,8	51,26	39,06	23,80
25	77,4	53,7	3,80	2,64	27,2	22,0	45,43	31,55	30,54
27	48,7	32,9	2,79	1,89	27,9	23,0	34,29	23,18	32,40
29	21,7	18,9	1,44	1,25	28,4	23,9	18,06	15,69	13,13
31	0,8	0,0	0,06	0,00	28,9	24,7	0,80	0,00	100,00
33	3,0	0,0	0,26	0,00	29,3	25,4	3,37	0,00	100,00
Total	1089,3	1139,1	29,79	27,65			317,48	284,17	
Resíduos %	-4,57			7,16				10,49	

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; *ht* = altura total (m); *hc* = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 56. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 48 m

Centro de classe	N/ha Obs.	N/ha Est.	$G (m^2/ha)$ Obs.	$G (m^2/ha)$ Est.	$ht (m)$	$hc (m)$	$V (m^3/ha)$ Obs.	$V (m^3/ha)$ Est.	Resíduos (%)
7	25,7	37,4	0,10	0,14	13,2	0,0	0,00	0,00	-45,31
9	81,2	95,9	0,52	0,61	16,9	2,8	1,44	1,69	-17,99
11	103,6	140,9	0,98	1,34	19,7	7,9	6,15	8,36	-36,07
13	96,1	167,0	1,28	2,22	21,9	11,6	10,48	18,20	-73,71
15	130,4	172,9	2,31	3,06	23,7	14,5	21,97	29,13	-32,56
17	141,9	161,7	3,22	3,67	25,2	16,9	33,85	38,57	-13,96
19	173,4	138,8	4,92	3,93	26,4	18,9	55,37	44,33	19,94
21	173,4	110,4	6,00	3,82	27,4	20,7	71,26	45,38	36,31
23	123,6	82,0	5,13	3,41	28,3	22,2	63,47	42,10	33,67
25	83,5	57,1	4,10	2,80	29,1	23,5	52,37	35,81	31,62
27	32,6	37,6	1,87	2,15	29,7	24,6	24,50	28,25	-15,32
29	18,9	23,6	1,25	1,56	30,3	25,6	16,73	20,92	-25,03
31	3,4	0,0	0,26	0,00	30,8	26,4	3,54	0,00	100,00
33	2,3	0,0	0,20	0,00	31,3	27,2	2,72	0,00	100,00
Total	1190,0	1225,3	32,14	28,71			363,85	312,74	
Resíduos %	-2,96		10,61				14,04		

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 57. Valores médios observados versus valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste para o índice de sítio 53 m (8,3 anos)

Centro de classe	N/ha Obs.	N/ha Est.	$G (m^2/ha)$ Obs.	$G (m^2/ha)$ Est.	$ht (m)$	$hc (m)$	$V (m^3/ha)$ Obs.	$V (m^3/ha)$ Est.	Resíduos (%)
5	16,5	0,0	0,03	0,00	10,4	0,0	0,00	0,00	100,00
7	87,5	44,8	0,34	0,17	16,2	0,0	0,00	0,00	48,74
9	43,7	87,6	0,28	0,56	20,6	3,5	0,94	1,89	-100,39
11	72,0	111,9	0,68	1,06	24,1	9,6	5,22	8,11	-55,40
13	115,7	123,3	1,54	1,64	26,8	14,1	15,41	16,42	-6,51
15	125,9	124,6	2,22	2,20	29,0	17,7	25,90	25,64	0,99
17	93,9	118,6	2,13	2,69	30,7	20,6	27,35	34,55	-26,31
19	64,0	107,5	1,81	3,05	32,2	23,1	24,97	41,96	-68,04
21	90,1	93,7	3,12	3,25	33,5	25,3	45,26	47,07	-4,00
23	75,7	78,9	3,15	3,28	34,6	27,1	47,51	49,52	-4,23
25	102,9	64,5	5,05	3,16	35,5	28,7	78,83	49,36	37,38
27	81,1	51,2	4,64	2,93	36,3	30,0	74,39	46,99	36,83
29	46,4	39,7	3,06	2,62	37,0	31,2	50,23	42,97	14,47
31	30,9	30,1	2,33	2,27	37,7	32,3	39,01	37,93	2,76
33	18,7	22,4	1,60	1,91	38,2	33,2	27,12	32,49	-19,80
35	6,4	16,4	0,62	1,57	38,8	33,6	10,11	25,84	-155,68
37	3,2	11,8	0,34	1,27	39,2	34,3	5,72	21,16	-269,92
39	3,2	0,0	0,38	0,00	39,6	34,9	6,43	0,00	100,00
Total	1077,8	1127,0	33,32	33,63			484,40	481,90	
Resíduos%	-4,56		-0,92				0,52		

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 58. Valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes primeiro desbaste para o índice de sítio 53 m (6,0 anos)

Centro de classe	N/ha	G (m^2/ha)	ht (m)	hc (m)	V (m^3/ha)
7	50,9	0,19	14,4	0,0	0,00
9	103,2	0,66	18,3	3,1	1,98
11	138,4	1,31	21,4	8,6	8,92
13	156,0	2,07	23,8	12,5	18,48
15	157,7	2,79	25,7	15,7	28,85
17	146,7	3,33	27,3	18,3	38,01
19	127,4	3,61	28,7	20,6	44,22
21	104,3	3,61	29,8	22,5	46,58
23	80,9	3,36	30,7	24,1	45,13
25	59,7	2,93	31,6	25,5	40,66
27	42,1	2,41	32,3	26,7	34,37
29	28,5	1,88	32,9	27,8	27,45
31	18,6	1,40	33,5	28,70	20,88
33	11,8	1,01	34,0	29,5	15,27
Total	1226,4	30,56			370,80

OBS: valores estimados por classes de DAP para cada variável.

ANEXO 10: Tabelas com estimativas dos valores removidos na simulação do primeiro desbaste

Tabela 60. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 38 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$ Obs.	$N_{remov.}/ha$ Est.	$G_{remov.}$ Obs.	$G_{remov.}$ Est.	ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$ Obs.	$V_{remov.}$ Est.	Resíduos (%)
7	13,0	10,2	0,05	0,04	11,4	0,0	0,00	0,00	21,21
9	115,7	59,5	0,74	0,38	14,5	2,4	1,76	0,91	48,55
11	102,7	111,8	0,98	1,06	17,0	6,8	5,26	5,72	-8,84
13	118,1	140,1	1,57	1,86	18,9	10,0	11,10	13,17	-18,68
15	112,2	133,8	1,98	2,37	20,4	12,5	16,29	19,44	-19,34
17	61,4	100,2	1,39	2,27	21,7	14,6	12,63	20,62	-63,25
19	49,6	58,6	1,41	1,66	22,8	16,3	13,66	16,13	-18,13
21	33,1	26,2	1,14	0,91	23,6	17,8	11,72	9,30	20,66
23	11,8	8,76	0,49	0,36	24,4	19,1	5,23	3,88	25,80
25	5,9	2,12	0,29	0,10	25,1	20,2	3,19	1,14	64,13
27	2,4	0,36	0,14	0,02	25,6	21,2	1,53	0,23	84,79
Total	625,7	651,8	10,17	11,04			82,36	90,55	
Resíduos	-4,16		-8,53				-9,94		

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 61. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 43 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$ Obs.	$N_{remov.}/ha$ Est.	$G_{remov.}$ Obs.	$G_{remov.}$ Est.	ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$ Obs.	$V_{remov.}$ Est.	Resíduos (%)
5	0,3	0,0	0,00	0,00	8,0	0,0	0,00	0,00	100,00
7	19,7	12,7	0,08	0,05	12,4	0,0	0,00	0,00	35,70
9	78,3	64,3	0,50	0,41	15,8	2,7	1,30	1,06	17,82
11	90,3	110,2	0,86	1,05	18,4	7,4	5,02	6,13	-22,05
13	89,1	132,4	1,18	1,76	20,5	10,8	9,10	13,53	-48,59
15	101,1	126,5	1,79	2,24	22,2	13,5	15,96	19,96	-25,09
17	61,1	98,8	1,39	2,24	23,6	15,8	13,66	22,09	-61,69
19	46,8	63,2	1,33	1,79	24,7	17,7	14,02	18,91	-34,87
21	37,4	32,6	1,30	1,13	25,7	19,4	14,41	12,56	12,83
23	15,7	13,3	0,65	0,55	26,5	20,8	7,56	6,41	15,18
25	10,0	4,2	0,49	0,21	27,2	22,0	5,87	2,47	57,98
27	5,7	1,0	0,33	0,06	27,9	23,0	4,02	0,70	82,60
29	2,6	0,2	0,17	0,01	28,4	23,9	2,13	0,14	93,32
31	0,6	0,0	0,04	0,00	28,9	24,7	0,55	0,00	100,00
Total	558,8	659,5	10,10	11,49			93,61	103,96	
Resíduos%	-18,02		-13,80				-11,06		

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 64. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 38 m com controle do número de árvores removido

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$		$G_{remov.}$		ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
7	13,0	10,4	0,05	0,04	11,4	0,0	0,00	0,00	19,96
9	115,7	62,2	0,74	0,40	14,5	2,4	1,76	0,95	46,21
11	102,7	95,0	0,98	0,90	17,0	6,8	5,26	4,86	7,49
13	118,1	119,1	1,57	1,58	18,9	10,0	11,10	11,20	-0,88
15	112,2	113,8	1,98	2,01	20,4	12,5	16,29	16,53	-1,44
17	61,4	85,2	1,39	1,93	21,7	14,6	12,63	17,52	-38,77
19	49,6	49,8	1,41	1,41	22,8	16,3	13,66	13,71	-0,41
21	33,1	22,3	1,14	0,77	23,6	17,8	11,72	7,90	32,56
23	11,8	7,4	0,49	0,31	24,4	19,1	5,23	3,30	36,93
25	5,9	1,8	0,29	0,09	25,1	20,2	3,19	0,97	69,51
27	2,4	0,3	0,14	0,02	25,6	21,2	1,53	0,20	87,07
Total	625,7	567,3	10,17	9,46			82,36	77,14	
Resíduos%	9,33		6,96				6,34		

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 65. Valores médios observados e estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 43 m com controle do número de árvores removido

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$		$G_{remov.}$		ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
5	0,3	0,0	0,00	0,00	8,0	0,0	0,00	0,00	100,00
7	19,7	12,8	0,08	0,05	12,4	0,0	0,00	0,00	34,83
9	78,3	66,8	0,50	0,42	15,8	2,7	1,30	1,11	14,67
11	90,3	93,7	0,86	0,89	18,4	7,4	5,02	5,21	-3,74
13	89,1	112,6	1,18	1,49	20,5	10,8	9,10	11,50	-26,30
15	101,1	107,5	1,79	1,90	22,2	13,5	15,96	16,97	-6,33
17	61,1	84,0	1,39	1,91	23,6	15,8	13,66	18,78	-37,44
19	46,8	53,7	1,33	1,52	24,7	17,7	14,02	16,07	-14,64
21	37,4	27,7	1,30	0,96	25,7	19,4	14,41	10,68	25,91
23	15,7	11,3	0,65	0,47	26,5	20,8	7,56	5,45	27,90
25	10,0	3,6	0,49	0,18	27,2	22,0	5,87	2,10	64,28
27	5,7	0,8	0,33	0,05	27,9	23,0	4,02	0,59	85,21
29	2,6	0,1	0,17	0,01	28,4	23,9	2,13	0,12	94,32
31	0,6	0,0	0,04	0,00	28,9	24,7	0,55	0,00	100,00
Total	558,8	574,7	10,10	9,85			93,61	88,57	
Resíduos%	-2,86		2,43				5,38		

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

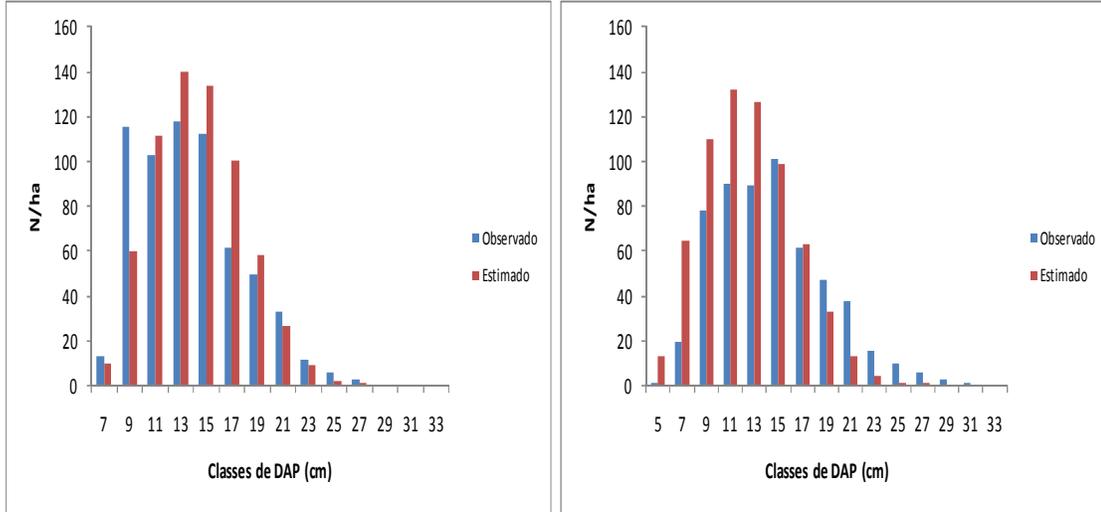
Tabela 69. Valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste (D1) e removidos no desbaste para o índice de sítio 33 m com controle do número de árvores removido

Centro de classe	N/ha antes D1	N/ha removido D1	G (m²/ha) antes D1	G (m²/ha) removido D1	ht (m)	hc (m)	V (m³/ha) antes D1	V (m³/ha) removido D1
7	31,9	31,9	0,12	0,12	10,3	0,0	0,00	0,00
9	101,2	101,2	0,64	0,64	13,2	2,2	1,39	1,39
11	178,5	131,5	1,7	1,25	15,4	6,1	8,26	6,09
13	234,5	150,0	3,11	1,99	17,1	9,0	19,94	12,75
15	249,2	126,8	4,40	2,24	18,5	11,3	32,73	16,65
17	220,4	79,3	5,00	1,80	19,6	13,2	41,00	14,75
19	164,2	35,8	4,65	1,01	20,6	14,8	40,89	8,92
21	103,5	11,3	3,59	0,39	21,4	16,1	33,19	3,61
23	55,8	2,4	2,32	0,10	22,1	17,3	22,35	0,95
Total	1339,1	670,1	25,54	9,55			199,77	65,12

Tabela 70. Valores estimados do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP antes do primeiro desbaste (D1) e removidos no primeiro desbaste para o índice de sítio 53 m com controle do número de árvores removido

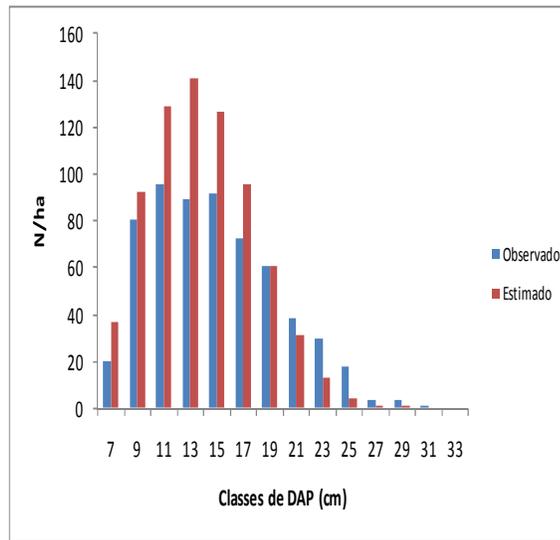
Centro de classe	N/ha antes D1	N/ha removido D1	G (m²/ha) antes D1	G (m²/ha) removido D1	ht (m)	hc (m)	V (m³/ha) antes D1	V (m³/ha) removido D1
7	50,9	50,9	0,19	0,19	14,4	0,0	0,00	0,00
9	103,2	103,2	0,66	0,66	18,3	3,1	1,98	1,98
11	138,4	108,9	1,31	1,03	21,4	8,6	8,92	7,02
13	156,0	113,8	2,07	1,51	23,8	12,5	18,48	13,47
15	157,7	101,6	2,79	1,79	25,7	15,7	28,85	18,59
17	146,7	78,4	3,33	1,78	27,3	18,3	38,01	20,31
19	127,4	52,0	3,61	1,47	28,7	20,6	44,22	18,04
21	104,3	29,2	3,61	1,01	29,8	22,5	46,58	13,06
23	80,9	13,7	3,36	0,57	30,7	24,1	45,13	7,64
25	59,7	5,2	2,93	0,26	31,6	25,5	40,67	3,55
27	42,1	1,6	2,41	0,09	32,3	26,7	34,37	1,28
29	28,5	0,4	1,88	0,02	32,9	27,8	27,45	0,35
31	18,6	0,1	1,40	0,00	33,5	28,7	20,88	0,07
33	11,8	0,0	1,01	0,00	34,0	29,5	15,27	0,01
Total	1226,4	658,9	30,58	10,40			370,80	105,38

ANEXO 11: Gráficos das distribuições diamétricas removidas no primeiro desbaste e distribuições remanescentes



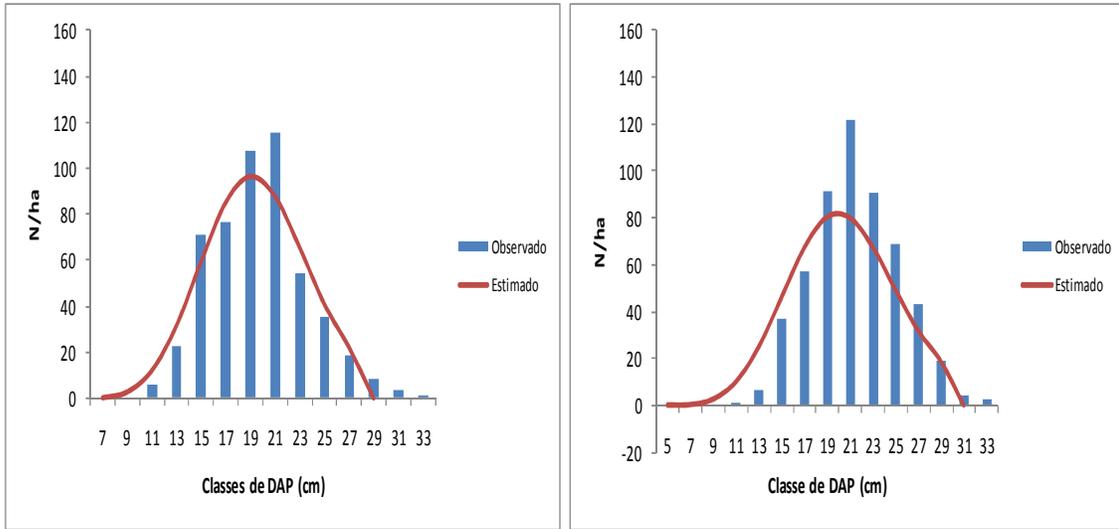
(a)

(b)



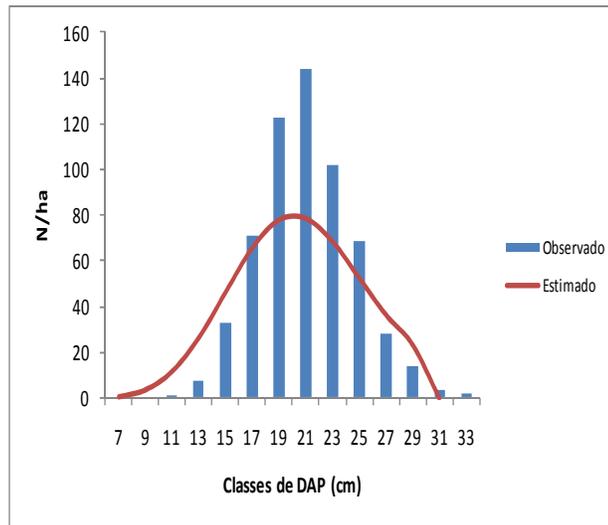
(c)

Figura 44. Distribuição do número de árvores estimado e observado médio removido no D1 por classes de DAP. (a): $S = 38$ m; (b): $S = 43$ m; (c): $S = 48$ m.



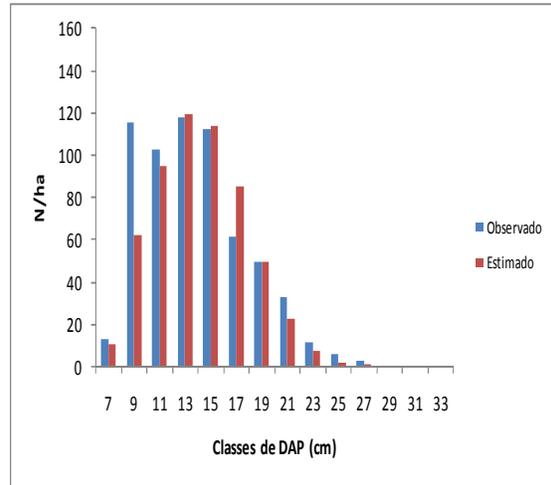
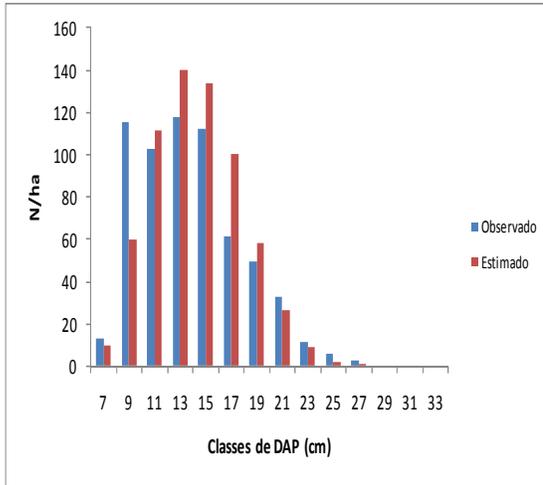
(a)

(b)



(c)

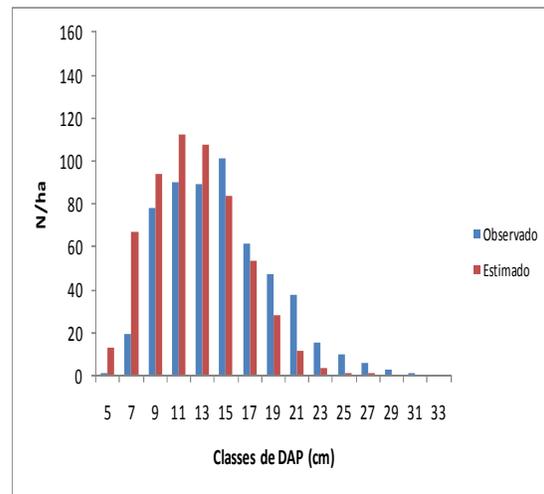
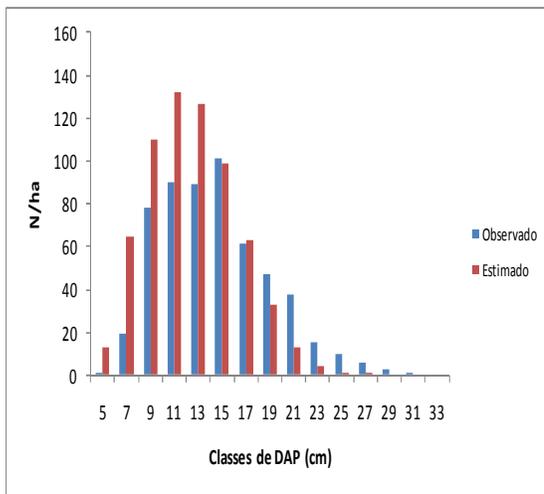
Figura 45. Distribuição diamétrica depois do primeiro desbaste. (a): $S = 38$ m; (b): $S = 43$ m; (c): $S = 48$ m.



(a)

(b)

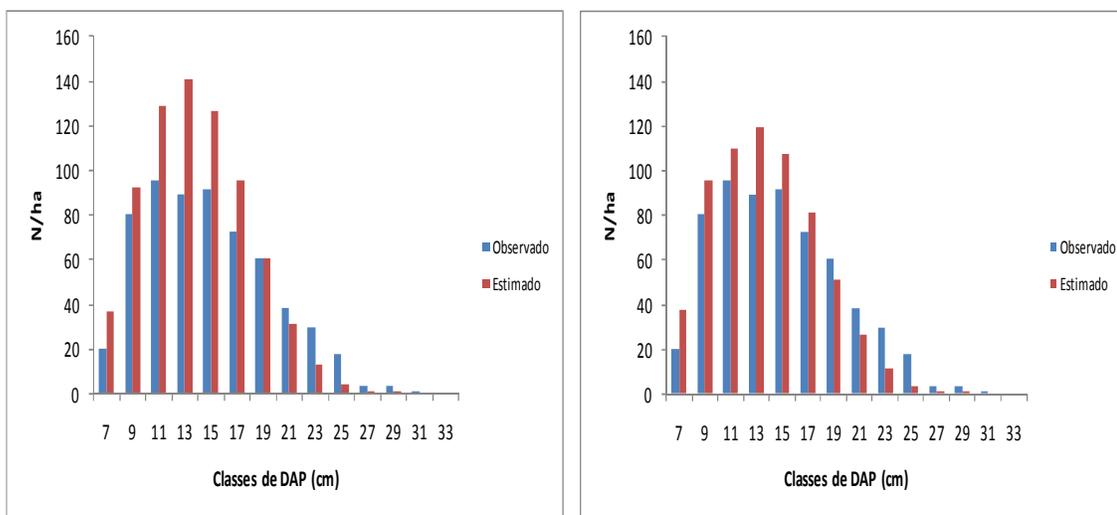
Figura 46. Distribuição do número de árvores removido no primeiro desbaste ($S = 38$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.



(a)

(b)

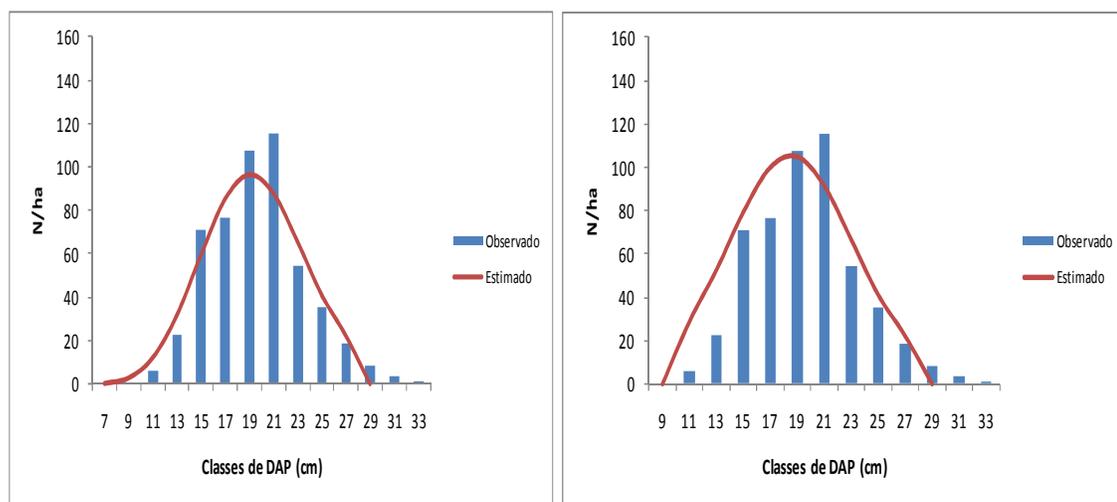
Figura 47. Distribuição do número de árvores removido no primeiro desbaste ($S = 43$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.



(a)

(b)

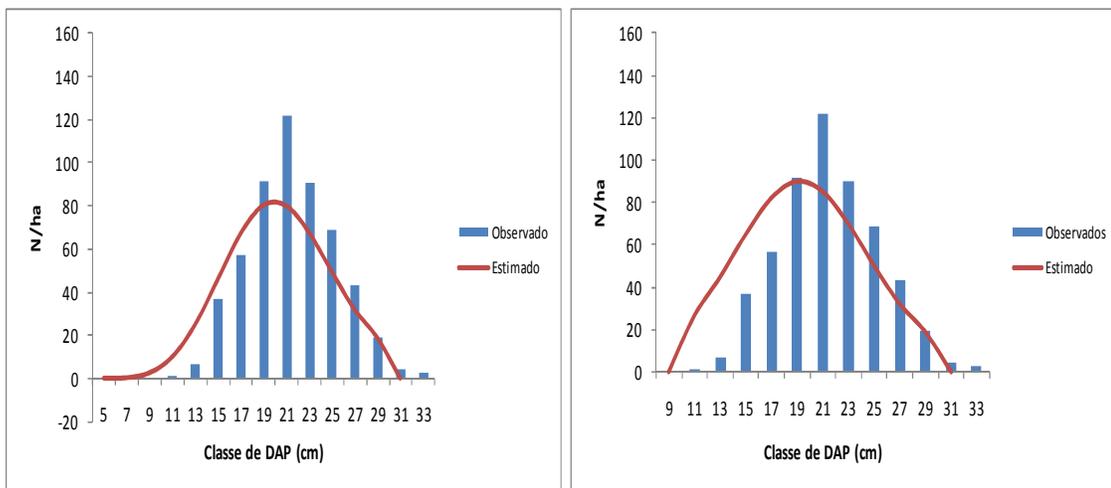
Figura 48. Distribuição do número de árvores removido no primeiro desbaste ($S = 48$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.



(a)

(b)

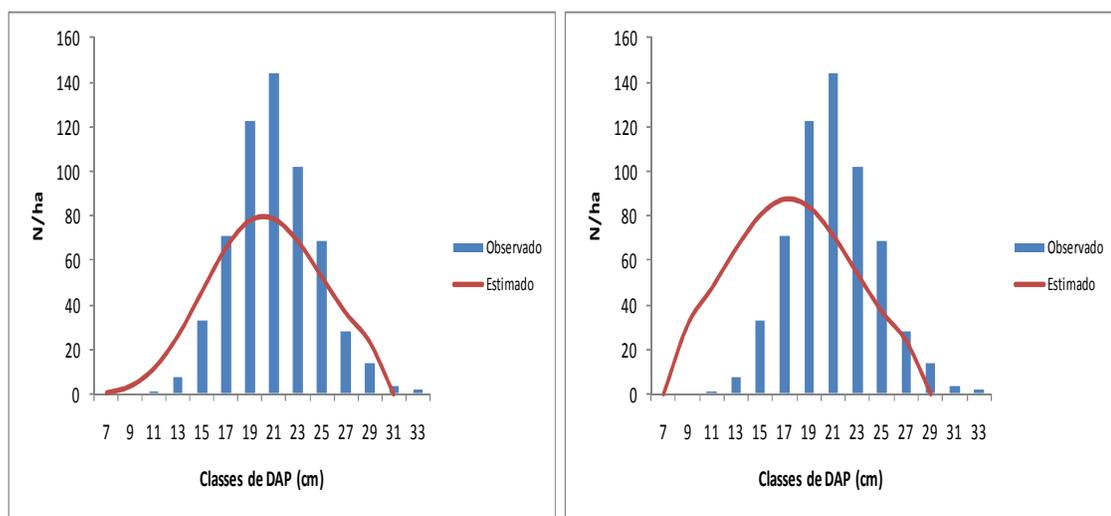
Figura 49. Distribuição do número de árvores remanescente depois do primeiro desbaste ($S = 38$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.



(a)

(b)

Figura 50. Distribuição do número de árvores remanescente depois do primeiro desbaste ($S = 43$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.



(a)

(b)

Figura 51. Distribuição do número de árvores remanescente depois do primeiro desbaste ($S = 48$ m). (a): Sem controle do número de árvores removido; (b): Com controle do número de árvores removido.

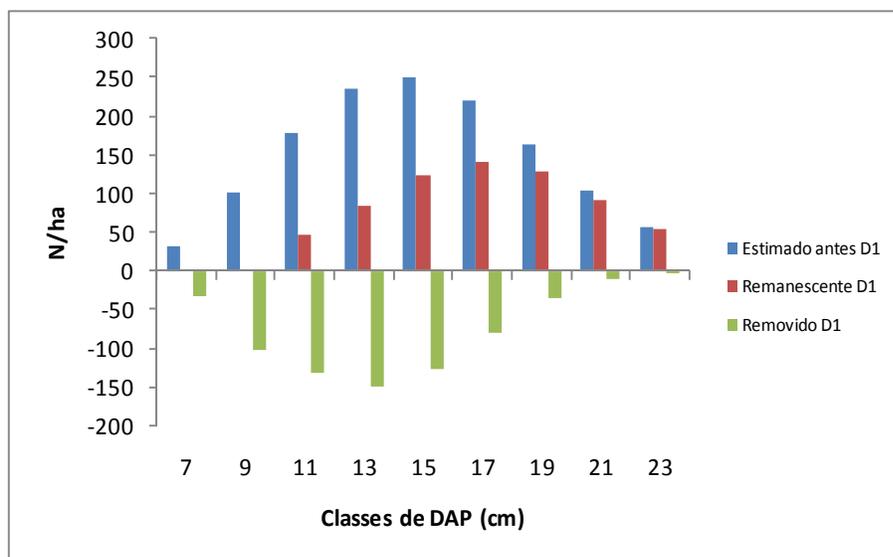


Figura 52. Distribuição do número de árvores estimado até o primeiro desbaste (D1), do remanescente do primeiro desbaste e do removido ($S = 33$ m; Idade 6 anos).

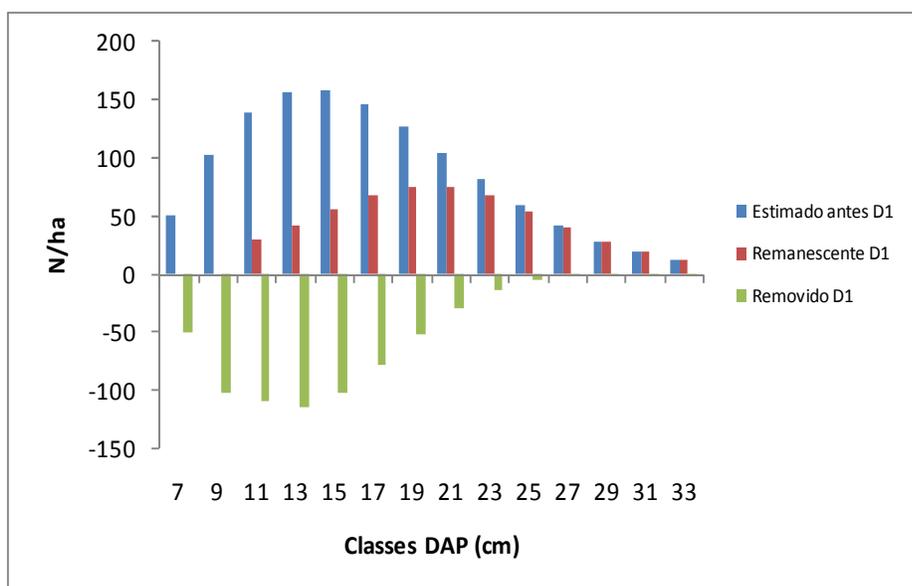


Figura 53. Distribuição do número de árvores estimado até o primeiro desbaste (D1), do remanescente do primeiro desbaste e do removido ($S = 53$ m; Idade 6 anos).

ANEXO 12: Tabelas de produção estimadas para cada índice de sítio imediatamente antes do D2

Tabela 72. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 33 m

Centro de classe	N/ha Est.	G (m²/ha) Est.	ht (m)	hc (m)	V (m³/ha) Est.
11	6,7	0,06	17,1	7,1	0,36
13	61,8	0,82	19,0	10,7	6,23
15	105,3	1,86	20,6	12,6	15,01
17	125,1	2,84	21,9	14,7	25,27
19	120,2	3,41	22,9	16,4	32,54
21	98,3	3,41	23,8	17,9	34,25
23	70,0	2,92	24,6	19,2	30,47
25	44,1	2,16	25,3	20,3	23,40
27	24,8	1,42	25,8	21,3	15,78
29	12,7	0,84	26,4	22,1	9,57
Total	669,1	19,73			192,89

Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 73. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 38 m

Centro de classe	N/ha Est.	G (m²/ha) Est.	ht (m)	hc (m)	V (m³/ha) Est.
11	4,5	0,04	18,6	7,8	0,26
13	34,0	0,45	20,7	11,6	3,73
15	66,5	1,17	22,4	13,6	10,30
17	88,7	2,01	23,8	15,9	19,47
19	96,6	2,74	24,9	17,9	28,39
21	90,7	3,14	25,9	19,5	34,31
23	75,3	3,13	26,7	20,9	35,58
25	56,0	2,75	27,4	22,1	32,30
27	37,6	2,15	28,1	23,1	26,01
29	23,0	1,52	28,6	24,0	18,80
31	13,0	0,98	29,1	24,8	12,37
Total	585,9	20,10			221,53

Est. = valores estimados; ht = altura total (m); hc = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 74. Estimativas do número de árvores (*N*), área basal (*G*) e volume (*V*) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 43 m

Centro de classe	<i>N</i> /ha		<i>G</i> (m ² /ha)		<i>ht</i> (m)	<i>hc</i> (m)	<i>V</i> (m ³ /ha)		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
11	0,0	3,2	0,00	0,03	20,2	8,4	0,00	0,20	-100,00
13	12,0	27,0	0,16	0,36	22,5	12,6	1,43	3,21	-124,63
15	25,0	54,2	0,44	0,96	24,3	14,8	4,20	9,11	-116,66
17	43,0	74,0	0,98	1,68	25,8	17,3	10,25	17,65	-72,10
19	51,0	83,5	1,45	2,37	27,1	19,4	16,29	26,68	-63,79
21	94,0	82,6	3,26	2,86	28,1	21,2	38,64	33,96	12,10
23	100,0	73,5	4,15	3,05	29,0	22,7	51,35	37,74	26,50
25	76,3	59,6	3,75	2,93	29,8	24,0	47,85	37,36	21,93
27	95,3	44,4	5,46	2,54	30,5	25,1	71,60	33,37	53,39
29	54,7	30,7	3,61	2,03	31,1	26,1	48,45	27,18	43,90
31	16,0	19,7	1,21	1,49	31,6	27,0	16,52	20,36	-23,28
33	12,0	11,9	1,03	1,02	32,1	27,7	14,27	14,20	0,50
35	2,0	0,0	0,19	0,00	32,5	28,4	2,71	0,00	100,00
37	4,0	0,0	0,43	0,00	32,9	29,0	6,15	0,00	100,00
Total	585,3	564,3	26,11	21,31			329,72	261,02	
Resíduos %	3,59		18,36				20,83		

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; *ht* = altura total (m); *hc* = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 76. Estimativas do número de árvores (*N*), área basal (*G*) e volume (*V*) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do segundo desbaste para o índice de sítio 53 m

Centro de classe	<i>N</i> /ha	<i>G</i> (m ² /ha)	<i>ht</i> (m)	<i>hc</i> (m)	<i>V</i> (m ³ /ha)
	Est.	Est.			Est.
11	1,8	0,02	23,8	10,0	0,13
13	21,2	0,28	26,5	14,9	2,98
15	43,9	0,78	28,7	17,5	8,71
17	60,4	1,37	30,5	20,4	16,98
19	69,7	1,98	32,0	22,9	26,29
21	72,2	2,50	33,2	25,0	35,01
23	68,7	2,85	34,3	26,8	41,62
25	61,0	2,99	35,2	28,3	45,11
27	51,0	2,92	36,0	29,6	45,17
29	40,3	2,66	36,7	30,8	42,18
31	30,4	2,29	37,3	31,8	36,99
33	21,8	1,87	37,9	32,7	30,67
35	15,1	1,45	38,4	33,5	24,19
37	10,1	1,08	38,9	34,3	18,30
Total	567,4	25,04			374,32

Est. = valores estimados; *ht* = altura total (m); *hc* = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

ANEXO 13: Tabelas com estimativas dos valores removidos na simulação do segundo desbaste

Tabela 77. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 33 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$ Est.	$G_{remov.}$ Est.	ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$ Est.
11	6,7	0,06	17,1	7,2	0,36
13	51,5	0,68	19,0	10,7	5,19
15	67,1	1,19	20,6	12,6	9,56
17	70,5	1,60	21,9	14,7	14,24
19	50,8	1,44	22,9	16,4	13,74
21	22,2	0,77	23,8	17,9	7,74
23	4,5	0,19	24,6	19,2	1,96
25	0,3	0,01	25,3	20,3	0,14
27	0,0	0,00	25,8	21,3	0,00
29	0,0	0,00	26,4	22,1	0,00
Total	273,4	5,94			52,92

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 78. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 38 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$ Est.	$G_{remov.}$ Est.	ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$ Est.
11	4,5	0,04	18,6	7,8	0,27
13	28,6	0,38	20,7	11,6	3,13
15	54,6	0,96	22,4	13,6	8,45
17	68,3	1,55	23,8	15,9	14,99
19	63,8	1,81	24,9	17,9	18,75
21	43,0	1,49	25,9	19,5	16,27
23	18,3	0,76	26,7	20,9	8,66
25	3,9	0,19	27,5	22,1	2,23
27	0,3	0,02	28,1	23,1	0,18
29	0,0	0,00	28,6	24,0	0,00
Total	285,2	7,20			72,93

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 79. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 43 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$		$G_{remov.}$		ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
9	16,00	0,0	0,10	0,00	17,3	3,1	0,32	0,00	100,00
11	2,67	3,2	0,03	0,03	20,2	8,4	0,17	0,20	-19,07
13	21,33	22,8	0,28	0,30	22,5	12,6	2,54	2,71	-6,73
15	53,33	36,1	0,94	0,64	24,3	14,8	8,97	6,07	32,35
17	48,00	47,4	1,09	1,08	25,8	17,3	11,45	11,31	1,17
19	45,33	48,9	1,29	1,39	27,1	19,4	14,48	15,62	-7,88
21	96,00	39,8	3,33	1,38	28,1	21,2	39,46	16,34	58,59
23	66,67	23,8	2,77	0,99	29,0	22,7	34,23	12,23	64,27
25	45,33	9,1	2,23	0,45	29,8	24,0	28,42	5,73	79,84
27	26,67	1,8	1,53	0,10	30,5	25,1	20,03	1,33	93,36
29	5,33	0,1	0,35	0,01	31,1	26,1	4,73	0,11	97,75
31	2,67	0,0	0,20	0,00	31,6	27,0	2,75	0,00	99,94
Total	429,3	233,0	14,13	6,36			167,54	71,65	
Resíduos %	45,74		55,00				57,23		

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 81. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP removidos no segundo desbaste para o índice de sítio 53 m

Centro de classe	$N_{remov.}/ha$ Est.	$G_{remov.}$ Est.	ht (m)	hc (m)	$V_{remov.}$ Est.
11	1,78	0,02	23,8	10,0	0,13
13	18,0	0,24	26,5	14,9	2,52
15	29,5	0,52	28,7	18,4	6,38
17	39,9	0,91	30,5	20,4	11,23
19	44,1	1,25	32,0	22,9	16,64
21	41,6	1,44	33,2	25,0	20,17
23	32,7	1,36	34,3	26,8	19,84
25	20,3	1,00	35,2	28,3	15,03
27	8,9	0,51	36,0	29,6	7,90
29	2,3	0,15	36,7	30,8	2,42
31	0,3	0,02	37,3	31,8	0,34
33	0,01	0,00	37,9	32,7	0,01
Total	239,5	7,42			102,62

Onde: $N_{remov.}/ha$ = Número de árvores médio removido por hectare; $G_{remov.}$ = área basal média removida por hectare (m^2/ha); $V_{remov.}$ = volume médio removido por hectare (m^3/ha); Est. = valores estimados; ht = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

ANEXO 14: Gráficos da distribuição diamétrica estimada antes e depois do segundo desbaste

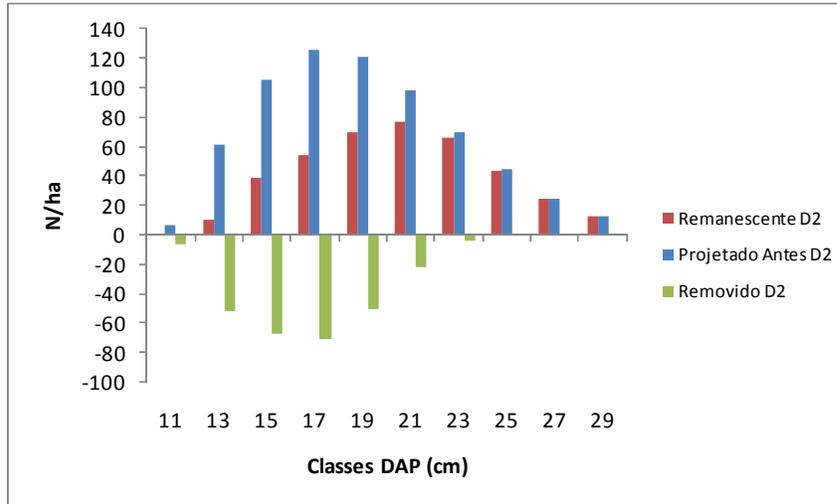


Figura 56. Distribuição do número de árvores estimado até o segundo desbaste (D2), do remanescente do segundo desbaste e do removido ($S = 33$ m; Idade 8 anos).

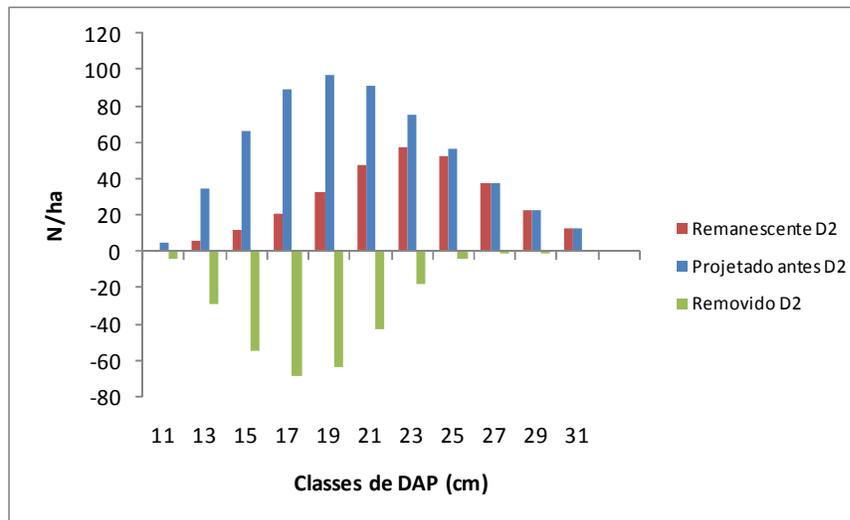


Figura 57. Distribuição do número de árvores estimado até o segundo desbaste (D2), do remanescente do segundo desbaste e do removido ($S = 38$ m; Idade 8 anos).

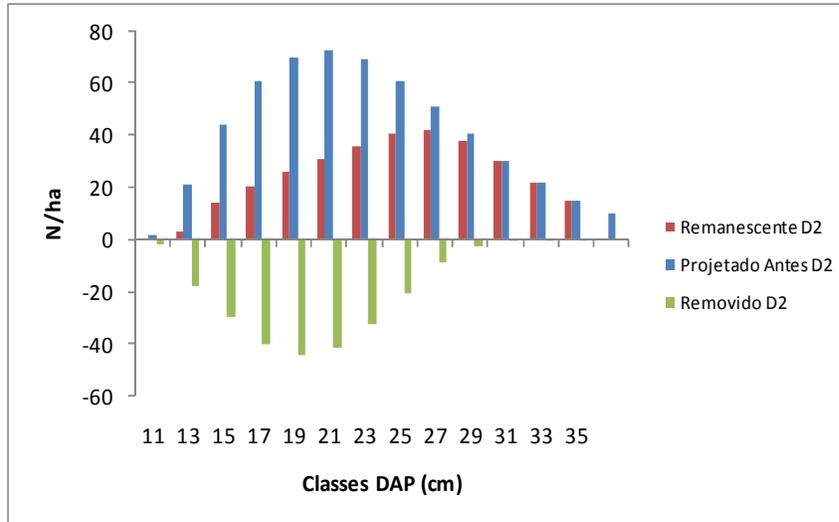


Figura 58. Distribuição do número de árvores estimado até o segundo desbaste (D2), do remanescente do segundo desbaste e do removido ($S = 53$ m; Idade 8 anos).

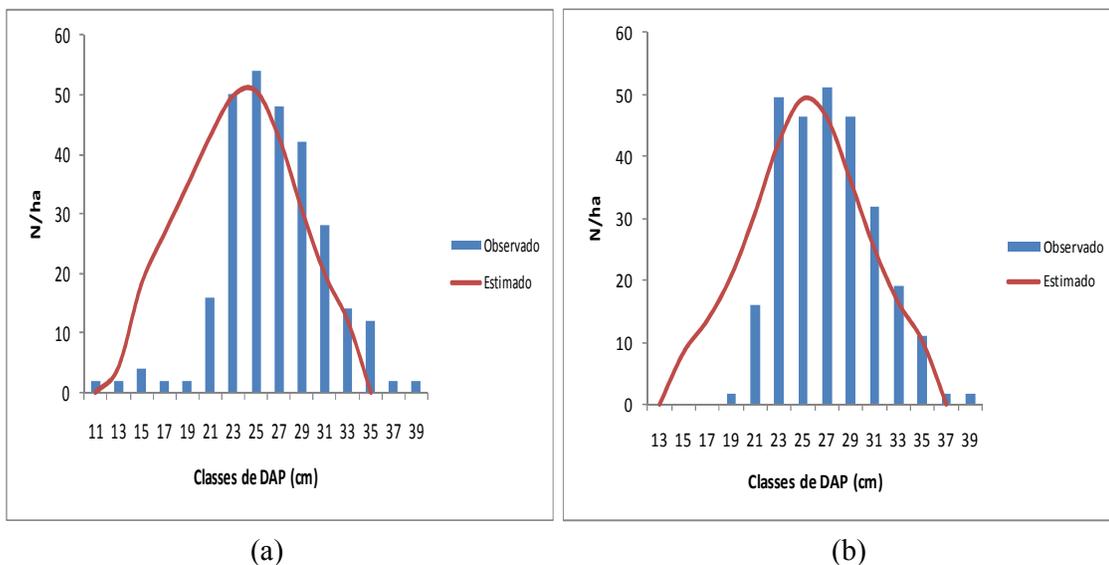


Figura 59. Distribuição do número de árvores remanescente depois do segundo desbaste. (a): $S = 43$ m; (b): $S = 48$ m.

ANEXO 15: Tabelas de produção estimadas para cada índice de sítio imediatamente antes do CF

Tabela 84. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 33 m

Centro de classe	N/ha Est.	$G (m^2/ha)$ Est.	$ht (m)$	$hc (m)$	$V (m^3/ha)$ Est.
17,5	22,5	0,54	31,0	21,2	6,87
22,5	95,9	3,81	34,2	26,5	55,35
27,5	120,4	7,15	36,3	30,1	111,82
32,5	90,8	7,53	37,9	32,7	123,66
37,5	45,7	5,05	39,1	34,6	85,84
42,5	16,1	2,28	40,1	36,1	39,82
47,5	4,3	0,77	40,9	37,3	13,61
52,5	0,0	0,00	41,5	37,3	0,00
Total	395,7	27,14			436,98

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 85. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 38 m

Centro de classe	N/ha Est.	$G (m^2/ha)$ Est.	$ht (m)$	$hc (m)$	$V (m^3/ha)$ Est.
17,5	2,3	0,06	33,4	22,8	0,76
22,5	24,9	0,99	36,8	28,5	15,45
27,5	63,5	3,77	39,1	32,4	63,53
32,5	86,5	7,18	40,8	35,2	126,86
37,5	72,9	8,05	42,2	37,2	147,22
42,5	38,4	5,44	43,2	38,8	102,11
47,5	12,4	2,19	44,0	40,1	41,97
Total	300,8	27,67			497,89

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 86. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 43 m

Centro de classe	N/ha		$G (m^2/ha)$		$ht (m)$	$hc (m)$	$V (m^3/ha)$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
17,5	0,0	3,4	0,00	0,08	36,5	24,9	0,00	1,22	-100,00
22,5	12,1	29,4	0,48	1,17	40,2	31,1	8,21	19,95	-142,95
27,5	53,6	68,0	3,18	4,04	42,7	35,4	58,57	74,27	-26,80
32,5	79,1	89,2	6,57	7,40	44,6	38,4	126,77	142,89	-12,71
37,5	85,1	77,4	9,40	8,54	46,0	40,7	187,87	170,71	9,13
42,5	69,3	45,6	9,83	6,47	47,2	42,4	201,51	132,68	34,16
47,5	19,6	18,4	3,47	3,26	48,1	43,8	72,44	68,11	5,98
52,5	6,7	0,0	1,44	0,00	48,8	43,8	28,35	0,00	100,00
57,5	2,7	0,0	0,71	0,00	49,4	44,8	14,07	0,00	100,00
62,5	0,6	0,0	0,17	0,00	50,0	45,7	3,41	0,00	100,00
Total	328,8	331,3	35,25	30,96			701,22	609,84	
Resíduos %	-0,78		12,15				13,03		

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.

Tabela 87. Estimativas do número de árvores (N), área basal (G) e volume (V) por hectare por classes de DAP obtidos imediatamente antes do corte final para o índice de sítio 48 m

Centro de classe	N/ha		$G (m^2/ha)$		$ht (m)$	$hc (m)$	$V (m^3/ha)$		Resíduos (%)
	Obs.	Est.	Obs.	Est.			Obs.	Est.	
17,5	0,4	0,3	0,01	0,01	39,7	27,1	0,15	0,11	28,81
22,5	3,5	6,4	0,14	0,26	43,8	33,9	2,62	4,76	-81,30
27,5	35,9	32,6	2,13	1,94	46,6	38,5	42,78	38,83	9,24
32,5	61,6	66,8	5,11	5,54	48,6	41,8	107,48	116,60	-8,49
37,5	79,3	82,7	8,76	9,13	50,2	44,3	190,62	198,82	-4,30
42,5	59,5	66,1	8,44	9,38	51,4	44,9	188,05	209,02	-11,15
47,5	37,2	33,8	6,60	5,99	52,4	46,5	149,92	136,18	9,17
52,5	15,3	10,7	3,31	2,32	53,2	47,8	71,02	49,69	30,04
57,5	2,2	0,0	0,57	0,00	53,8	48,8	12,37	0,00	100,00
62,5	1,5	0,0	0,46	0,00	54,4	49,7	10,08	0,00	100,00
Total	296,5	299,5	35,53	34,57			775,11	753,99	
Resíduos %	-1,02		2,71				2,72		

Onde: Obs. = valores observados; Est. = valores estimados; h_t = altura total (m); h_c = altura comercial (m) até um diâmetro mínimo de 8 cm.