

**SISTEMA DE PROGNOSE DO
CRESCIMENTO E PRODUÇÃO PARA *Pinus*
taeda L. SUJEITO A REGIMES DE
DESBASTES E PODAS**

ANTONIO CARLOS FERRAZ FILHO

2009

ANTONIO CARLOS FERRAZ FILHO

**SISTEMA DE PROGNOSE DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO PARA
Pinus taeda L. SUJEITO A REGIMES DE DESBASTES E PODAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Ferraz Filho, Antonio Carlos.

Sistema de prognose do crescimento e produção para *Pinus taeda*
L. sujeito a regimes de desbastes e podas / Antonio Carlos Ferraz
Filho. – Lavras : UFLA, 2009.

147 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: José Roberto Soares Scolforo.

Bibliografia.

1. Manejo florestal. 2. Biometria. 3. Modelagem estatística. 4.
Validação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.9285

ANTONIO CARLOS FERRAZ FILHO

**SISTEMA DE PROGNOSE DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO PARA
Pinus taeda L. SUJEITO A REGIMES DE DESBASTES E PODAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 5 de Março de 2009.

Prof. Dr. Antônio Donizette de Oliveira	DCF/UFLA
Prof. Dr. José Márcio de Mello	DCF/UFLA
Prof. Dr. Ruben Delly Veiga	DEX/UFLA

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo
Departamento de Ciências Florestais / UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

“I have no data yet. It is a capital mistake to theorize before one has data. Insensibly one begins to twist facts to suit theories, instead of theories to suit facts.”

Sherlock Holmes

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), através do Departamento de Ciências Florestais (DCF) e Laboratório de Estudos e Pesquisa em Manejo Florestal (LEMAF), pela oportunidade de aprimoramento como Engenheiro Florestal.

Ao professor José Roberto Soares Scolforo, pela preciosa orientação, incentivo e apoio na realização deste trabalho e obtenção deste título.

A todos os professores do Departamento de Ciências Florestais, em especial ao José Marcio de Mello, por todos os trabalhos desenvolvidos no passado, presente e futuro.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A Colovade S.A., através do Juan Pedro Posse, por todo apoio em relação à obtenção da base de dados e discussões valorosas.

A todos os colegas da turma de mestrado e doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFLA, com destaque para Maria Zélia Ferreira, pela assistência constante durante os estudos.

À minha família, pelo apoio que possibilitou minha formação profissional.

Aos amigos da Republica Itaipava e seus agregados, por todos os momentos de descontração.

À namorada e companheira Andressa, pela convivência e paciência.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução geral	2
2 Referencial Teórico.....	4
2.1 Conceitos básicos sobre modelos.....	4
2.2 Modelos de crescimento e produção.....	4
2.2.1 Modelos globais.....	6
2.2.2 Modelos por classe diamétrica.....	7
2.3 Validação de modelos.....	8
2.4 O desbaste no crescimento florestal.....	9
2.5 A poda como operação silvicultural	12
2.5.1 Influência da poda no crescimento da árvore	14
2.5.2 Influência da poda na forma da árvore	15
2.6 Considerações sobre diferentes bases de dados aplicados na modelagem de sistemas de prognose	18
3 Referências Bibliográficas	20
CAPÍTULO 2.....	24
Desenvolvimento, modelagem e validação de um sistema de prognose para povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. submetidos a desbastes.....	24
1 Resumo	25
2 Abstract.....	26
3 Introdução	27
4 Objetivos.....	28
4.1 Objetivo geral	28
4.2 Objetivos específicos	28
5 Material e Métodos	29
5.1 Área de estudo	29
5.2 Base de dados para gerar os modelos de prognose	29
5.3 Sistema de prognose	31
5.3.1 Modelos para a classificação do sítio.....	32
5.3.2 Modelos de sobrevivência de árvores	34
5.3.3 Modelos para estimar o diâmetro mínimo	35
5.3.4 Modelos para estimar a variância dos diâmetros	37
5.3.5 Método para estimar o diâmetro médio	38
5.3.6 Função densidade de probabilidade de Weibull	40
5.3.7 Relação hipsométrica genérica	41
5.3.8 Simulador de desbaste	44

5.4 Escolha dos modelos para compor o sistema de prognose	46
5.5 Validação - Teste de benchmark.....	47
5.6 Ajuste final dos modelos.....	49
5.7 Simulação de desbaste	49
6 Resultados e Discussão	51
6.1 Ajuste do índice de sítio.....	51
6.2 Ajuste da equação de sobrevivência	57
6.3 Ajuste da equação de diâmetro mínimo	60
6.4 Ajuste das equações de variância dos diâmetros	62
6.5 Ajuste dos modelos de volume global e de área basal.....	64
6.6 Ajuste do modelo hipsométrico	66
6.7 Simulação do parâmetro de locação da função de Weibull	67
6.8 Validação do sistema de prognose.....	69
6.8.1 Validação	69
6.8.2 Ajuste dos modelos finais	72
6.9 Simulação de desbaste	73
7 Conclusões.....	81
8 Recomendações	82
9 Referências Bibliográficas	83
CAPÍTULO 3.....	93
Influência de diferentes regimes de poda no crescimento de <i>Pinus taeda</i> L.	93
1 Resumo	94
2 Abstract.....	95
3 Introdução	96
4 Objetivos.....	97
4.1 Objetivo geral	97
4.2 Objetivos específicos	97
5 Material e Métodos	98
5.1 Experimentos de diferentes regimes de podas	98
5.1.1 Experimento 1 – Tuna.....	98
5.1.2 Experimento 2 – Gaire.....	99
5.1.3 Experimento 3 – Toca.....	100
5.2 Modelagem do efeito da poda no crescimento das árvores	101
5.2.1 Efeito da poda no DAP e altura total	101
5.2.2 Efeito da poda na função de afilamento.....	104
5.3 Simulação de diferentes regimes de poda.....	105
5.3.1 Estimativa de volume produzido por tora.....	108
6 Resultados e Discussão	112
6.1 Comportamento do DAP, ao longo das diferentes idades de medição	112
6.2 Análise de variância para as últimas medições disponíveis de cada experimento	114
6.2.1 Tuna	114

6.2.2 Gaire	116
6.2.3 Toca	118
6.3 Agrupamento dos diferentes tratamentos de poda	120
6.4 Análise da influência da poda no volume e forma da árvore.....	122
6.5 Ajuste dos modelos de altura total para os três grupos de poda	125
6.6 Modelagem do DAP em função do comprimento de copa para os três grupos de poda.....	127
6.7 Modelagem do DAP e altura para os sub-grupos de poda.....	132
6.8 Simulação do crescimento de DAP, para diferentes regimes de poda.....	133
7 Conclusões.....	144
8 Recomendações	145
9 Referências Bibliográficas.....	146

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 1	Número de parcelas permanentes de <i>Pinus taeda</i> nas diferentes regiões e sub-regiões em que ocorrem.	29
TABELA 2	Idade das medições das parcelas permanentes medidas até 2008 por regiões.	30
TABELA 3	Prescrição de manejo de <i>Pinus</i> spp. utilizada pela Colonvade.	31
TABELA 4	Parâmetros (b_1 e b_2) e características das equações, que permitem simular o desbaste, onde o R^2 é o coeficiente de determinação e o S_{yx} o erro padrão residual.	45
TABELA 5	Cálculos realizados para acessar a acurácia e precisão.	47
TABELA 6	Estabilidade da classificação de sítio para <i>P. taeda</i> , onde o total se refere ao somatório do número de mudanças.	53
TABELA 7	Percentual de mudanças de classe de sítio ocorridas até sete anos.	53
TABELA 8	Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de Chapman na forma anamórfica, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.	55
TABELA 9	Limites inferiores e superiores da classificação de sítio para <i>Pinus taeda</i>	55
TABELA 10	Quantificação das parcelas temporárias e permanentes contidas em cada classe de sítio.	56
TABELA 11	Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de sobrevivência selecionado, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.	60
TABELA 12	Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de diâmetro mínimo selecionado, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.	61
TABELA 13	Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de variância dos diâmetros selecionado, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.	63
TABELA 14	Parâmetros ajustados e as estatísticas de ajuste, para o modelo de volume global, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.	65
TABELA 15	Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para os modelos hipsométricos selecionados, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança e ** a 90% de confiança pelo teste de T.	66

TABELA 16 Soma dos valores de Kolmogorov-Smirnov (KS) e número de vezes que obteve a primeira posição (1 ^a) para as 100 parcelas selecionadas aleatoriamente nas três classes de diâmetro testadas.	68
TABELA 17 Acurácia e precisão dos modelos do sistema de prognose para Pinus taeda.	69
TABELA 18 Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para os modelos finais, que compuseram o sistema de prognose, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança e ** a 95% de confiança pelo teste de T.	72
TABELA 19 Características das parcelas selecionadas nos quatro sítios para a simulação de desbaste.	73
TABELA 20 Número de árvores e área basal antes e após o primeiro desbaste comercial, onde o controle foi o número de árvores.	73
TABELA 21 Número de árvores e área basal antes e após o primeiro desbaste comercial, onde o controle foi a remoção de 30% da área basal.	75
TABELA 1 Alturas de medição dos diâmetros na operação de cubagem, onde as observações consideram toras de 2,8m com um toco remanescente após o corte de 15cm.	100
TABELA 2 Diferentes grupos de intensidade de poda nos quais os dados dos experimentos foram enquadrados.	102
TABELA 3 Prescrição de manejo florestal para Pinus taeda.	106
TABELA 4 Regime de podas e o número de toras podadas que fornecem nas diferentes épocas de corte.	107
TABELA 5 Análise de variância, para DAP do experimento Tuna, realizada no ano de medição 2005.	114
TABELA 6 Análise de variância, para altura do experimento Tuna, realizada no ano de medição 2005.	115
TABELA 7 Resultado do teste de médias Scott-Knott para DAP e altura realizado no experimento Tuna no ano de medição 2005*.	115
TABELA 8 Análise de variância para DAP do experimento Gaire, realizada no ano de medição 2006.	117
TABELA 9 Análise de variância para altura do experimento Gaire, realizada no ano de medição 2006.	117
TABELA 10 Resultado do teste de médias Scott-Knott para DAP e altura, realizado no experimento Gaire no ano de medição 2006*.	117
TABELA 11 Análise de variância para DAP do experimento Toca, realizada no ano de medição 2006.	118
TABELA 12 Análise de variância para altura do experimento Toca, realizada no ano de medição 2006.	119
TABELA 13 Resultado do teste de médias Scott-Knott, para DAP e altura realizado no experimento Toca no ano de medição 2006*.	119

TABELA 14 Agrupamento dos diferentes tratamentos e experimentos em grupos de regime de poda.	120
TABELA 15 Análise de variância para volume total do experimento Gaire. .	122
TABELA 16 Análise de variância para fator de forma do experimento Gaire.	122
TABELA 17 Resultado do teste de médias Scott-Knott para volume e fator de forma.	123
TABELA 18 Parâmetros, potências e estatísticas de precisão das equações de afilamento para os três diferentes grupos de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.	124
TABELA 19 Parâmetros e estatísticas de precisão das equações de altura total para os três diferentes grupos de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T. .	126
TABELA 20 Parâmetros e estatísticas de precisão encontrados da modelagem do DAP para os três diferentes grupos de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T. .	130
TABELA 21 Parâmetros e estatísticas de precisão encontrados da modelagem da altura para os grupos de mistura de regimes de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% e ** a 95% de confiança pelo teste de T.	132
TABELA 22 Parâmetros e estatísticas de precisão encontrados da modelagem do DAP para os grupos de mistura de regimes de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.	132
TABELA 23 Comportamento do DAP e da altura total para os oito regimes de poda simulados, no índice de sítio 12,5.	134
TABELA 24 Comportamento do DAP e da altura total para os oito regimes de poda simulados, no índice de sítio 17,5.	134
TABELA 25 Volume em m ³ de madeira nodosa (V nó), defeituosa (V defeituoso) e livre de nós (V clear), em metros cúbicos, nas diferentes posições da árvore e diferentes épocas de corte, para os oito regimes de poda avaliados no índice de sítio 17,5. O diâmetro se refere à ponta fina da tora.	136
TABELA 26 Volume em m ³ de madeira nodosa (V nó), defeituosa (V defeituoso) e livre de nós (V clear), em metros cúbicos, nas diferentes posições da árvore e diferentes épocas de corte, para os oito regimes de poda avaliados no índice de sítio 12,5. O diâmetro se refere à ponta fina da tora.	139
TABELA 27 Resumo dos volumes em m ³ obtidos no primeiro, segundo desbaste e corte final, para os oito regimes de podas simulados no sítio 17,5.	142

TABELA 28 Resumo dos volumes em m ³ obtidos no primeiro, segundo desbaste e corte final, para os oito regimes de podas simulados no sítio 12,5.....	142
--	-----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- FIGURA 1 A relação entre diâmetro de toras e madeira livre de nós e preço relativo para madeira de *Pinus* sp. Adaptado de Montagu et al. (2003). 13
- FIGURA 2 Crescimento médio por árvore em área seccional, por posição na árvore e classes de copa. Adaptado de Young & Kramer (1952). . 16

CAPÍTULO 2

- FIGURA 1 Seqüência das equações no sistema de prognose. 32
- FIGURA 2 Esquema, mostrando as diferentes etapas para a realização da simulação do desbaste, onde N = número de árvore, Vardap = variância dos diâmetros, Hdom = altura dominante, G = área basal e Dmin = diâmetro mínimo. 50
- FIGURA 3 Esquema de plantio, em relação à altitude em diferentes anos e estimativa da área plantada. 51
- FIGURA 4 Comportamento entre o incremento médio anual em altura dominante em função da altitude. 52
- FIGURA 5 Gráfico de resíduos para o ajuste da equação de Chapman nas formas anamórfica e polimórfica. 54
- FIGURA 6 Parcelas permanentes e a classificação de sítio com as curvas geradas pela equação de Chapman na forma anamórfica para *Pinus taeda*. 56
- FIGURA 7 Mortalidade encontrada na segunda medição das parcelas, em relação ao número de árvores por hectare na primeira medição. ... 58
- FIGURA 8 Gráficos de resíduos para os modelos de Clutter modificado selecionado para estimar a sobrevivência. 59

FIGURA 9 Gráfico de resíduos para o modelo de diâmetro mínimo adaptado de Chapman & Richards.	61
FIGURA 10 Gráfico de resíduos de variância dos diâmetros para o modelo 1. .	62
FIGURA 11 Gráficos de resíduos para o modelo selecionado de variância dos diâmetros.	63
FIGURA 12 Gráficos de resíduos de volume global e área basal.	65
FIGURA 13 Gráficos de resíduos para o modelo hipsométrico Scolforo 3.	66
FIGURA 14 Gráficos de resíduos para volume global, área basal calculados, pelo modelo global e por classe diamétrica, sobrevivência, variância dos resíduos, diâmetro mínimo, diâmetro quadrado, diâmetro a altura do peito e altura por classe diamétrica para P. taeda, utilizando a base de validação.....	71
FIGURA 15 Projeção de volume e área basal sem desbaste, para os quatro índices de sítio estudados.	78
FIGURA 16 Projeção de volume e área basal com desbaste, para os quatro índices de sítio estudados.	79
CAPÍTULO 3	
FIGURA 1 Experimento de poda instalado em Tuna. A) Tratamento 3. B) Tratamento 7. C) Tratamento 5.	99
FIGURA 2 Evolução da altura dominante para os dois sítios utilizados nas simulações.	106
FIGURA 3 Disco removido de uma árvore que tinha recebido poda a oito anos, mostrando os cilindros nodoso e defeituoso e a área de crescimento de madeira livre de nós.....	109
FIGURA 4 Esquema de cálculo de volume para uma árvore que recebeu duas toras podadas, onde, 1 = volume aos 4 anos, 2 = volume aos 6 anos, 3 = volume aos 8 anos, 4 = volume aos 10 anos, 5 = volume na época de corte.....	110

FIGURA 5	Teste de medias Scott-Knott para DAP, realizada a cada ano de medição, no experimento Tuna*.....	112
FIGURA 6	Teste de medias Scott-Knott para DAP, realizada a cada ano de medição, no experimento Gaire*.....	113
FIGURA 7	Teste de medias Scott-Knott para DAP, realizada a cada ano de medição, no experimento Toca*.....	113
FIGURA 8	Gráficos de resíduos encontrados para as três funções de afilamento.....	125
FIGURA 9	Gráficos de resíduos encontrados para as três equações de altura total.....	127
FIGURA 10	Comportamento do comprimento de copa, em função do DAP, para os três grupos de poda estipulados, onde A = 1 tora, B = 2 toras e C = 3 toras.....	128
FIGURA 11	Comportamento do Comprimento de Copa ao longo da idade da floresta.....	129
FIGURA 12	Gráficos de resíduos encontrados para as três equações ajustadas de DAP.....	131
FIGURA 13	Evolução do DAP ao longo da idade para os três regimes de podas únicos para o índice de sítio 12,5 e 17,5.	135

RESUMO GERAL

FERRAZ FILHO, Antonio Carlos. **Sistema de prognose do crescimento e produção para *Pinus taeda* L. sujeito a regimes de desbastes e podas.** 2009. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.¹

Este estudo retrata modelos de crescimento e produção para *Pinus taeda* conduzidos no sistema de manejo intensivo localizados no norte do Uruguai pertencentes à empresa Colonvade S.A. O primeiro capítulo é composto de uma revisão bibliográfica. O capítulo 2 mostra o desenvolvimento do sistema de prognose compatível em área basal a modelos de povoamento e modelos por classe diamétrica. Um total de 1552 parcelas permanentes foram usadas, onde 163 foram reservadas para validação e depois recolocadas na base de dados, para gerar o ajuste dos modelos finais. A validação mostra que o sistema possui boa capacidade projeção, onde no teste de Kolmogorov-Smirnov apenas doze das 163 parcelas não apresentaram aderência dos dados estimados, pela função de Weibull comparada aos valores observados. O capítulo 3 retrata a influência da poda no crescimento florestal. Para isso, três diferentes experimentos que retratam vários regimes de poda foram utilizados. Concluiu-se que podas a qualquer intensidade causam o declínio em DAP, quando comparado a plantios sem poda. O menor declínio em DAP foi causado por podas onde 60% da copa viva foi mantida. Podas, deixando 40% de copa viva, causam perdas razoáveis no desenvolvimento do DAP. Em relação à altura das árvores, os resultados indicam que podas leves podem influenciar as árvores a crescerem mais em altura do que árvores sem poda, mas para podas mais severas a altura é diminuída em relação a árvores não podadas. Foi constatado que a podas mais severas geram árvores menos cônicas. Os dados dos experimentos foram agrupados em três classes de poda, a que gera uma tora, duas ou três toras podadas. Utilizando o comprimento de copa como variável independente, o desenvolvimento em DAP e altura foram modelados para regimes de poda únicos e mistos nos três diferentes grupos de podas. Os valores de DAP e altura foram projetados até 22 anos e, utilizando a integral da função de afilamento ajustada para cada grupo de poda, a produção de madeira livre de nós foi estimada. O regime de podas que produziu a maior quantidade de madeira livre de nós foi, onde todas as árvores do talhão foram podadas até 5,75m de altura (2 toras de 2,8m podadas), enquanto o que maximizou a produção de madeira total produzida foi, onde todas as árvores foram podadas até 2,95m (1 tora podada de 2,8m).

¹Orientador: Dr. José Roberto Soares Scolforo - UFLA.

ABSTRACT

FERRAZ FILHO, Antonio Carlos. **Growth and yield forecasting system for *Pinus taeda* L. submitted to thinning and pruning regimes.** 2009. 147 p. Dissertation (Master Science Program in Forest Sciences) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.²

This research studied growth and yield models for *Pinus taeda* under intensive management located in the north of Uruguay. The plantations belong to Colonvade S.A. The first chapter is composed of a bibliographical revision. The second chapter presents the development of a forecasting system compatible in basal area to the whole stand and diameter class models. A total of 1552 permanent plots were used, of which 163 were reserved for validation, and afterwards regrouped in order to generate the final models. The validation showed that the system has good projection capacities. By using the Kolmogorov-Smirnov test, only twelve of the 163 validation plots did not present statistical equality between the observed data and the predicted data of the Weibull function. Three experiments comprising several pruning regimes were used. Thus, pruning in any intensity causes a decline in DBH development, when compared to unpruned stands. The smallest decline in DBH was caused when a live crown of 60% in relation to total height was maintained. Pruning regimes, in which 40% of live crown is maintained, cause acceptable losses of DBH development. In relation to height, light pruning can stimulate trees to grow more in height than unpruned trees, but heavy pruning can stunt height growth in relation to unpruned trees. Pruning affects the stem form and a heavier one can generate stems more cylindrical stems. The data of the experiments were grouped in three distinct pruning groups: one, two or three pruned logs per tree. Using age, dominant height and crown length as independent variables, the development in height and DBH were modeled for pure and mixed pruning regimes for the three pruning groups. Total height and DBH were projected to the age of 22 years, and using the integral of the tapering function adjusted to each pruning group, clear wood production was estimated. The pruning regime that produced the greatest amount of clear wood was the one in which all the trees were pruned to a height of 5,75m (2 pruned logs of 2,8m), while the regime that produced the greatest amount of wood was the one where all the trees were pruned to a height of 2,95m (1 pruned log of 2,8m).

²Adviser: Dr. José Roberto Soares Scolforo - UFLA.

CAPÍTULO 1

1 Introdução geral

Madeiras tradicionais, provindas de antigas florestas naturais, têm sido o principal produto florestal mundial por anos, mas estas madeiras estão ficando escassas. No futuro, madeira para o comércio internacional será provinda, principalmente, de plantios florestais. Na América Latina existem 12 milhões de hectares de florestas plantadas, com projeções de 17 milhões até 2020. Reflorestamentos têm sido praticados com sucesso em países que adotam incentivos fiscais para o desenvolvimento florestal, como no Brasil, Chile, Costa Rica e Uruguai (Ladrach, 2005).

Na América do Sul, o reflorestamento tem crescido rapidamente. Até 2006, o Uruguai possuía 751.000 hectares de floresta plantada, comparada a 197.000 hectares em 1990 (FAO, 2006). Este aumento da área florestada foi fruto da lei nº 15.939, aprovada em 1987, que destina incentivos fiscais de cerca de US\$ 100 para cada hectare de floresta plantada nos solos de prioridade florestal. O valor de exportações florestais do Uruguai aumentou de US\$ 13 milhões, em 1990, para US\$ 102 milhões, em 2000, sendo 48% destinadas a celulose e papel, 41% a toras e 11% de outros produtos madeireiros, incluindo madeira serrada (Ladrach, 2005).

Atualmente, no Uruguai, cerca de 206.361 ha de *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda* e *P. elliottii* têm sido manejados, para a produção de madeira livre de nós. Esses plantios estão concentrados principalmente na região norte do Uruguai, nos departamentos de Rivera, Artigas e Tacuarembó.

Estes plantios são manejados em um sistema caracterizado por várias intervenções silviculturais, ou seja, o foco é dado às árvores individuais e, não ao talhão. O manejo intensivo é caracterizado por executar várias intervenções silviculturais, ao longo da vida do povoamento, sendo este então um manejo mais caro do que o convencional. Por este ser um manejo mais caro, para um projeto florestal manejado neste sistema ser economicamente viável, o produto

provindo deste deverá também ter um valor mais alto. Esta valorização do produto final é obtida por meio de desbastes, para obtenção de madeira mais grossa e podas para produção de madeira livre de nós.

Segundo Bertoloti et al. (1983), um dos maiores problemas encontrados na produção de madeira para serraria nos EUA, é a ocorrência de defeitos internos no fuste, não sendo possível detectá-los, quando a árvore ainda está em pé. Como consequência, grande soma de recursos é aplicada na exploração, transporte, secagem e desdobro da madeira de baixa qualidade. Torna-se imprescindível, portanto, a aplicação correta de diferentes técnicas de desbaste e desrama, visando à obtenção de madeira com boa qualidade para serraria, laminação ou faqueado.

Com o grande desenvolvimento do setor florestal e o aumento da demanda de mercado por produtos madeireiros, torna-se cada vez mais importante o emprego de técnicas adequadas de inventário e manejo florestal, com a finalidade de se realizar um diagnóstico mais completo e preciso da produção. Assim, o uso de tais técnicas influenciará positivamente no planejamento e nas tomadas de decisões, contribuindo, conseqüentemente, para o sucesso do empreendimento como um todo (Ferreira, 2004). Torna-se, portanto, importante o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção que incluam o desbaste e a poda como variável.

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar um sistema de prognose para plantios de *Pinus taeda* conduzidos sob manejo intensivo. O Capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os vários temas abordados neste trabalho. O Capítulo 2 mostra o desenvolvimento e validação do sistema de prognose, bem como a simulação do primeiro desbaste comercial. O Capítulo 3 aborda o tema das podas, seu efeito na forma e crescimento das árvores, além de apresentar uma maneira de modelar o desenvolvimento do diâmetro à altura do peito em plantios submetidos a diferentes regimes de manejo.

2 Referencial Teórico

2.1 Conceitos básicos sobre modelos

Segundo Vanclay (1994), um modelo de crescimento é uma abstração da dinâmica natural de um povoamento natural, podendo englobar crescimento, mortalidade e outras mudanças na composição e estrutura do povoamento. O termo “modelo de crescimento” comumente usado, geralmente refere-se a um sistema de equações, que podem prever o crescimento e produção de um povoamento total, sob uma ampla variedade de condições. Assim, um modelo de crescimento pode abranger uma série de equações matemáticas, os valores numéricos encaixados nestas equações, a lógica necessária para ligar estas equações de uma forma significativa e a programação computacional necessária, para implementar o modelo em um computador.

Os modelos são abstrações do sistema real. Eles permitem inferir sobre mudanças ocorridas na estrutura e na produtividade dos povoamentos, permitindo atualizar dados passados e projetar os povoamentos no futuro, sendo esta a razão principal para um contínuo interesse em seu estudo (Abreu, 2000).

Para Vanclay (1994), os modelos de crescimento ajudam os manejadores florestais de muitas maneiras, como na habilidade de prever produções futuras e explorar opções silviculturais.

Os modelos são usados para observar as consequências das previsões, que se forem feitas naturalmente seriam muito complicadas, tomariam muito tempo ou não poderiam ser realizadas por razões práticas ou éticas (Moscovich, 2004).

2.2 Modelos de crescimento e produção

Segundo Curtis & Hyink (1984), “crescimento e produção” são termos abrangentes, que podem incluir desde procedimentos de atualização de inventário até silvicultura quantitativa. Já “modelo de crescimento e produção” é

um sistema que afirma ser capaz de fornecer uma descrição quantitativa do desenvolvimento de um talhão, em um período de tempo, condição e tratamento.

Modelos de crescimento e produção podem ter diversas finalidades, incluindo:

1. projeções de inventários a curto prazo;
2. planejamento do manejo;
3. avaliação de alternativas silviculturais;
4. guias gerais para manejo de talhões;
5. manejo de talhões individuais;
6. descrições quantitativas de processos de crescimento.

Na elaboração de modelos de crescimento e produção, as parcelas permanentes consistem na maior fonte de informação sobre resposta a tratamentos (Curtis & Hyink, 1984). Essas parcelas fornecem o histórico completo sobre o desenvolvimento do talhão, resposta a tratamentos, danos e mortalidade. O desenvolvimento individual de árvores e talhões pode ser acompanhado por longos períodos de tempo e comparados às predições.

Segundo Burkhart et al. (1981), nos Estados Unidos a predição de produção para os chamados “Southern Pines” começou com tabelas de produção. MacKinney & Chaiken (1939 citados por Burkhart et al., 1981), foram pioneiros na aplicação de regressão múltipla, para estimar a produção de *Pinus taeda*, utilizando métodos aparentados ao utilizados atualmente.

Clutter (1963) realizou uma expressiva melhora na lógica de modelos de crescimento e produção, derivando modelos compatíveis em crescimento e produção para *Pinus taeda*. A definição de compatibilidade de Clutter (1963) era que o modelo de produção deveria ser obtido através da integração do modelo de crescimento.

Os modelos de crescimento e produção para povoamentos desbastados seguiram a mesma linha de desenvolvimento que os modelos para povoamentos

não desbastados e, assim, como os primeiros podem ser divididos em: modelos globais (ou para o povoamento) e modelos por classe de diâmetro.

2.2.1 Modelos globais

Na abordagem empregada em modelos em nível de povoamento, um valor agregado de volume do talhão é estimado, utilizando-se variáveis em níveis de povoamento (como idade, índice de sítio, área basal ou número de árvores), mas nenhuma informação da distribuição do volume em classes de tamanho é fornecida (Burkhardt et al., 1981).

Um modelo, para contemplar crescimento e produção de povoamentos desbastados foi desenvolvido por Pienaar (1979), para *Pinus elliottii*. Nesse modelo o crescimento e a produção, em área basal, para os povoamentos desbastados são derivados de povoamentos não desbastados, que possuam a mesma idade, índice de sítio e número de árvores por hectare, do que o povoamento desbastado imediatamente após o desbaste. A estimativa do crescimento após o desbaste é obtida pelo ajuste e projeção do crescimento para o povoamento não desbastado e, em seguida, descontado de um “índice de supressão” que atuava no povoamento não desbastado. O índice de supressão é definido como a diferença entre área basal por hectare da plantação não desbastada e a desbastada, dividida pela área basal não desbastada. Neste método, diferentes intensidades e métodos de desbaste podem ser avaliados.

Hasenauer et al. (1997), aplicaram a metodologia do índice de supressão para talhões nativos de *Pinus taeda*, utilizando dados de áreas sem desbaste, com desbaste leve (30% da área basal removida) e desbaste pesado (50% da área basal removida). Conforme o esperado, o índice de supressão reduziu após 12 anos de desbaste, indicando que a área basal dos plantios desbastados, tende a se igualar às dos plantios não desbastados, fato que ocorre, quando o valor do índice é igual à zero. Os valores médios do índice de supressão variaram de 0,29

a 0,16, para desbastes leves, logo após e 12 anos após o desbaste respectivamente. Para desbastes pesados, os valores variam de 0,41 a 0,25 logo após e 12 anos após o desbaste respectivamente.

Estudando o crescimento e a produção em populações desbastadas de *Pinus elliotti* na África do Sul, Pienaar et al. (1985), adotando um enfoque diferente do índice de supressão, propuseram inserir dentro de um modelo de área basal, uma variável para a intensidade do desbaste. O enfoque agora foi dado ao número de árvores removidas e remanescentes e não a área basal. Outra característica interessante da variável de desbaste inserida no modelo é contemplar, também, a idade onde o desbaste foi aplicado, que não era inserida no índice de supressão. Os dois modelos, de predição e projeção, ajustados pelos autores foram satisfatórios, quando aplicados a áreas com e sem desbaste.

2.2.2 Modelos por classe diamétrica

A prognose da distribuição diamétrica é muito utilizada, para o planejamento florestal, visando orientar as atividades do manejador a respeito do volume de madeira por classes diamétricas nas diferentes idades do povoamento (Corte et al., 2004).

Segundo Burkhart et al. (1981), na abordagem de modelos por classe diamétrica, o número de árvores por hectare em cada classe diamétrica é estimado através do uso de uma função densidade de probabilidade, fornecendo a frequência relativa de árvores em cada classe diamétrica. A altura total média é estimada para árvores de uma determinada classe diamétrica, crescendo em condições determinadas e o volume por classe diamétrica é calculado, usando a altura média estimada e o valor central da classe diamétrica, sendo esses valores inseridos em um modelo de volume. Valores de produção por hectare são obtidos somando-se os volumes das classes diamétricas de interesse. Apenas valores no nível de talhão (como idade, índice de sítio, área basal ou número de

árvores) são necessários como valores de entrada, mas valores detalhados de distribuição diamétrica do talhão é obtido como variável de saída. Os vários modelos de distribuição de diâmetros diferem, principalmente, na função usada para descrever a distribuição do diâmetro. Nas aplicações iniciais desta técnica para *Pinus taeda* usava-se a função distribuição de probabilidade beta, enquanto que, trabalhos mais recentes utilizam a função de Weibull. Alguns exemplos de trabalhos que utilizam a função de Weibull, para simular desbastes são: Burkhart et al. (1981); Cao et al. (1982); Cao & Burkhart (1984); Scolforo (1990); Scolforo & Machado (1999); Scolforo et al. (2001); Maestri (2003), entre outros.

Cao (1982) mostrou como a função de Weibull pode ser flexível para simular diferentes tipos de desbaste. Caso o desbaste seja por linha, basta descontar de cada classe diamétrica, o valor percentual removido em área basal ou em número de indivíduos. Já, quando o desbaste for por baixo ou misto, não se deve utilizar a função de distribuição de probabilidade completa e, sim, a função truncada. Desbastes de seleção podem ser simulados, assumindo que a proporção das árvores removidas assume a distribuição j-reverso, que caracteriza a remoção de muitas árvores nas menores classes de diâmetro e poucas árvores nas maiores. Para combinações de diferentes tipos de desbaste, basta aplicar um tipo de desbaste, após o outro de uma maneira sequencial.

2.3 Validação de modelos

De acordo com Davis & Johnson (1987), nenhum sistema de projeção pode representar perfeitamente o sistema real modelado. Portanto, pouco é obtido em provar que um sistema de projeção é uma cópia inexata do sistema real. Ao contrário, os usuários devem se preocupar com a qualidade de um sistema de projeção, quando comparado às alternativas disponíveis. Frequentemente, o problema é decidir se um novo sistema é melhor do que o usado atualmente.

Para Soares et al. (1995), a avaliação de modelos pode ser dividida em duas categorias: a de verificação e validação. Durante a verificação testam-se os modelos contra a base de dados que o gerou, enquanto que a validade consiste em comparar os modelos com uma base de dados independente da que a gerou (benchmark).

Segundo Vanclay & Skovsgaard (1997), quando uma base de dados independente, para a validação não é disponível, uma opção pode ser dividir a base de dados em duas: uma para ajustar o modelo e outra para validá-lo. Assim, um dilema surge entre escolher as melhores estimativas dos parâmetros possíveis (usando todos os dados para o ajuste) ou as melhores estimativas de precisão (reservar alguns dados para validação). Duas opções são sugeridas por Vanclay & Skovsgaard (1997), para contornar este dilema:

1. ajustar o modelo usando uma parte dos dados, testar o modelo contra o restante e por fim reajustar usando todos os dados;
2. utilizar técnicas de re-amostragem como a validação cruzada.

Quando a primeira opção é escolhida, cuidados devem ser tomados na hora de separar os dados para validação. Os testes mais convincentes de validação são obtidos, quando os dados separados são independente espacialmente (local diferente), silviculturalmente (diferente regime de manejo), temporalmente (mais recente) ou logisticamente (coletado por um agencia diferente).

2.4 O desbaste no crescimento florestal

O desbaste representa o meio primário pelo qual a produção dos povoamentos podem ser aumentada além do melhor nível que pode ser atingido sob condições naturais. Um dos objetivos do desbaste é manejar a produção de madeira por árvores individuais e a produção agregada do povoamento. Na medida em que os povoamentos não manejados crescem, o espaço do sítio é

realocado para diferentes árvores, principalmente, em razão da competição. O desbaste é uma intervenção direta nesse processo de realocação através da eliminação de alguns indivíduos, adicionando, portanto, força competitiva para outros indivíduos. O mais importante fato a ser notado é que o volume cúbico total de madeira, que pode ser produzido por um dado povoamento num determinado espaço de tempo, pode ser reduzido, mas raramente aumentado pelo desbaste, entretanto, o inverso ocorre com o volume individual das árvores (Smith, 1997). Porém, se considerar o crescimento cumulativo (árvores remanescentes mais as removidas em desbaste) o valor da área basal de áreas desbastadas pode ser superior aos de áreas não desbastadas, conforme relatado por Harrington (2001a), estudando plantios de *Pinus taeda* com 18 anos de idade, 5 anos após o desbaste. Ainda de acordo com este autor, o desbaste pode aumentar o valor do talhão de duas maneiras: comercializando árvores que iriam morrer e apodrecer e focando o crescimento em volume para árvores com maior probabilidade de aumentar de valor comercial.

De acordo com Nebeker et al. (1985) existem três métodos para se determinar quais árvores devem ser favorecidas e quais devem ser removidas no desbaste, são eles: os métodos seletivos, os métodos mecânicos e a combinação entre os dois.

Para os métodos seletivos, as árvores a serem removidas são marcadas individualmente, com base, principalmente, na posição de sua copa. Contudo, outras considerações podem ser observadas, como árvores danificadas por doenças, insetos ou vento. O método seletivo engloba os métodos europeus clássicos de desbaste por baixo, desbaste de copa e desbaste seletivo. Segundo Assman (1970), no desbaste por baixo, as árvores dominadas são as removidas primeiro, objetivando uma estrutura remanescente de apenas uma classe de posição de copa. Nos desbastes de copa, o ataque primário é feito nas árvores

dominantes, objetivando uma estrutura remanescente de várias classes de copa. Já o desbaste seletivo tem como objetivo a liberação dos melhores indivíduos.

Para os métodos mecânicos, as árvores são removidas com base na sua posição, onde pouca ou nenhuma consideração é dada à posição da copa. Desbastes em linha são os principais exemplos deste tipo de desbaste. O desbaste em linhas é realizado com o objetivo de facilitar, operacionalmente, outros tratamentos silviculturais, uma vez que a retirada de uma linha de plantio facilita a entrada de máquinas. É importante notar que no desbaste em linha, a distribuição diamétrica não muda e o número de árvores, área basal e volume por classe diamétrica são reduzidos na mesma proporção de árvores removidas no desbaste.

A combinação entre os desbastes seletivos e em linha é caracterizada por: primeiro se aplicar o desbaste por linha e, em seguida, o desbaste por baixo. As desvantagens biológicas do desbaste em linha (a remoção tanto de indivíduos superiores quanto indivíduos inferiores) podem ser superadas pelos desbastes mistos.

Brooks & Bailey (1992) abordaram os efeitos do desbaste em características florestais, para *Pinus taeda* e *P. elliottii*, uma síntese é apresentada a seguir:

1. mortalidade – tende a ser menor em áreas desbastadas do que em áreas não desbastadas, mas depende do tipo de desbaste aplicado. Desbastes seletivos por baixo reduzem mais a mortalidade do que desbastes por linha, pois nos desbastes por baixo os indivíduos suprimidos e doentes são removidos;

2. diâmetro quadrático – é maior em áreas desbastadas do que em áreas sem desbaste. O diâmetro médio aumenta inversamente à densidade do talhão, porém este aumento no incremento tende a cair assim que os espaços vazios são preenchidos pelo talhão. O percentual de árvores em talhões desbastados que atendem ao pré-requisito de diâmetro de um determinado produto é maior do

que em áreas não desbastadas, aumentando o valor comercial de áreas desbastadas;

3. altura dominante – é afetado muito pouco por desbastes, exceto para reduções pós-desbaste de curto período que é resultado da realocação de carboidratos para o crescimento em diâmetro de copa;

4. volume do talhão – É menor para áreas desbastadas, porém o volume comercializável, especialmente para madeira serrada, é maior para áreas desbastadas.

O tipo de desbaste influencia no crescimento e dimensionamento das variáveis dendrométricas e qualquer tentativa de modelar o crescimento de florestas desbastadas deve incluir, necessariamente, o tipo de desbaste efetuado.

2.5 A poda como operação silvicultural

Um povoamento florestal conduzido em espaçamento reduzido estimula a desrama natural, tendo como consequência o aumento da qualidade de madeira pela formação de madeira sem nós. Entretanto, este processo é lento. Na maioria das espécies, os galhos mortos permanecem por longo período aderidos ao tronco, fator desfavorável à qualidade do lenho, dada a inclusão no tronco de grande parte da ramificação lateral, vindo a formar os nós mortos, negros ou soltadiços. A elevada densidade de árvores em um povoamento concorre para o favorecimento da desrama, mas ocasiona uma diminuição do crescimento em diâmetro das árvores, o que pode ser, de acordo com o objetivo do manejo, desfavorável à condução do povoamento. A desrama artificial e o desbaste surgem, então, como meios para conciliar a necessidade de produzir árvores com diâmetros convenientes e com lenho de maior qualidade (Schneider et al., 1999).

A decisão para podar ou não um plantio deve levar em consideração as características da espécie, do talhão e do sítio, bem como considerações econômicas. Além disso, a poda não pode ser considerada isolada das outras

operações silviculturais. Operações de desbaste devem ser uma parte integral do planejamento de qualquer operação de poda. Para a operação de poda ter sucesso econômico, as árvores podadas devem produzir um volume de madeira de alta qualidade (livre de nós), que justifique os gastos adicionais (Montagu et al., 2003). Portanto, pode-se concluir que a aplicação ou não de podas deve ser analisada economicamente, sendo que os gastos adicionais na poda devem ser compensados por produtos de preço mais altos. A poda deve ser realizada a alturas que completem o tamanho de uma tora comercial, pois o aumento de preço por toras podadas não se aplica às toras onde apenas metade foi podada (Viquez & Pérez, 2005). Montagu et al. (2003) mostram a relação de preço com diâmetro de toras e realização de podas para madeira de *Pinus* sp., indicando a maior rentabilidade de toras podadas e grossas (Figura 1).

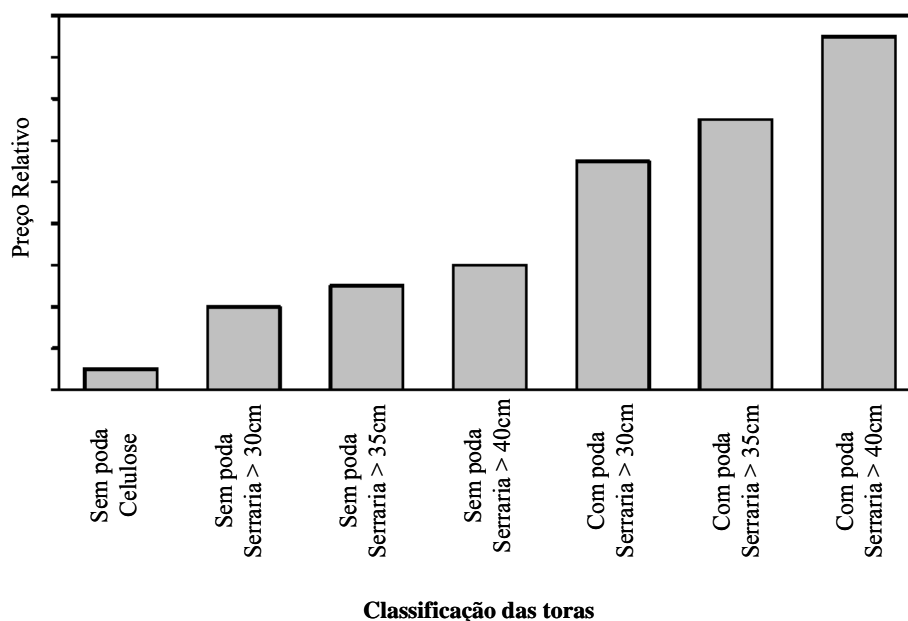


FIGURA 1 A relação entre diâmetro de toras e madeira livre de nós e preço relativo para madeira de *Pinus* sp. Adaptado de Montagu et al. (2003).

Altsuler (2003) dá um bom exemplo de um regime operacional de poda aplicado a plantios de *Pinus taeda* e *elliotti* na região norte do Uruguai. De acordo com o autor, o diâmetro máximo do cilindro nodoso aceito é de 15cm, sendo as podas realizadas, preferencialmente, no período de março a agosto. A estratégia adotada é de atingir duas toras livres de nó por árvore (5,4m de altura de poda), realizando quatro campanhas de poda. Para garantir o cilindro nodoso de 15cm, a primeira poda é realizada quando, a média dos diâmetros à altura do solo do plantio atingir 12cm. A segunda poda é realizada quando, o média dos diâmetros abaixo do primeiro verticilo não podado atingir 12cm. A terceira e quarta poda são realizadas quando, a média dos diâmetros abaixo do primeiro verticilo não podado atingir 13cm. Em respeito à altura de poda, na primeira e segunda poda são deixados 50% de copa verde, em relação à altura total da árvore. Na terceira poda este número é reduzido para 40% de copa verde remanescente, em relação à altura total da árvore. Na quarta poda, também, é deixado 40% de copa verde remanescente, mas este valor pode ser reduzido para garantir a segunda tora, ou seja, todas as árvores sadias do talhão são podadas até 5,4m na quarta poda.

2.5.1 Influência da poda no crescimento da árvore

Cuidados devem ser tomados, quando se poda árvores no sentido de não retirar muita copa viva, pois se corre o risco de afetar, severamente, o incremento em volume destas árvores, comprometendo o sucesso do empreendimento como um todo. Montagu et al. (2003) relatam que a quantidade de copa viva que pode ser removida de uma árvore sem causar redução no crescimento varia entre 30 a 50%, dependendo da espécie, onde espécies de crescimento mais lento devem receber podas menos intensas.

Estudando o efeito de diferentes regimes de poda no crescimento em diâmetro a altura do peito para *Pinus elliottii*, Schneider et al. (1999); Hoppe &

Freddo (2003) atestam que podas de 40% da altura total da árvore são as que menos causam redução no crescimento, comparadas à testemunha sem poda.

Considerando o *Pinus taeda*, para maximizar o crescimento e vigor das árvores uma razão de copa de 40% da altura total deve ser mantida, de acordo com Harrington (2001b) e Dean & Baldwin (1993).

Para o crescimento em altura, a poda tem menor influencia, quando comparada ao diâmetro a altura do peito. Young & Kramer (1952) mostram que para *Pinus taeda* a diferença no incremento do diâmetro é bastante afetado comparando podas de 50% de copa remanescente com podas de 35% de copa remanescente, enquanto o crescimento em altura teve pouca diferença.

Em um sistema de prognose para florestas submetidas a desbaste e podas, é fundamental quantificar a redução no crescimento provocado pela remoção da copa viva.

Neilsen & Pinkard (2003) tiveram sucesso em explicar a variação de incremento médio anual em diâmetro, em relação ao comprimento de copa, através de uma equação de parábola ($R^2 = 96\%$), analisando um experimento de diferentes severidades e épocas de poda localizado na Austrália.

2.5.2 Influência da poda na forma da árvore

Young & Kramer (1952) avaliaram o efeito de três tratamentos de poda no crescimento em diâmetro, em um plantio de *Pinus taeda*, com 13 anos de idade. Os três tratamentos eram 50, 35 e 20% de copa viva remanescente, em relação à altura total da árvore. Como na época da instalação do experimento, a maioria das árvores possuía aproximadamente 50% de copa viva, este tratamento foi considerado como uma testemunha sem poda. Para avaliar o comportamento do diâmetro, ao longo do fuste da árvore, bandas dendrométricas foram instaladas em quatro posições de cada árvore que compunham o experimento. As posições eram, na altura do peito, a 50% da altura total, a 65%

da altura total e a 80% da altura total. Como era esperado, a diferença entre o crescimento do diâmetro do fuste, abaixo da copa, para os três tratamentos foi bem nítida. Para o crescimento em diâmetro dentro da copa (na posição a 80% de altura da árvore) esta diferença foi bem menor, conforme ilustrado na Figura 2.

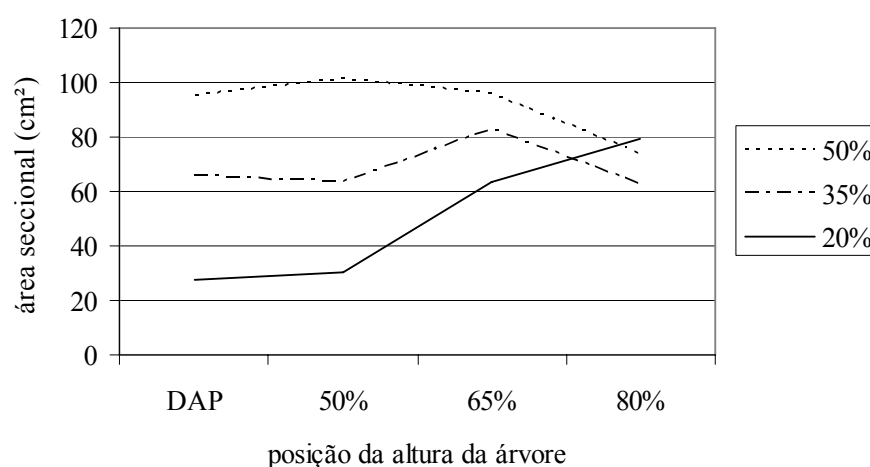


FIGURA 2 Crescimento médio por árvore em área seccional, por posição na árvore e classes de copa. Adaptado de Young & Kramer (1952).

Observa-se na Figura 2, que apesar das árvores que sofreram podas mais severas apresentarem menor crescimento nas porções inferiores do fuste, nas alturas superiores das árvores esse crescimento pode ser até superior, o que acarreta, em fustes menos cilíndricos. Um resultado interessante pode ser observado na Figura 2, onde se pode ver que o tratamento que recebeu as podas mais severas (20% de copa remanescente) apresentou o maior crescimento a 80% da altura da árvore.

Os resultados obtidos no trabalho de Young & Kramer (1952) inspiraram Labyak & Schumacher (1954) a estudarem mais a fundo as relações entre posição da copa viva e crescimento ao longo do fuste da árvore. Um

experimento com nove diferentes tratamentos de poda foi instalado em um plantio de *Pinus taeda* com 15 anos. Os nove tratamentos consistiam em deixar de 10 a 90% de copa viva, em intervalos de 10%. Foram realizadas mais duas podas, para manter as respectivas proporções de copa e aos 30 anos de idade, dez árvores de cada tratamento foram abatidas. Análises de tronco foram feitas em varias partes do fuste das árvores abatidas, para acessar o crescimento anual em um período de cinco anos. Utilizando dados sobre a posição, comprimento e ramificação de cada galho da árvore, os autores fizeram varias inferências interessantes sobre quanto cada galho é responsável na alocação do crescimento ao longo do fuste. As conclusões dos autores foram: i. com exceção a base da árvore, o crescimento é maximizado na base da copa da árvore (o que explica o comportamento da Figura 2). ii. Um galho na posição superior da altura (10%) contribui, principalmente, com crescimento próximo a ele, enquanto galhos nas posições inferiores contribuem para o crescimento mais distribuído ao longo do fuste. iii. Galhos com poucas ramificações localizados abaixo de 50% da altura da árvore quase não contribuem com o crescimento do fuste. iiiii. Os galhos que mais contribuem para o crescimento da árvore estão localizados na altura 15% do topo da árvore. Com estas conclusões os autores afirmaram que apesar do maior volume ser gerado por árvores com maiores proporções de copa viva, a proporção de copa que gera a maior quantidade de madeira livre de nó é a de 40%, em relação à altura total. Os autores também alegam que apesar do crescimento uma floresta com 30% de copa verde gerar 11% menos volume de madeira livre de nó do que uma de 40% de copa verde, esse declínio na produção volumétrica pode ser compensado pelo fato que maiores podas geram árvores mais cilíndricas.

Cientes da influência do tamanho da copa verde, na forma do fuste das árvores, Burkhart & Walton (1985) tentaram inserir a variável razão de copa sobre a altura total, em equações tradicionais de função de afilamento para *Pinus*

taeda. Para realizar o ajuste das equações, as árvores foram agrupadas em diferentes classes de copa. Os autores afirmam que apesar de ganho na precisão, este foi muito pequeno para justificar a inclusão da variável. Como este experimento foi feito em um plantio não desbastado, os autores recomendam o teste desta metodologia em áreas desbastadas.

2.6 Considerações sobre diferentes bases de dados aplicados na modelagem de sistemas de prognose

Para descobrir o que acontece com um sistema quando interferimos nele, é necessário interferir nele, Box (1966). Esta frase descreve bem o que ocorre, quando se quer modelar algo como diferentes regimes de poda. Geralmente, os dados que se têm disponíveis para desenvolver o sistema são provenientes de inventários florestais e, provavelmente, irá representar apenas um regime de poda, ou seja, o regime que é adotado operacionalmente. Como se pode, então, descobrir o que ocorre com a floresta se o seu regime de poda for alterado? Curtis & Hyink (1984) alegam que existem dois tipos de classe de dados em casos como este: denominados “tendência de crescimento” e “resposta de tratamento”.

“Tendência de crescimento” se refere à informação do crescimento ocorrendo, pontualmente, na floresta operacional, sob determinado regime de manejo. Esta informação vem de inventários e parcelas permanentes que amostram as condições atuais da floresta operacional. Pode ser usado para desenvolver modelos de crescimento e produção, porém, possui limitações. As únicas condições amostradas são aquelas que existem na floresta operacional, o que gera pouca confiança na extrapolação de possíveis regimes de manejo e condições futuras diferentes da floresta atual.

“Resposta de tratamento” se refere à mudança no crescimento resultante de um tratamento específico aplicado a um talhão em condições definidas. Boas estimativas da resposta do tratamento são essenciais para quaisquer modelos que

afirmam poder providenciar comparações quantitativas de resultados de possíveis tratamentos alternativos e regimes de manejo.

O que ocorre na construção de um sistema de prognose é que esse será baseado, principalmente, em medições de parcelas permanentes e, quando se necessita flexibilizar o sistema pode-se aplicar dados e tendências oriundas de experimentos, retratando diferentes regimes de manejo.

3 Referências Bibliográficas

- ABREU, E. C. R. **Modelagem da prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. 2000. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ALTSULER, S. Tecnologia aplicada por Colonvade S. A. en la plantación forestal. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, 2003, Concordia. **Anais...** Concordia: Estación Experimental Agropecuaria Concordia, 2003. p. 23-24.
- ASSMAN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon, 1970. 506 p.
- BERTOLOTI, G.; SIMÕES, J. W.; NICOLIELO, N. Efeitos de diferentes métodos e intensidades de desbaste na produtividade de *Pinus caribaea* var *hondurensis* Barr. et Golf. **IPEF**, Piracicaba, n. 24, p. 47-53, ago. 1983.
- BOX, G. E. P. Use and abuse of regression. **Technometrics**, Alexandria, v. 8, n. 4, p. 625-629, 1966.
- BROOKS, J. R.; BAILEY, R. L. **A review of thinning for slash and loblolly pine in the South**. Athens, Georgia: University of Georgia, 1992. (Plantation Management Research Cooperative Technical Report, 1).
- BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for Loblolly Pine**. Virginia: Polytechnic Institute, State University, 1981. (Publication, FWS-2-81).
- BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D.; WALTON, S. B. Incorporating crown ratio into taper equations for loblolly pine trees. **Forest Science**, Bethesda, v. 31, n. 2, p. 478-484, 1985.
- CAO, Q. V. A segmented diameter distribution method for modeling thinned stands. In: SOUTHERN SILVICULTURAL RESEARCH CONFERENCE, 1982, Atlanta. **Proceedings...** Asheville: USDA, 1983.
- CAO, Q. V.; BURKHART, H. E. A segmented distribution approach for modeling diameter frequency data. **Forest Science**, Bethesda, v. 30, n. 1, p. 129-137, 1984.

CAO, Q. V.; BURKHART, H. E.; LEMIN JÚNIOR, R. C. **Diameter distribution and yields of thinned loblolly pine plantations**. Virginia: Polytechnic Institute, State University, 1982. 62 p. (Publication, DWS-1-82).

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.

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

CURTIS, R. O.; HYINK, D. M. Data for growth and yield models. In: GROWTH AND YIELD AND OTHER MENSURATIONAL TRICKS: A REGIONAL TECHNICAL CONFERENCE. 1984. **Proceedings ...** Logan, Utah: USDA, 1984. p. 6-7.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p.

DEAN, T. J.; BALDWIN C. **Using a density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations**. New Orleans: USDA, 1993. (Research paper, SO-275).

FAO. **Global planted forests thematic study: results and analysis**. Rome, 2006. (Forests and Trees Working Paper, 38).

FERREIRA, M. Z. **Estudo de funções de afilamento para representar o perfil e o volume do fuste de *Pinus taeda* L.** 2004. 196 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

HARRINGTON, T. B. **Silvicultural basis for thinning souther pines: concepts and expected responses**. Athens, Georgia: University of Georgia, 2001a. 13 p. (Forestry Commission, Report - FS001).

HARRINGTON, T. B. **Silvicultural basis for thinning souther pines: method, intensity, and timing**. Athens, Georgia: University of Georgia, 2001b. 17 p. (Forestry Commission, Report - FS002).

HASENAUER, H.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. Basal area development in thinned and unthinned loblolly pine plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 27, n. 2, p. 265-271, Feb. 1997.

HOPPE, J. M.; FREDDO, A. R. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm, no município de Piratini, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 47-56, 2003.

LABYAK, L. F.; SCHUMACHER, F. X. The effect of repeated pruning on meter and height growth of planted slash pine. **Journal of Forestry**, Washington, v. 52, n. 5, p. 333-337, May 1954.

LADRACH, W. E. Reforestation. In: CONFERENCES BY WILLIAM E. LADRACH, 2005, Bogotá. **Annales...** Bogotá: Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, 2005.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MONTAGU, K.; KEARNEY, D.; SMITH, G. **Pruning Eucalypts**: the biology and silviculture of clear wood production in planted eucalypts. Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2003. 36 p. (Publication, 02/152).

MOSCOVICH, F. A. **Modelos de crecimiento y producción forestal**. Montecarlo: Estación Experimental Agropecuaria, 2004. 40 p. (Informe Técnico, 55).

NEBEKER, T. E.; HODGES, J. D.; KARR, B. K.; MOEHRING, D. M. **Thinning practices in Souther Pines**: with pest management recommendations. New York: USDA, 1985. (Technical Bulletin, 1703).

NEILSEN, W. A.; PINKARD, E. A. Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 33, n. 11, p. 2067-2073, 2003.

PIENAAR, L. V. An approximation of basal area growth after thinning based on growth in unthinned plantations. **Forest Science**, Bethesda, v. 25, n. 2, p. 225-232, 1979.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D.; GRIDER, G. E. Predicting basal area growth in thinned slash pine plantations. **Forest Science**, Bethesda, v. 31, n. 3, p. 731-741, 1985.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm, implantado em solo pobre, no estado do rio grande do sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-46, 1999.

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***. 1990. 290 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. A model for evaluation of the forest growth and yield with thinning simulator. In: EMPIRICAL AND PROCESS-BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION, 1997, Oeiras. **Proceedings...**Lisboa: IUFRO, 1999.

SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desrama para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 121-139, 2001.

SMITH, D. M.; LARSON, B. C.; KELTY, M. J.; ASHTON, P. M. S. **The practice of silviculture: applied forest ecology**. 9th ed. New York: J. Wiley, 1997. 524 p.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 71, n. 3 p. 251-265, Feb. 1995.

VANCLAY, J. K. **Modeling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Evaluating forest growth models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 1-12, May 1997.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Silva Fennica**, Helsinki v. 39, n. 3, p. 381-390, 2005.

YOUNG, H. E.; KRAMER P. J. The effect of pruning on the height and diameter growth of loblolly pine. **Journal of Forestry**, Washington, n. 50, p. 474-479, 1952.

CAPÍTULO 2

Desenvolvimento, modelagem e validação de um sistema de prognose para povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a desbastes

1 Resumo

O presente estudo mostra o desenvolvimento e validação de um sistema de prognose compatível, em área basal, a modelos de povoamento e modelos por classe diamétrica. Os dados utilizados no estudo são provindos de plantios de *Pinus taeda* L. conduzidos no sistema de manejo intensivo, localizados no norte do Uruguai, pertencentes à empresa Colonvade S.A. Um total de 1552 parcelas permanentes foram usadas, onde 163 foram reservadas para validação. Os modelos foram validados com uma base de dados independente espacialmente da base de ajuste (base de validação é localizada em uma região diferente da de ajuste) e, por último, as bases de validação e de ajuste foram reagrupadas para gerar o ajuste final dos modelos do sistema de prognose. Diferentes modelos foram testados para compor o sistema de prognose, sendo: 6 para o índice de sítio, 6 para sobrevivência, 13 para o diâmetro mínimo, 7 para a variância do diâmetro e 8 para o modelo hipsométrico. Para selecionar o modelo mais adequado à cada característica dendrométrica, foram avaliados: a distribuição dos resíduos, o erro padrão da média e, por fim, o comportamento do modelo ao longo de diferentes idades. Para atingir a compatibilidade entre os modelos globais e por classe diamétrica, o valor de área basal, advindo do modelo global (modelo de Clutter), é utilizado para estimar o diâmetro à altura do peito, que por sua vez é utilizado para estimar os parâmetros da função de distribuição de Weibull. Para avaliar a aderência entre os dados observados e os estimados com a função de Weibull, o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov foi empregado. Após a validação e ajuste final do sistema de prognose, uma simulação do primeiro desbaste comercial foi realizada. A validação mostrou que o sistema possui boa capacidade de projeção, apresentando valores de precisão e acurácia satisfatórios e, no teste de Kolmogorov-Smirnov, apenas doze das 163 parcelas não apresentaram aderência dos dados estimados pela função de Weibull comparada aos valores observados. A simulação do desbaste mostrou que apesar dos valores prognosticados de área basal, para áreas com e sem desbaste, estarem próximos, a área basal de áreas desbastadas não ultrapassa o de áreas não desbastadas. No entanto, o valor médio dos diâmetros à altura do peito é maior para áreas com desbaste. Assim, pode-se concluir que o desbaste aumenta o crescimento das árvores individuais ao custo de seus números e crescimento em volume do talhão inteiro.

2 Abstract

This study presented the development and validation of a forecasting system compatible in basal area to whole stand and diameter class models. The data used in the study comes from intensely managed *Pinus taeda* plantations located in the north of Uruguay, belonging to Colonvade S.A. A total of 1552 permanent plots were used, of which 163 were reserved for validation. In order to conduct the validation without data loss for the modeling, a three phase validation scheme was applied. First, the equations were adjusted without the validation base. Secondly, the model validation was carried out. Finally, the data base was regrouped to recalibrate the parameter values. In order to test the best possible models to compose the forecasting system, different models were tested, of which 6 modes were tested for the site index, 6 for survival, 13 for minimum diameter, 7 for the diameter variance and 8 for the height model. To select the best model for each dendrometric characteristic, four different properties were evaluated. The first evaluation was made on the distribution of the residuals; the second and third were based on the values of the mean residual error and the coefficient of determination and the last one was based on the behavior of the model when forecasted to different ages. In order to reach the compatibility between whole stand and diameter class models, the basal area estimated from the whole stand model (Clutter's model) is used to estimate the DBH, which in turn is used to recuperate the Weibull function parameters. The Weibull function estimated the number of trees distributed in the different diameter classes. The Kolmogorov-Smirnov test was used to evaluate the statistical equality between the observed data and the estimated data by using Weibull function. After the validation and the final adjustment of the models, a simulation of the first commercial thinning was carried out. The validation showed that the system has good projection capacities. Only twelve of the 163 validation plots did not present statistical equality between the observed data and the predicted data of the Weibull function. The thinning simulation showed that, even though the forecasted values of basal area for areas with or without thinning are close, the basal area of the former does not pass the latter. However, the mean DBH values of thinned areas are larger than unthinned areas. Thus, it can be concluded that thinning increases growth of individual trees at the expense of their number and the volume growth of the entire stand.

3 Introdução

A modelagem tem uma longa tradição na área florestal. Desde quando se iniciou o manejo das florestas, surgiu o desejo de influenciar e prognosticar o crescimento, com o fim de dominar a produção da matéria-prima madeira. Esse desejo tem as suas raízes nas circunstâncias especiais da produção florestal: os longos prazos e a irreversibilidade de decisões e intervenções uma vez tomadas. Nenhum outro setor industrial tem que enfrentar tais problemas. Como é possível estimarem-se os desejos e necessidades do mercado de produtos de madeira daqui a 20 a 50 anos ou, como na Europa, em que às vezes é necessário esperar 250 anos para se cortar a floresta? Para um planejamento econômica e ecologicamente sustentável são necessárias informações sobre o crescimento, a produção e a qualidade do produto madeira e, aqui, entra em jogo a modelagem (Spathelf & Nutto, 2000).

De acordo com Burkhart et al. (1981), a escolha de um modelo adequado, para retratar o crescimento e produção de uma floresta depende do nível de detalhamento das respostas desejadas e das práticas de manejo a serem avaliadas. Enquanto modelos globais são adequados quando a floresta em questão tem o objetivo de produzir madeira para celulose ou energia, respostas mais detalhadas são desejadas quando o objetivo da floresta é produzir produtos mais nobres, como madeira livre de nós. Nesses casos modelos formulados para produzir respostas por classes diamétricas são mais indicados.

4 Objetivos

4.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema integrado, para a análise e predição presente e futura do crescimento e da produção em volume e área basal de *Pinus taeda*, compatibilizando através da área basal modelos de povoamento com modelos por classe diamétrica.

4.2 Objetivos específicos

1. Estabelecer um sistema de predição do crescimento e produção em volume e área basal ao nível de povoamento;
2. Derivar dos atributos do povoamento as distribuições diamétricas, de modo que haja compatibilidade com todo o povoamento;
3. Aplicar uma metodologia consistente, que permita a validação do sistema sem perda de informação para a modelagem.

5 Material e Métodos

5.1 Área de estudo

A área de estudo pertence a Colovade S.A., empresa situada no norte de Uruguai, que possui cerca de 60.700 ha de área plantada, sendo, 85% de *Pinus taeda* e *P. elliottii* e 15% de *Eucalyptus grandis* e *E. dunnii*. Estes plantios estão espalhados nos departamentos de Rivera, Tacuarembó e Paysandú, nas altitudes de 130 a 230m, 120 a 210m e 60 a 140m respectivamente.

5.2 Base de dados para gerar os modelos de prognose

Os dados foram obtidos por meio do Inventário Florestal Contínuo (IFC) da empresa, com parcelas permanentes de forma circular, variando de 300 a 500m². Um resumo quantitativo das parcelas é apresentado na Tabela 1, onde as parcelas permanentes estão retratadas de acordo com sua localização nas regiões e sub-regiões em que ocorrem.

TABELA 1 Número de parcelas permanentes de *Pinus taeda* nas diferentes regiões e sub-regiões em que ocorrem.

Região	Sub-região	Número de parcelas
Paysandú	Bella Vista	67
	Cerro Chato	128
Total		195
Rivera	Cerro Solito	228
	Cuñapiru	211
	Perdigon	208
	Tres Cerros	91
Total		738
Tacuarembó	Batovi	30
	El Cerro	267
	El Ombu	92
	Tres Cruces	230

...continua...

TABELA 1, Cont.

Região	Sub-região	Número de parcelas
Total		619
Total geral		1552

Estas parcelas estão, na sua grande maioria, representando até a idade de oito anos (Tabela 2). A Tabela 2 mostra apenas as parcelas permanentes medidas até 2006, pois são delas os dados mais importantes para gerar os modelos de prognose. Assim, confirma-se que o inventário é jovem demais para tê-lo como base exclusiva para o modelo, uma vez que se considera um ciclo final em torno de 22 anos e, como um adicional, os povoamentos ainda sofrerão muitas intervenções silviculturais. Para se ter uma idéia de quais serão estas intervenções, a Tabela 3 mostra a prescrição de manejo que será aplicado nos plantios, tendo em mente que esta prescrição é teórica e tende a mudar conforme a prática e capacidade produtiva do local, pois os primeiros desbastes comerciais foram iniciados recentemente (2006) para alguns plantios mais velhos.

TABELA 2 Idade das medições das parcelas permanentes medidas até 2008 por regiões.

Idade	Regiões/número de medições			Total
	Paysandú	Rivera	Tacuarembó	
<4	160	506	541	1207
4-6	369	1085	957	2411
6-8	258	750	371	1379
8-10	24	209	61	294
10-12	-	126	-	126
12-14	-	29	-	29
14-16	-	0	-	0
16-18	-	0	-	0

...continua...

TABELA 2, Cont.

Idade	Regiões/número de medições			
	Paysandú	Rivera	Tacuarembó	Total
18-20	-	2	-	2
20-22	-	2	-	2
22-24	-	2	-	2
24-26	-	4	-	4
Total	811	2715	1930	5456

TABELA 3 Prescrição de manejo de *Pinus* spp. utilizada pela Colovade.

Tratamento	Idade	Árvore ha	Altura de poda (m)	Volume comercial (m ³ /ha)
Instalação	0	1000		
Desbaste pré-comercial + 1 ^a poda	3	666	2,4	
2 ^a poda	4	666	3,6	
3 ^a poda	5	666	4,6	
4 ^a poda	6	666	5,6	
5 ^a poda	7 - 8	400	7,2	
6 ^a poda	8 - 9	400	8,5	
1 ^o Desbaste comercial	11	400		50
2 ^o Desbaste comercial	15 -17	150 - 250		120
Colheita	22 -23	0		320

5.3 Sistema de prognose

O sistema é fundamentado na recuperação dos parâmetros da função de probabilidade de Weibull, através do método de momentos estatísticos (Scolforo et al., 2001). São apresentadas, a seguir, equações testadas para: sítio, altura dominante, sobrevivência de árvores, diâmetro mínimo, variância de diâmetros e

relação hipsométrica genérica. A Figura 1 ilustra a seqüência das equações contidas no sistema.

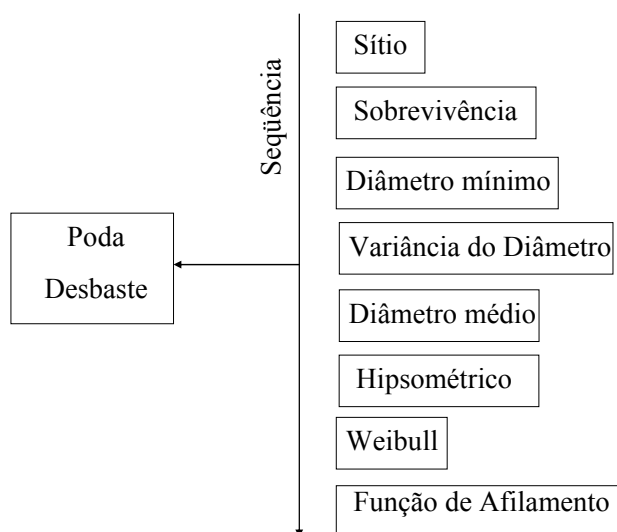


FIGURA 1 Seqüência das equações no sistema de prognose.

5.3.1 Modelos para a classificação do sítio

O modelo de sítio é tido como chave para o todo o sistema de prognose, tendo em vista que é ele que irá separar as áreas em diferentes classes de produtividade e, conseqüentemente, diferentes comportamentos e tendências de crescimento.

Assim, um cuidado especial deve ser dado à escolha da equação de sítio. Foram testadas as equações de Chapman & Richards, Schumacher e Bailey & Clutter, na forma tradicional e pela diferença algébrica, que geram curvas de sítio anamórficas e polimórficas respectivamente. As formas destas equações são:

Anamórfica

Polimórfica

Schumacher

$$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{I} + e_i \qquad H_2 = \beta_0 \cdot \left(\frac{H_1}{e^{\beta_0}} \right)^{\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^{\beta_2}} + e_i$$

Chapman & Richards

$$Hd = \beta_0 \cdot \left(1 - e^{(\beta_1 \cdot I)} \right)^{\beta_2} + e_i \qquad H_2 = \beta_0 \cdot \left(\frac{H_1}{\beta_0} \right)^{\frac{\ln[1 - \exp(\beta_1 \cdot I_2)]}{\ln[1 - \exp(\beta_1 \cdot I_1)]}} + e_i$$

Bailey & Clutter

$$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\left(\frac{1}{I} \right)^{\beta_2} \right) + e_i \qquad H_2 = \beta_0 \left\{ 1 - e^{-\beta_1 \left[\ln(1 - (H_1/\beta_0))^{\beta_1} \right]^{\left(\frac{\ln(I_2)}{I_1} \right)}} \right\} + e_i$$

Em que:

Hd₁ e Hd₂ = Alturas dominantes na idade Id₁ e Id₂, respectivamente;

Id₁ e Id₂ = Idades de medição inicial e final, respectivamente;

β's = Coeficientes dos modelos;

e_i = erro de estimativa.

Inicialmente, considerou-se realizar os ajustes estratificando-se os dados nas diferentes regiões em que ocorrem, pois este item pode influenciar a produtividade. Mas, considerando que em um ajuste de sitio é vantajoso ter os dados localizados em uma macro região, pois assim, se tem uma ampla variabilidade das classes produtivas, não foi aplicada nenhuma estratificação. A vantagem de agrupar as três regiões na mesma classificação de sitio é a possibilidade de agrupar estas regiões nos outros modelos do sistema de prognose, pois se houver uma diferença nas características dendrométricas, entre as regiões, está será explicada pela classificação de sitio.

O método para escolher a equação que melhor se ajustou para explicar a variação entre os sítios foi a análise daquela que apresentou a melhor

estabilidade, ou seja, a que menos mudou de classe produtiva (índice de sítio) durante as remedições das parcelas.

5.3.2 Modelos de sobrevivência de árvores

A estimativa da quantidade de árvores sobreviventes ou sua mortalidade, como também é referenciada na literatura, é fundamental dentro de um sistema de crescimento e produção (Maestri, 2003).

Para escolher a equação que melhor se ajustou aos dados em questão, foram ajustados oito diferentes modelos, que estão apresentados a seguir:

1. Bailey et al. (1985) modificado:

$$N_2 = N_1 (I_2/I_1)^{\beta_0} \cdot \exp(\beta_1 \cdot IS \cdot I_1 \cdot I_2) + e_i$$

2. Lenhart (1987), citado por Scolforo (1990):

$$N_2 = N_1 \cdot \exp[\beta_1(I_2 - I_1) + \beta_2(\ln(I_2/I_1))] + e_i$$

3. Lenhart (1987) modificado:

$$N_2 = N_1 \cdot \exp[\beta_0(I_2 - I_1) + \beta_1(\ln(I_2/I_1))] + (\beta_2 \cdot Hd) + e_i$$

4. Piennar & Shiver (1986), citado por Scolforo (1990):

$$\ln(N_2) = \ln(N_1) - \beta_1(I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}) + e_i$$

5. Piennar & Shiver (1986) modificado:

$$\ln(N_2) = \ln(N_1) - \beta_1(I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2}) + (\beta_3 \cdot Hd) + e_i$$

6. Derivação da Função de Weibull:

$$N_2 = N_1 \cdot \exp[-((I_2 - I_1)/\beta_1)]^{\beta_2} + e_i$$

Em que:

N_1 e N_2 = número de árvores por hectare na idade Id_1 e Id_2 , respectivamente;

I_1 e I_2 = idades de medição inicial e final, respectivamente;

Hd = altura dominante;

IS = índice de sítio;

β 's = coeficientes de regressão a serem estimados;

e_i = erro de estimativa.

5.3.3 Modelos para estimar o diâmetro mínimo

O diâmetro mínimo das parcelas é relacionado ao parâmetro de locação da função de densidade de probabilidade de Weibull, portanto, também deve ser estimado. Para tal, uma série de modelos foram testados e são apresentados a seguir:

1. Lenhart (1987), citado por Scolforo (2006):

$$\ln(D_{\min}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot Hd + \beta_2 \cdot N + e_i$$

2. Lenhart (1987), citado por Scolforo (2006):

$$\ln(D_{\min}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot (H \cdot I^{-1}) + \beta_2 \cdot N + e_i$$

3. Lenhart (1987), citado por Scolforo (2006):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Hd + \beta_2 \cdot (Hd \cdot I)^{-1} + e_i$$

4. Knoebell et al. (1986):

$$\ln(D_{\min}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot Dg + \beta_2 / N^{0,5} + \beta_3 \cdot (I \cdot Hd)^{-1} + e_i$$

5. Amateis et al. (1984), citado por Scolforo (1990):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Hd + \beta_2 (Hd/I) + e_i$$

6. Lenhart (1972), citado por Burkhart et al. (1981):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(I) + \beta_2 \cdot \ln(N) + \beta_3 (Hd)^{-1} + e_i$$

7. Lenhart & Clutter (1971), citado por Burkhart et al. (1981):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot Hd + \beta_3 \cdot N^{-1} + e_i$$

8. Burkhart et al. (1981):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Hd + \beta_2 \cdot (Hd \cdot N^{-1}) + e_i$$

9. Scolforo (1990):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot (Hd/I) + \beta_3 \cdot N + e_i$$

10. Scolforo (1990):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot I - 1 + \beta_2 \cdot (Hd/I) + \beta_3 \cdot N + \beta_4 \cdot Dg + e_i$$

11. Scolforo (1990):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot (Hd/I) + \beta_3 \cdot N + \beta_4 \cdot Dg + e_i$$

12. Scolforo (1990):

$$D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \cdot I - 2 + \beta_2 \cdot (Hd/I) + \beta_3 \cdot N + \beta_4 \cdot (Dg \cdot I) + e_i$$

Em que:

D_{\min} = Menor diâmetro da unidade de amostra;

N = Número de árvores por ha;

Hd = Altura média das árvores dominantes (100 árvores de maior diâmetro por ha);

I = Idade;

Dg = Diâmetro médio quadrático;

β 's = Coeficientes de regressão a serem estimados;

e_i = erro de estimativa.

Além destes modelos lineares múltiplos tradicionais, também foi testado um modelo não linear de projeção, imitando o modelo de altura dominante de Chapman e Richards na formulação da diferença algébrica, apresentado a seguir:

$$D \min_2 = \beta_0 \cdot \left(\frac{D \min_1}{\beta_0} \right)^{\frac{\ln[1 - \exp(\beta_1 \cdot I_2)]}{\ln[1 - \exp(\beta_1 \cdot I_1)]}} + e_i$$

5.3.4 Modelos para estimar a variância dos diâmetros

Em função da estratégia de modelagem adotada, onde se pretende obter a distribuição de diâmetros do povoamento via função probabilística de Weibull, usando método de momentos estatísticos para recuperação de seus parâmetros, um modelo para inferência da variância dos diâmetros é fundamental, pois o parâmetro de forma da distribuição probabilística é relacionado ao coeficiente de variação em diâmetro do povoamento (Maestri, 2003).

A variância dos diâmetros foi estimada utilizando os seguintes modelos:

1. Knoebell et al. (1986):

$$\ln(D_g^2 - \bar{D}^2) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \ln(G) + \beta_3(N) + e_i$$

2. Burk & Burkhart (1984), citado por Scolforo (1990):

$$\ln(D_g - \bar{D}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot Hd^{-1} + \beta_3 \cdot \ln(G) + \beta_4 G^{-1} + e_i$$

3. Cao et al. (1982), citado por Scolforo (1990):

$$\ln(D_g - \bar{D}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \ln(N \cdot G) + \beta_3 \cdot (Hd \cdot I^{-1}) + e_i$$

4. Scolforo (1990):

$$\ln(S^2 d) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(N/G) + \beta_2 \cdot Hd^{-1} + \beta_3 \cdot I^2 + e_i$$

5. Scolforo (1990):

$$\ln(D_g^2 - \bar{D}^2) = \beta_0 + \beta_1 \cdot Hd + \beta_2 \cdot \ln(G/N) + \beta_3(Hd/I) + e_i$$

6. Maestri et al. (1995):

$$\ln(S^2 d) = \beta_0 + \beta_1 \cdot Hd + \beta_2 \cdot \ln(N) + \beta_3 \cdot \ln(I) + e_i$$

Em que:

$S^2 d$ = Variância dos diâmetro;

D_g = Diâmetro médio quadrático;

\bar{D} = Média aritmética dos diâmetros;

N = Número de árvores;

I = Idade;

G = Área basal;

D_{\min} = Diâmetro mínimo;

Hd = Altura média das árvores dominantes (100 árvores de maior diâmetro por hectare);

β 's = Coeficientes de regressão a serem estimados;

e_i = erro de estimativa.

Além destes modelos lineares múltiplos tradicionais, também foi testado um modelo não linear de projeção, imitando o modelo de altura dominante de Chapman e Richards na formulação da diferença algébrica, apresentado a seguir:

$$S^2 d_2 = \beta_0 \cdot \left(\frac{S^2 d_1}{\beta_0} \right)^{\ln[1-\exp(\beta_1 \cdot I_2)] / \ln[1-\exp(\beta_1 \cdot I_1)]} + e_i$$

5.3.5 Método para estimar o diâmetro médio

Uma característica importante do sistema de prognose empregado neste estudo é a compatibilização entre a área basal advinda das classes diamétricas, com aquela estimada pelo modelo global de área basal. Portanto, o primeiro passo para estimar o diâmetro médio foi ajustar um modelo de volume global, conforme proposto por Clutter (1963) e, depois, estendido e refinado por Sullivan & Clutter (1972). O modelo ajustado foi o seguinte:

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{S} + \frac{\beta_2}{I_2} + \beta_3 \cdot \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \cdot \ln(G_1) + \beta_4 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_5 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \cdot S + e_i \quad (1)$$

Em que:

S = Índice de sítio;

V_2 = Volume por hectare na idade I_2 ;

I_1 e I_2 = Idades de medição inicial e final, respectivamente;

G_1 = Área basal por hectare na idade I_1 ;

β 's = Coeficientes de regressão a serem estimados;

e_i = erro de estimativa.

O modelo acima também pode ser descrito da seguinte maneira:

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{S} + \frac{\beta_2}{I_2} + \beta_3 \cdot \ln(G_2) + e_i \quad (2)$$

Desta maneira, pode-se isolar a área basal na idade dois (G_2) da equação (1). Esta equação possui a seguinte forma:

$$\ln(G_2) = \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \cdot \ln(G_1) + \alpha_0 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \cdot S + e_i \quad (3)$$

Em que:

$$\alpha_0 = \beta_4/\beta_3;$$

$$\alpha_1 = \beta_5/\beta_3.$$

Utilizando este modelo de projeção da área basal (3), juntamente com o modelo de sobrevivência, pode-se inferir qual será o diâmetro quadrático médio para esta população, utilizando a equação (4). Empregando a equação (4) e de posse do conhecimento que o diâmetro médio de uma população é igual ao diâmetro quadrático menos o desvio padrão desta população, pode-se estimar o diâmetro médio no futuro, conforme a equação (5).

$$Dg^2 = \frac{G}{0,0000785398 \cdot N} \quad (4)$$

$$\overline{DAP} = \{Dg^2 - Sdap^2\}^{0,5} \quad (5)$$

Em que:

G = Área basal obtida da equação (3);

N = Número de árvores obtidos no modelo de sobrevivência;

$Sdap^2$ = Variância dos diâmetros obtido do modelo de variância.

5.3.6 Função densidade de probabilidade de Weibull

A função densidade de probabilidade de Weibull pode assumir diversas formas e tem grande aplicação na explicação da distribuição diamétrica das árvores de um povoamento florestal. A função densidade de probabilidade (fdp) da distribuição Weibull é dada por:

$$f(dap) = \left(\frac{c}{b}\right) \cdot \left(\frac{dap - a}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{dap - a}{b}\right)^c\right] + e_i$$

Em que:

Em que $a \leq dap < \infty$, $a \geq 0$, $b > 0$ e $c > 0$, sendo:

a = parâmetro de locação;

b = parâmetro de escala;

c = parâmetro de forma;

dap = variável de interesse, no caso diâmetro;

e_i = erro de estimativa.

O método de ajuste selecionado foi o dos momentos que propiciam obter estimativas compatíveis entre o modelo do povoamento e o modelo por classe diamétrica, por meio da função geral de produção por classe de diâmetro, conforme descrito anteriormente.

A distribuição gamma, utilizada na função Weibull, tem a habilidade de imitar os atributos de outras distribuições, como a lognormal, baseado nos valores de distribuição dos parâmetros. O parâmetro de forma “c” é o primeiro a ser recuperado da função de Weibull, pela seguinte fórmula:

$$CV_{dap} = \frac{S_{dap}}{D} = \frac{\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}$$

Aqui, pode-se ver que para recuperar o parâmetro “c”, basta ter o desvio padrão e a média da população, que é obtido das equações previamente demonstradas. De posse do parâmetro “c”, pode-se, então, achar o parâmetro de escala “b”, pela seguinte fórmula:

$$\bar{D} = b \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$$

O parâmetro de locação “a” é estimado independentemente, sendo ele uma porcentagem do diâmetro mínimo. Testes para encontrar a porcentagem do diâmetro mínimo que melhor estima a distribuição diamétrica foram conduzidos, escolhendo aleatoriamente 100 parcelas, em 4 classes de diâmetro mínimo. Isto foi feito para avaliar a influencia do valor do diâmetro mínimo no parâmetro de locação, sendo as classes testadas menor que 10cm, entre 10cm e 20cm, entre 20cm e 30cm e maior que 30cm.

Para determinar qual diâmetro mínimo gera as estimativas mais precisas da distribuição diamétrica foi utilizado o valor do teste de Kolmogorov-Smirnov, que compara a frequência acumulada estimada com a frequência observada. O ponto de maior divergência entre as duas distribuições é o valor de Kolmogorov-Smirnov. O valor de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado de duas maneiras, obtendo a somatória dos valores que cada diâmetro mínimo gerou e, classificando o número de vezes em que o valor foi o menor entre todos testados para determinada parcela, conforme aplicado por Thiersch (1997); Palahí (2007).

5.3.7 Relação hipsométrica genérica

A relação hipsométrica ajustada por classes diamétricas é utilizada para estimar as diferentes alturas dos diferentes diâmetros obtidos através da função densidade de probabilidade. Ela é importante, pois permite, com a ajuda de uma função de afilamento, estimarem-se os diferentes volumes de multiprodutos

obtidos de uma parcela. Dessa maneira, o sistema se torna mais flexível, no sentido de gerar informações volumétricas customizadas às necessidades do manejador florestal.

A altura de cada classe diamétrica foi obtida pela aplicação de um modelo de relação hipsométrica genérico, ou seja, uma equação capaz de estimar a altura de uma classe de diâmetro qualquer, levando em consideração, também, algumas variáveis de povoamento, como: idade, altura dominante, diâmetro quadrático e diâmetro médio aritmético. A altura média foi estimada, utilizando-se os seguintes modelos:

1. Amateis et al. (1984), citado por Scolforo (1990):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_2 \cdot \ln(Hd) + \beta_3 \cdot \ln(G) + \beta_4 \cdot \ln(N) + \beta_5 \cdot \left(\frac{1}{CLD}\right) + e_i$$

2. Lenhart (1987), citado por Scolforo (1990):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \cdot \ln(N \cdot CLD) + \beta_4 \cdot \left[\frac{1}{(I \cdot CLD)}\right] + e_i$$

3. Scolforo (2006):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \ln\left(\frac{Dg}{CLD}\right) + \beta_3 \cdot \ln\left[\frac{1}{(I \cdot CLD)}\right] + \beta_4 \cdot \left(\frac{1}{CLD}\right) + e_i$$

4. Scolforo (2006):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \cdot \ln\left(\frac{Dg}{CLD}\right) + \beta_4 \cdot \left[\frac{1}{(I \cdot CLD)}\right] + e_i$$

5. Scolforo (2006):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \left(\frac{1}{CLD}\right) + \beta_3 \cdot \ln\left(\frac{Dg}{CLD}\right) + \beta_4 \cdot \left[\frac{1}{(I \cdot CLD)}\right] + e_i$$

6. Scolforo (2006):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \left(\frac{1}{CLD}\right) + \beta_3 \cdot \ln\left(\frac{N}{CLD}\right) + \beta_4 \cdot \left[\frac{1}{(I \cdot CLD)}\right] + e_i$$

7. Scolforo (2006):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \left(\frac{Dg}{CLD}\right) + \beta_3 \cdot \left[\frac{1}{(I \cdot CLD)}\right] + \beta_4 \cdot \left(\frac{1}{CLD}\right) + e_i$$

8. Scolforo (2006):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(Hd) + \beta_2 \cdot \ln\left(\frac{Dg}{CLD}\right) + \beta_3 \cdot \left[\frac{1}{(I \cdot CLD)}\right] + \beta_4 \cdot \left(\frac{1}{CLD}\right) + e_i$$

Em que:

H = Média aritmética das alturas;

N = Número de árvores por ha;

G = Área basal;

Dg = Diâmetro médio quadrático;

CLD = Valor central da classe diamétrica;

I = Idade;

Hd = Altura média das árvores dominantes e codominantes (100 árvores de maior diâmetro por ha);

β 's = Coeficientes de regressão a serem estimados;

e_i = erro de estimativa.

5.3.8 Simulador de desbaste

Afirmar que as árvores a serem removidas em um desbaste são, exclusivamente, as que apresentam os menores diâmetros é um erro. Além de apresentar um diâmetro inferior, outras características das árvores também podem torná-las aptas à remoção em desbastes, como sua saúde, forma e distribuição espacial.

Uma das ferramentas mais procuradas pelo manejador florestal é um modelo estocástico, que permita estimar o impacto das estratégias de manejo aplicadas num povoamento e que permita simular diferentes regimes de manejo (Scolforo, 1990).

O modelo que permite especificar a quantidade de área basal a ser removida, em cada classe de diâmetro, foi apresentado por Scolforo et al. (2001) e tem a forma:

$$Pi = \exp \left[b_1 \left(\frac{d_i^2}{dg^2} \right)^{b_2} \right] + e_i$$

Em que:

Pi = Proporção de área basal removida na classe de diâmetro i;

di = Centro da classe de diâmetro i;

d_g = Diâmetro médio quadrático do povoamento;
 b_1, b_2 = Coeficientes estimados com base nos dados;
 e_i = erro de estimativa.

Como os atuais dados de inventário não permitem o ajuste de um modelo como o citado acima, pois as informações de áreas desbastadas ainda são muito escassas, para simular o primeiro desbaste comercial foram utilizados parâmetros ajustados por Scolforo & Machado (1997), para *Pinus taeda*. Dentro de uma grande gama de equações disponíveis, foram testadas e escolhidas duas que podem ser aplicadas, com segurança, para os dados deste estudo, sendo uma para simular o primeiro desbaste e outra, para simular o segundo, onde apenas a expressão do primeiro desbaste foi utilizada neste trabalho. A Tabela 4 mostra os parâmetros e características das equações escolhidas, conforme apresentado em (Scolforo & Machado,1997).

TABELA 4 Parâmetros (b_1 e b_2) e características das equações, que permitem simular o desbaste, onde o R^2 é o coeficiente de determinação e o S_{yx} o erro padrão residual.

Desbaste	Número de árvores	b_1	b_2	R^2	S_{yx}
Primeiro	< 600	-0,49935	1,815105	73,27	0,026582
Segundo	< 400	-0,96824	1,362898	37,18	0,065629

Como é considerado o desbaste por baixo, a função removerá mais árvores nas menores classes de diâmetro do que nas maiores. Assim, esse modelo, quando ajustado, representa o padrão médio de remoção de cada uma das inúmeras alternativas de desbastes já praticadas na região em estudo.

Uma síntese de como efetuar a prognose é apresentada a seguir:

- predição da distribuição de diâmetros, antes do desbaste provenientes da distribuição Weibull;

- partindo das menores classes de diâmetro remover a proporção de área basal especificada pela função de remoção;
- caminha-se por meio das classes de diâmetro até que a área basal a ser removida seja obtida;
- se a desejada remoção de área basal não é obtida após se caminhar por todas as classes de diâmetro, deve-se retornar às menores classes e remover a área basal remanescente naquelas classes. Proceda-se, dessa maneira, por meio das classes seguintes, até que o desejado nível de remoção da área basal seja obtido.

5.4 Escolha dos modelos para compor o sistema de prognose

Todos os ajustes estatísticos foram realizados nos programas R (R Development Core Team, 2008) e Excel. Para a escolha do modelo que gerou a classificação de sítio, os fatores que mais pesaram foram a estabilidade de classificação que cada modelo apresentou e, a idade em que mudanças predominaram.

Para a escolha de todos os outros modelos que compuseram o sistema de prognose foi seguido o seguinte esquema:

1. análise gráfica dos resíduos;
2. parâmetros de qualidade de ajuste (S_{yx} e R^2);
3. comportamento na prognose.

Para o primeiro passo na seleção dos modelos, a análise gráfica dos resíduos, os resíduos foram plotados pelos valores ajustados. Os valores ajustados foram usados na análise gráfica dos resíduos, pois de acordo com Montgomery & Peck (1992), os valores observados possuem correlação com os resíduos, o que não ocorre com os valores ajustados.

Após a análise gráfica dos resíduos e, verificando se os parâmetros de qualidade de ajuste estavam compreendidos em faixas aceitáveis foi realizada a

prognose dos modelos. Isto foi feito com o intuito de observar a consistência lógica e o comportamento biológico das características dendrométricas, quando projetadas para limites além da base de ajuste. Quando um modelo escolhido nas fases 1 e 2 mostrava comportamento inconsistente na prognose, como um modelo de mortalidade que aumenta o número de árvores nas maiores idades, este modelo foi descartado e a escolha de outro foi feita.

5.5 Validação - Teste de benchmark

Quando se analisa a qualidade de um modelo por meio de gráficos de resíduos e erro padrão médio, apenas comparam-se os modelos com a base que os gerou, portanto, apenas seu comportamento é verificado.

Para validarem-se os modelos é necessário utilizar-se uma base de dados independente do ajuste, teste conhecido como “benchmark” (Vanclay & Skovsgaard, 1997). Para isso, utilizou-se a sub-região El Cerro, cujas características podem ser observadas na Tabela 1. Esta base para validação foi separada do ajuste dos modelos, para fornecer uma base de dados independente para avaliar o comportamento dos modelos ajustados. As equações da Tabela 5 foram utilizadas para testar a acurácia e precisão, sendo expressas pelo resíduo médio e percentual na anterior e, pelo resíduo absoluto médio e percentual para a posterior, conforme apresentado por Soares et al. (1995).

TABELA 5 Cálculos realizados para acessar a acurácia e precisão.

	Resíduo Médio	Resíduo Médio %
Acurácia	$\sum (y - \hat{y}) / n$	$100 \sum \left(\left[\frac{y - \hat{y}}{y} \right] \right) / n$
	Resíduo Médio Absoluto	Resíduo Médio Absoluto %
Precisão	$\sum y - \hat{y} / n$	$100 \sum \left(\left \frac{y - \hat{y}}{y} \right \right) / n$

Para realizarem-se os cálculos das equações mostradas na Tabela 5, a penúltima medição de cada parcela permanente de El Cerro foi utilizada para projetarem-se as variáveis dendrométricas até a última medição. Desta maneira, os valores reais puderam ser confrontados com os valores estimados. Portanto, das 267 parcelas de El Cerro, 163 possuíam ao menos duas medições e foram empregadas na validação.

Para avaliar a eficiência da função distribuição de probabilidade Weibull, os dados projetados da idade dois foram utilizados para recuperar os parâmetros e estimar a distribuição diamétrica e, depois, confrontados com a distribuição real observada, desta maneira, simulando as etapas de cálculo empregadas no sistema de prognose. Para averiguar a aderência dos valores estimados aos valores observados, o teste de Kolmogorov-Smirnov foi empregado, conforme descrito em Scolforo et al. (2008). As formulações do teste empregado são dadas a seguir:

I - cálculo da densidade relativa acumulada;

$$\frac{FAa}{na} \text{ e } \frac{FAb}{nb}$$

Onde:

FAa - frequência acumulada do diâmetro, na população observada;

na - número de indivíduo da população observada.

FAb - frequência acumulada do diâmetro, na população estimada;

nb - número de indivíduo da população estimada.

II - obter o valor da diferença (KS);

$$KS = \left| \frac{FAa}{na} - \frac{FAb}{nb} \right|$$

III - localizar o maior valor de KSMax;

IV – localizar o valor de KS tabelado;

V - comparar o valor de KS tabelado com KSMax, considerando o critério: se o valor de KSMax for maior ou igual o KS tabelado, significa que a hipótese de nulidade (H_0 : distribuição observada = distribuição estimada) é rejeitada, assumindo, assim, que as populações apresentam distribuição diferente. Caso contrário são iguais.

5.6 Ajuste final dos modelos

Depois de aplicada a validação dos modelos em uma base independente e, verificado a consistência dos mesmos, a última fase da modelagem consistiu no reajuste dos modelos com a base de dados completa (base de ajuste mais a de validação). Desta maneira, é possível detectar-se alguma inconsistência dos modelos com a validação e, mesmo assim, obter um modelo final ajustado com todos os dados disponíveis, opção de validação de modelos considerada muito boa de acordo com Vanclay & Skovsgaard (1997).

5.7 Simulação de desbaste

De posse dos modelos que compõem o sistema de prognose, foi realizada uma simulação do primeiro desbaste comercial. Para isso, as idades e intensidade do desbaste foram definidas, tendo a Tabela 3 como referência. A simulação do primeiro desbaste comercial foi realizada aos onze anos e a estrutura da floresta remanescente foi projetada até os dezessete anos, época próxima ao segundo desbaste comercial. Na escolha da remoção das árvores, dois tipos de controle foram empregados: por número de árvores e por percentual de área basal removida, onde o número de árvores remanescentes após o primeiro desbaste foi fixado em 400 árvores por hectare e a área basal remanescente em 70% da original. A Figura 2 mostra as etapas realizadas na simulação do desbaste.

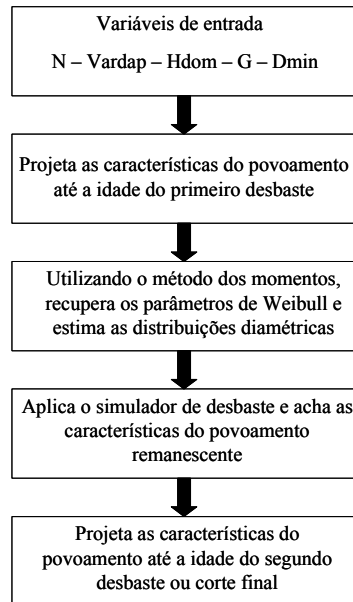


FIGURA 2 Esquema, mostrando as diferentes etapas para a realização da simulação do desbaste, onde N = número de árvore, Vardap = variância dos diâmetros, Hdom = altura dominante, G = área basal e Dmin = diâmetro mínimo.

6 Resultados e Discussão

6.1 Ajuste do índice de sítio

Inicialmente, o objetivo do ajuste do índice de sítio era captar a variação na altura dominante, utilizando uma variável além da idade, pois, a experiência prática dos manejadores mostrava que a altitude dos plantios tinha uma correlação com a produtividade das florestas da região, devido ao clima e, também, aos diferentes regimes silviculturais aplicados nas diferentes altitudes. Estes diferentes esquemas silviculturais são implantados pelos seguintes motivos, diferentes espécies foram plantadas em cotas diferentes de acordo com sua capacidade de resistência a geadas e a solos mais úmidos. A Figura 3 mostra um resumo do esquema de plantio que foi empregado pela empresa de 1997 até 2006, lembrando que a escolha das espécies nem sempre foi apenas por motivos silviculturais, mas, também, por motivos econômicos.

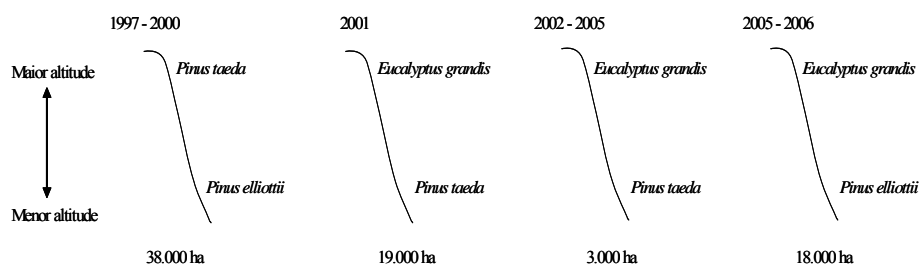


FIGURA 3 Esquema de plantio, em relação à altitude em diferentes anos e estimativa da área plantada.

O primeiro ajuste testado foi do tipo aplicado com sucesso por Mason et al. (1997) para *Pinus radiata* na Nova Zelândia. Trata-se de um modelo linear simples, entre a altitude e a altura dominante, com um coeficiente de determinação de 94%. Quando este tipo de ajuste foi testado, detectou-se um coeficiente de determinação muito baixo, inviabilizando este método para a presente base de dados. Outros ajustes foram testados, usando a idade e a

altitude para tentar estimar a altura dominante, porém os ajustes não apresentaram classificações de sítio coerentes. A Figura 4 ajuda a explicar porque estes ajustes não foram satisfatórios, pois pode-se notar que não há tendência entre o incremento médio anual em altura dominante e a altitude.

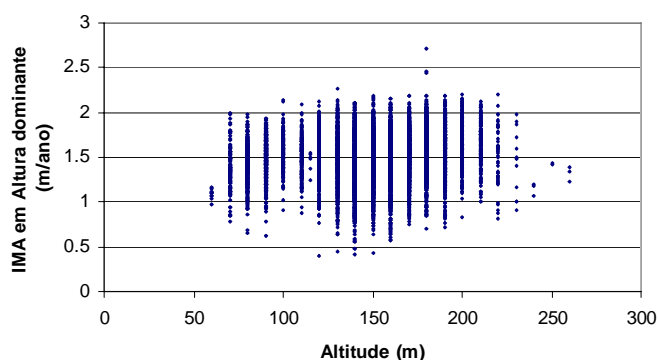


FIGURA 4 Comportamento entre o incremento médio anual em altura dominante em função da altitude.

Como não foi possível obter o ajuste da equação de índice de sítio usando a variável altitude, foram então ajustadas equações tradicionais nas formas anamórficas e polimórficas.

Devido à natureza jovem da base de dados (a grande maioria das parcelas se referem a idades inferiores a 10 anos, com apenas poucas parcelas de 25 anos, conforme apresentado na Tabela 2) a idade de referência utilizada na classificação foi de dez anos.

Com as equações ajustadas, foram feitas as classificações do sítio, a fim de se obter a estabilidade de cada equação, para desta maneira, escolher o ajuste mais estável (Tabelas 6). Para auxiliar na escolha da melhor equação também foram analisadas características do ajuste, como o gráfico de resíduos e o erro padrão da média.

TABELA 6 Estabilidade da classificação de sítio para *P. taeda*, onde o total se refere ao somatório do número de mudanças.

Modelo	Número de parcelas e de vezes em que mudaram de classe						Total
	0x	1x	2x	3x	4x	5x	
Polimórfico							
Schumacher	879	459	128	57	3	1	903
Chapman	1028	356	102	38	3	0	686
Anamórfico							
Schumacher	897	508	112	23	5	0	821
Chapman	1034	385	83	19	4	2	634

O modelo de Bailey, nas formas polimórfica e anamórfica, não apresentaram ajustes de sítio coerentes, portanto, não estão representados na Tabela 6.

Analisando a Tabela 6 pode-se ver que o modelo de Chapman, tanto na forma anamórfica quanto na polimórfica, foi o que teve a melhor estabilidade, quando comparado ao modelo de Schumacher. O modelo de Chapman, na forma anamórfica, apresentou o menor número total de mudanças e, apesar de possuir duas parcelas com cinco mudanças, estas se encontravam na faixa de limites entre sítios, não sendo classificadas como parcelas problema. Para analisar a estabilidade das classificações ao longo das diferentes idades, o percentual de mudanças ocorridas até a idade de 7 anos foi calculado, conforme apresentado na Tabela 7.

TABELA 7 Percentual de mudanças de classe de sítio ocorridas até sete anos.

Polimórfico	% de mudança
Schumacher	78,85
Chapman	75,22
Anamórfico	
Schumacher	81,24
Chapman	79,81

De posse do conhecimento do número de vezes que cada modelo mudou a classificação de sítio e, do percentual de mudanças até os sete anos de idade, o modelo de Chapman, na forma anamórfica, foi escolhido para gerar a classificação de sítio. Das mudanças ocorridas na classificação de sítio quando usando o modelo de Chapman anamórfico, 79,8% ocorreram antes dos sete anos de idade. Pode-se, então, verificar que a maioria das mudanças se deu na fase mais jovem dos plantios, quando a classificação de sítio é mais imprecisa, pois, as parcelas ainda não definiram uma classe de produtividade nítida.

O modelo selecionado não apresentou tendência indesejável, conforme mostra o gráfico de resíduos apresentado na Figura 5. A Tabela 8 mostra os parâmetros ajustados e as estatísticas de ajuste para o modelo selecionado para a classificação de sítio.

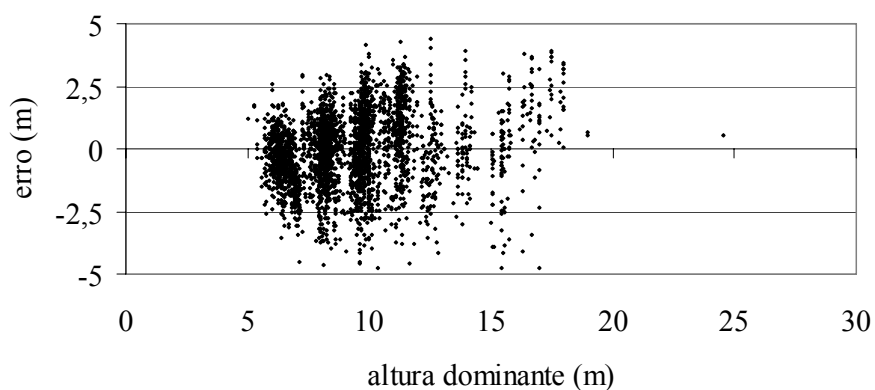


FIGURA 5 Gráfico de resíduos para o ajuste da equação de Chapman nas formas anamórfica e polimórfica.

TABELA 8 Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de Chapman na forma anamórfica, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Característica	Valor
β_0	30,1739*
β_1	-0,00821315*
β_2	1,426830*
Syx (m)	1,28
Syx (%)	16,04
R^2	87,69

Os valores dos limites para cada classe de índice de sítio podem ser encontrados na Tabela 9. As capacidades produtivas, determinadas pela altura média das árvores dominantes, variam de 7,5 a 22,5m aos dez anos de idade. Estes valores estão condizentes com os apresentados por Scolforo & Machado (1988), para curvas de índice de sítio para *Pinus taeda*, nos Estados do Paraná e Santa Catarina. Estes autores relataram valores de altura dominante, variando de 7,72 a 22,22m para a idade de dez anos.

TABELA 9 Limites inferiores e superiores da classificação de sítio para *Pinus taeda*.

Classe	Limite Inferior	Limite Superior	Índice de Sítio
I	20	25	22,5
II	15	20	17,5
III	10	15	12,5
IV	5	10	7,5

A Figura 6 mostra a forma das curvas de sítio geradas com a equação de Chapman na forma anamórfica. Para melhor caracterizar a classificação de sítio empregada nestas florestas, a Tabela 10 quantifica as parcelas contidas em cada

classe de produtividade depois de realizada a estabilidade da classificação. Analisando a Tabela 10 nota-se que a maioria das parcelas estão situadas nas classes de sítio II e III, sendo a classe II a mais representativa para as parcelas permanentes (54%) e a III para as temporárias (50%).

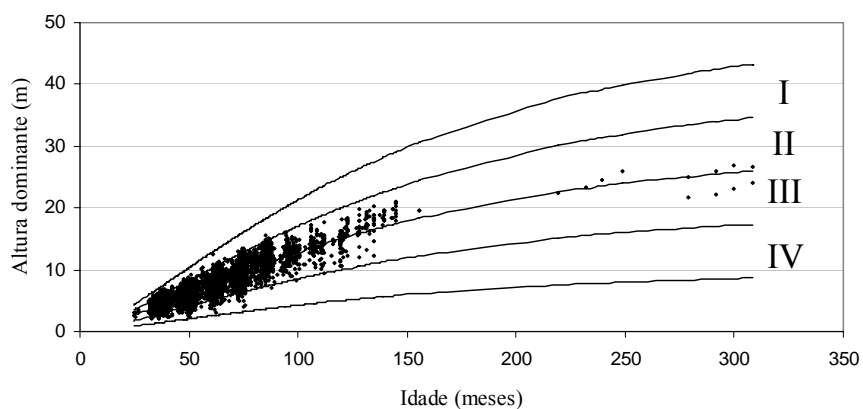


FIGURA 6 Parcelas permanentes e a classificação de sítio com as curvas geradas pela equação de Chapman na forma anamórfica para *Pinus taeda*.

TABELA 10 Quantificação das parcelas temporárias e permanentes contidas em cada classe de sítio.

Parcela	Classe	Total	Percentual
Temporária	I	128	2,47
	II	2813	54,37
	III	2072	40,05
	IV	161	3,11
Permanente	I	9	0,58
	II	691	44,52
	III	771	49,68
	IV	81	5,22

6.2 Ajuste da equação de sobrevivência

Os primeiros ajustes da sobrevivência, utilizando toda a base de dados, produziram modelos que apresentavam boa distribuição de resíduos e estatísticas de qualidade de ajuste satisfatórias. Porém, quando foi aplicada a prognose, todos os modelos apresentaram um número de árvores crescente a partir de aproximadamente 15 anos. Esse comportamento não tem nenhum lastro biológico, pois uma propriedade sobre modelos de sobrevivência é que sempre apresentem valores de número de árvores iguais ou menores do que os da idade de inventário.

Foram, então, realizadas análises exploratórias dos dados de mortalidade, conforme pode ser observado na Figura 7, que mostra o número de árvores da primeira medição, com os valores de mortalidade encontrados na segunda medição. Uma característica encontrada é que para algumas parcelas, a mortalidade foi extremamente alta, chegando a ocorrer mortalidade de até 70% dos indivíduos. Esta mortalidade pode ser atribuída ao ataque da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio* Fabricius), que de acordo a Iede & Zanetti (2007), no Uruguai, depois de sua introdução, assim como na Argentina e Brasil, a praga provocou mortalidade de até 60% em algumas plantações de *Pinus taeda*. Ainda de acordo com os autores, a vespa é atraída a árvores que apresentam a liberação de hidrocarbonetos monoterpênicos pela casca, originários da seiva do floema ou câmbio, seguido por mudanças na permeabilidade da casca. Esse fenômeno se dá em locais da planta que se encontram estressados. Árvores preferidas pela vespa-da-madeira apresentam um menor diâmetro e encontram-se na condição de dominadas. Analisando a Figura 7, pode-se ver que as maiores mortalidades se dão em áreas que apresentavam um maior número de indivíduos, portanto, dando mais condições ao plantio de apresentar árvores estressadas e, mais propícias ao ataque da vespa.

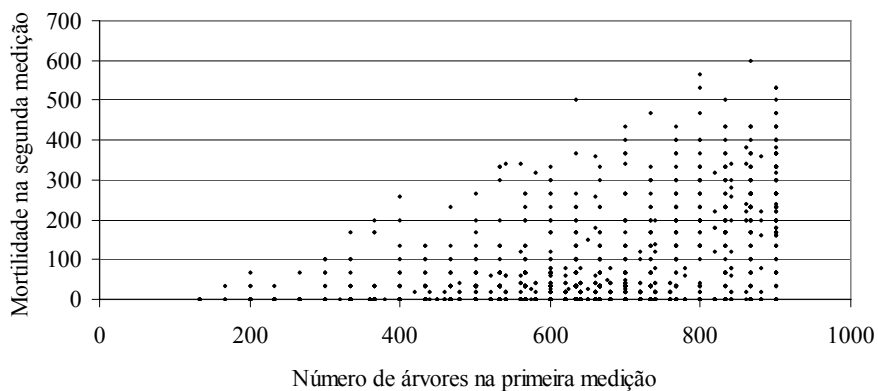


FIGURA 7 Mortalidade encontrada na segunda medição das parcelas, em relação ao número de árvores por hectare na primeira medição.

Uma provável explicação para o aumento no número de árvores pode ser fundamentada na idéia geral de uma regressão, que de acordo com Scolforo (2005), representa uma média dos valores dependentes (neste caso a sobrevivência), em função de alguma característica independente (no caso dos modelos tradicionais de sobrevivência a idade, altura dominante e número de árvores na idade de medição). O que pode ter ocorrido no ajuste dos modelos é que ao tentar estimar uma média geral para parcelas sem mortalidade e parcelas com alta mortalidade, o modelo assumiu um comportamento crescente das árvores ao longo da idade, desta maneira, em média a mortalidade foi estimada corretamente para alta ou nenhuma mortalidade. A consequência disto foi que, para idades maiores o modelo entendeu que haverá o aumento no número de árvores.

Cunha Neto (1994) indica que a mortalidade pode ser classificada em duas categorias: regular e irregular. A mortalidade regular ocorre, principalmente, em consequência da competição, supressão e o próprio envelhecimento da árvore. Por outro lado, a mortalidade irregular, que ocorre

com menos frequência, é provocada por fenômenos adversos como a incidência de pragas, doenças, fogo, vento, temperatura, enchente, seca, além de outras causas sujeitas a acontecer irregularmente, ou seja, a mortalidade regular é previsível e a irregular não.

Baseado na informação de que a mortalidade ocasionada por ataque de pragas não é previsível, para o ajuste dos modelos de sobrevivência a base de dados foi filtrada para permanecerem apenas as parcelas que apresentaram menos do que trezentas árvores por hectare de mortalidade entre a primeira e segunda medição. Dessa maneira, foi possível ajustar modelos com comportamento que apresentavam lastro biológico, onde o número de árvores na idade prognosticada é sempre menor ou igual a idade de medição.

O modelo escolhido para representar a sobrevivência foi o de Bailey modificado (modelo 1). A Figura 8 mostra o gráfico de resíduos e a Tabela 11 os parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo selecionado.

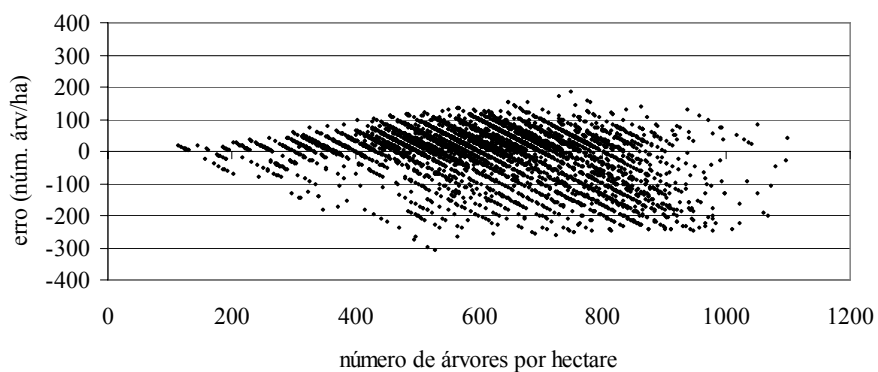


FIGURA 8 Gráfico de resíduos para o modelo selecionado para estimar a sobrevivência.

TABELA 11 Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de sobrevivência selecionado, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Característica	Valor
β_0	-0,2777*
β_1	0,0000001216*
Syx (num. árv)	69,92
Syx (%)	11,43
R^2	73,71

Depois de removidas as parcelas com grande mortalidade, o modelo não apresentou comportamento crescente nas idades mais elevadas da prognose. Assim, a equação ajustada foi considerada satisfatória, quando analisando o bom comportamento dos resíduos (Figura 8) e estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste (Tabela 11).

6.3 Ajuste da equação de diâmetro mínimo

Os ajustes iniciais de todos os modelos lineares múltiplos de diâmetro mínimo mostraram comportamento ilógico nas idades mais jovens de algumas parcelas, onde o diâmetro mínimo estava apresentando valores negativos. Como este comportamento não possui lastro biológico, os modelos lineares de predição foram substituídos por uma adaptação do modelo de projeção de altura dominante, na formulação algébrica de Chapman e Richards. Este modelo apresentou comportamento satisfatório e possui a conveniência de sempre apresentar o diâmetro mínimo na idade de projeção maior do que na idade de medição. A Figura 9 apresenta o gráfico de resíduos para o modelo selecionado e a Tabela 12 mostra os parâmetros ajustados e as estatísticas de ajuste.

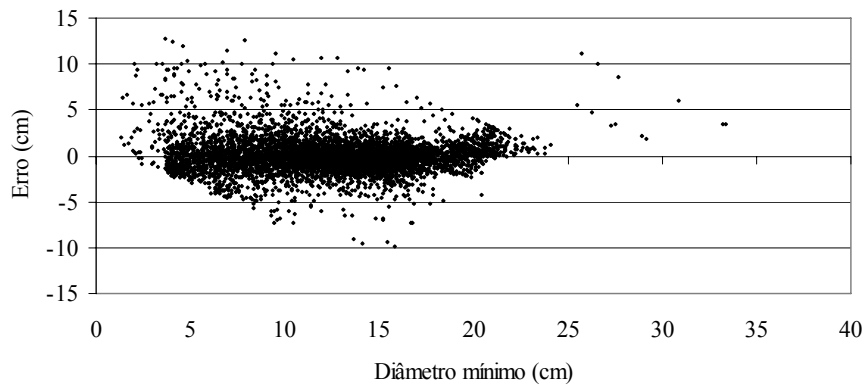


FIGURA 9 Gráfico de resíduos para o modelo de diâmetro mínimo adaptado de Chapman & Richards.

TABELA 12 Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de diâmetro mínimo selecionado, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Característica	Valor
β_0	22,15707*
β_1	-0,02412*
Syx (cm)	1,92
Syx (%)	15,22
R^2	83,73

Analisando a Figura 9 nota-se que os resíduos apresentam uma distribuição uniforme ao longo do eixo x, o que garante estimativas sem tendências. Os valores indicativos de qualidade de ajuste apresentados na Tabela 12 mostram um bom ajuste para este modelo.

Apesar do modelo selecionado não possuir um indicativo de qualidade de sítio, como índice de sítio ou altura dominante, o modelo, ainda assim, consegue boas estimativas. O que vai determinar se a área é mais ou menos

produtiva e, conseqüentemente, apresenta maior ou menor diâmetro mínimo na idade de projeção é a valor do diâmetro mínimo na idade de medição.

6.4 Ajuste das equações de variância dos diâmetros

Conforme apresentado para o ajuste do diâmetro mínimo, os modelos lineares múltiplos ajustados para a variância dos diâmetros apresentaram valores negativos para as idades mais jovens de algumas parcelas. Além disto, todos gráficos de resíduos para os modelos lineares múltiplos apresentaram gráficos com distribuição dos resíduos insatisfatórios, conforme a Figura 10, que mostra um exemplo do ajuste do modelo 1.

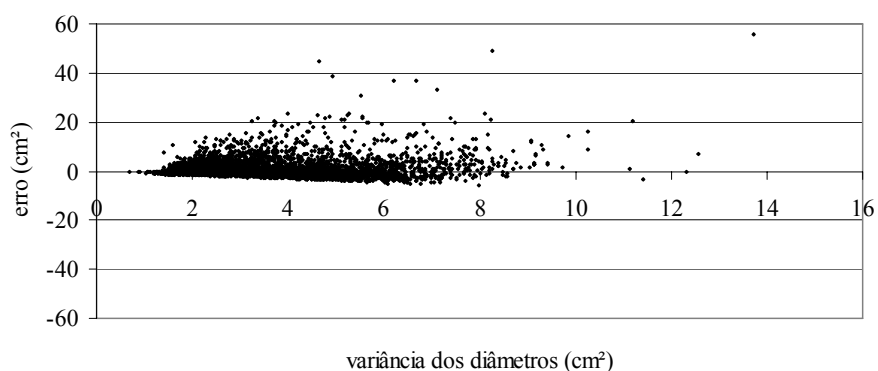


FIGURA 10 Gráfico de resíduos de variância dos diâmetros para o modelo 1.

Todos os modelos lineares testados apresentaram um comportamento residual semelhante ao apresentado na Figura 10, onde a tendência foi subestimar a variância dos diâmetros, indicando que a variância dos diâmetros não é capaz de ser explicada adequadamente apenas por características do povoamento, como: número de árvores, área basal, altura dominante, entre outros.

Por ser uma variável de difícil ajuste devido à sua alta variabilidade, a inclusão da variância dos diâmetros da data da primeira medição, que caracteriza um modelo de projeção, ajudou bastante na melhoria do ajuste da variância dos diâmetros. Portanto, o modelo escolhido para estimar a variância dos diâmetros foi uma adaptação do modelo de Chapman e Richards. A Figura 11 apresenta os gráficos de resíduos para os modelos ajustados e a Tabela 13 mostra os parâmetros ajustados e as estatísticas de ajuste.

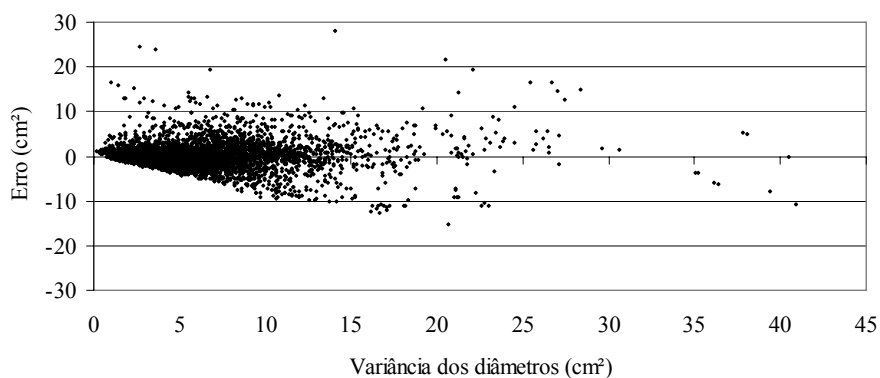


FIGURA 11 Gráficos de resíduos para o modelo selecionado de variância dos diâmetros.

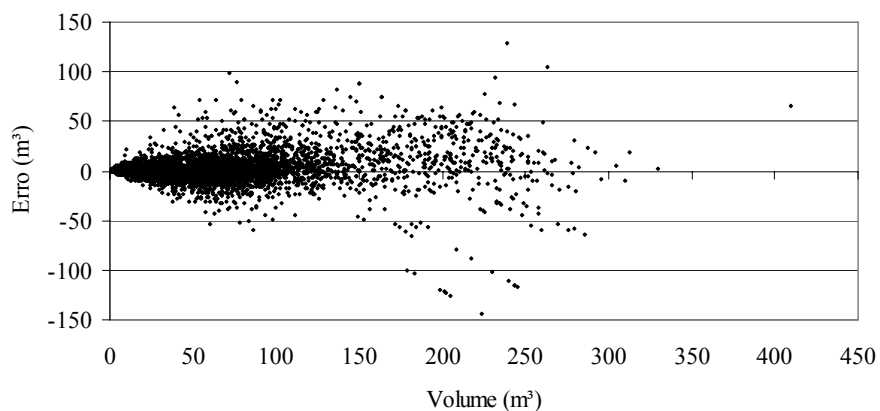
TABELA 13 Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para o modelo de variância dos diâmetros selecionado, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Característica	Valor
β_0	19,98731*
β_1	-0,009227*
Syx (cm ²)	3,74
Syx (%)	66,81
R ²	72,76

Pela análise das Figuras 10 e 11, verifica-se a considerável melhora na distribuição dos resíduos, quando é utilizado o modelo de Chapman e Richards, para estimar a variância dos diâmetros, onde os resíduos apresentaram uma distribuição mais centralizada, em relação ao eixo x. Na Tabela 13, verifica-se que o valor de Syx percentual é elevado (66,8%), entretanto, mesmo assim, o valor é menor do que para os modelos lineares múltiplos testados. Considerando que a variância dos diâmetros é uma variável de difícil predição, o modelo de Chapman e Richards mostrou-se adequado.

6.5 Ajuste dos modelos de volume global e de área basal

Uma vez que estes modelos é que fornecerão as estimativas de DAP e esse, por sua vez, influenciará no cálculo da função densidade de probabilidade das árvores via função probabilística de Weibull, o ajuste correto e sem tendências é fundamental. Na Figura 12 estão representados os gráficos de resíduos para volume e área basal gerados pelo modelo de Clutter e a Tabela 14 mostra os parâmetros ajustados e as estatísticas de ajuste.



...continua...

FIGURA 12 Gráficos de resíduos de volume global e área basal.

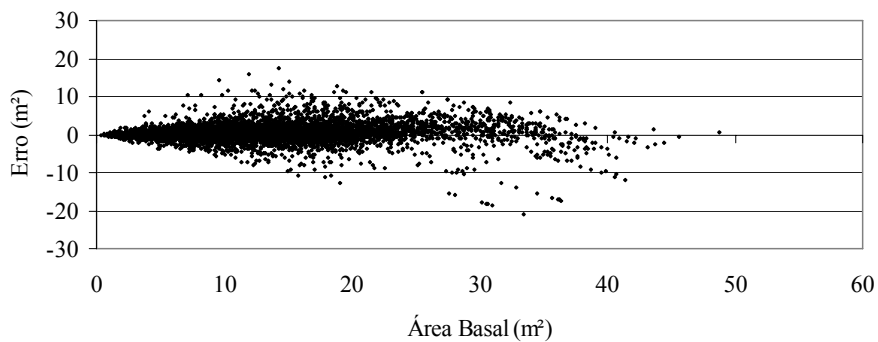


FIGURA 12, Cont.

TABELA 14 Parâmetros ajustados e as estatísticas de ajuste, para o modelo de volume global, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Característica	Valor
β_0	2,0036653*
β_1	-63,6139614*
β_2	-3,3570741*
β_3	1,1502406*
β_4	2,3114315*
β_5	0,1421099*
Syx (m ³)	37,11
Syx (%)	57,06
R ²	93,74

Os gráficos de resíduos para volume e área basal apresentaram boa distribuição, porém nota-se que, quando os valores estimados passam de 150m³ e 25m² algumas parcelas têm uma tendência de superestimar os valores de volume e área basal respectivamente. O que ocorre nessas parcelas é uma alta mortalidade, provavelmente, devido ao ataque da vespa-da-madeira. Assim, o

modelo assume que as parcelas estão em pleno crescimento, mas na realidade o volume e a área basal estão em queda.

6.6 Ajuste do modelo hipsométrico

Como o modelo hipsométrico será aplicado nos valores obtidos das estimativas da função densidade de probabilidade Weibull, a base de dados foi rearranjada para cada valor de classe diamétrica/parcela representar uma linha. O modelo escolhido para representar as diferentes alturas foi o de Scolforo (modelo 5), devido a sua boa distribuição de resíduos (Figura 13) e melhor comportamento dos valores indicadores de qualidade de ajuste (Tabela 15).

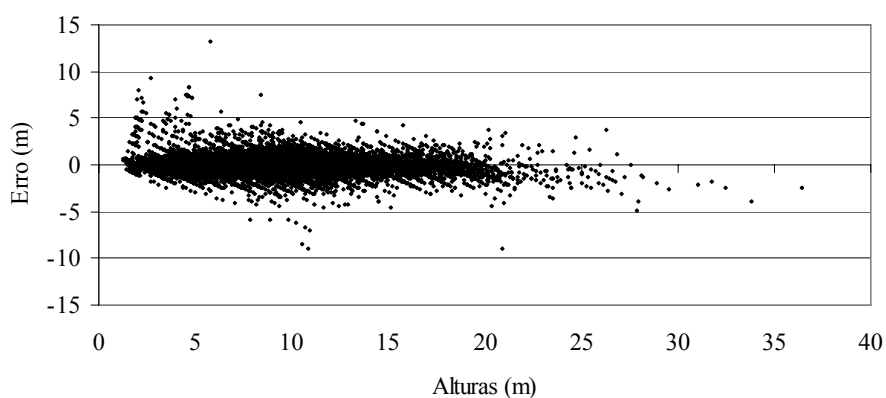


FIGURA 13 Gráficos de resíduos para o modelo hipsométrico Scolforo 3.

TABELA 15 Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para os modelos hipsométricos selecionados, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança e ** a 90% de confiança pelo teste de T.

Característica	Valores
β_0	-0,31589*
β_1	1,09592*
...continua...	

TABELA 15, Cont.

Característica	Valores
β_2	0,06222**
β_3	-0,50990*
β_4	4,09679*
Syx (m)	0,70
Syx (%)	9,43
R^2	94,55

O uso de funções que estimam altura média por classe diamétrica, ao considerar o efeito da altura dominante e diâmetro quadrático, além da idade, propicia informações consistentes e precisas, confirmando resultados apresentados por Scolforo (1990).

6.7 Simulação do parâmetro de locação da função de Weibull

O parâmetro de locação da função de Weibull é obtido através do diâmetro mínimo do plantio, sendo ele um valor percentual do mesmo. Os outros dois parâmetros, o de escala e de forma são obtidos da projeção das características DAP e variância dos diâmetros. A Tabela 16 mostra os valores somados de Kolmogorov-Smirnov da simulação feita com diferentes valores percentuais de diâmetro mínimo, para cem parcelas permanentes selecionadas aleatoriamente, em quatro diferentes classes de diâmetro mínimo, onde a classe de diâmetro mínimo maior que 30cm continha apenas 19 parcelas. Na Tabela 16 também pode ser observado o número de vezes que cada diâmetro mínimo obteve a primeira posição em relação aos outros diâmetros testados.

TABELA 16 Soma dos valores de Kolmogorov-Smirnov (KS) e número de vezes que obteve a primeira posição (1^a) para as 100 parcelas selecionadas aleatoriamente nas três classes de diâmetro testadas.

Diâmetro mínimo	Classe de diâmetro mínimo							
	menor 10		10 a 20		20 a 30		maior 30	
	KS	1 ^a	KS	1 ^a	KS	1 ^a	KS	1 ^a
0	7,28	46	7,78	70	10,07	84	4,65	15
1	7,30	18	9,03	20	11,75	9	5,05	2
2	7,68	8	11,22	7	13,98	7	5,69	1
3	8,38	4	13,71	2	16,55	0	6,52	0
4	9,22	5	16,29	0	19,18	0	7,50	0
5	10,13	4	18,92	1	21,80	0	8,50	0
6	11,09	3	21,56	0	24,41	0	9,51	0
7	12,11	3	24,15	0	27,01	0	10,50	0
8	13,17	3	26,72	0	29,58	0	11,49	0
9	14,25	2	29,23	0	32,15	0	12,45	0
10	15,34	0	31,71	0	34,72	0	13,53	0
15	20,72	1	43,45	0	46,82	0	9,04	0
20	25,90	1	53,78	0	57,57	0	10,90	0
25	30,75	1	63,00	0	66,25	0	12,37	0
30	35,34	0	70,72	0	73,57	0	13,55	0
35	39,82	0	76,90	0	79,60	0	14,40	0
40	43,91	1	81,76	0	84,22	0	15,05	0
45	47,63	0	85,81	0	87,94	0	15,58	0
50	51,22	0	89,04	0	90,93	0	15,99	0

De acordo com a Tabela 16, o valor percentual de diâmetro mínimo que apresentou o menor desvio de distribuição de diâmetros, em relação ao real foi o de 0%, para todas as classes de diâmetro mínimo testadas. O número de vezes em que o diâmetro alcançou a primeira posição mostrou o mesmo comportamento.

Este comportamento pode ser explicado pelo fato das parcelas estarem sem e realização do primeiro desbaste comercial, o que propicia diâmetros

mínimos pequenos. Esta hipótese poderá ser confirmada quando dados de parcelas desbastadas estiverem disponíveis. No presente estudo o valor do parâmetro de locação empregado foi de 0%, o que caracteriza a distribuição de Weibull de dois parâmetros.

6.8 Validação do sistema de prognose

6.8.1 Validação

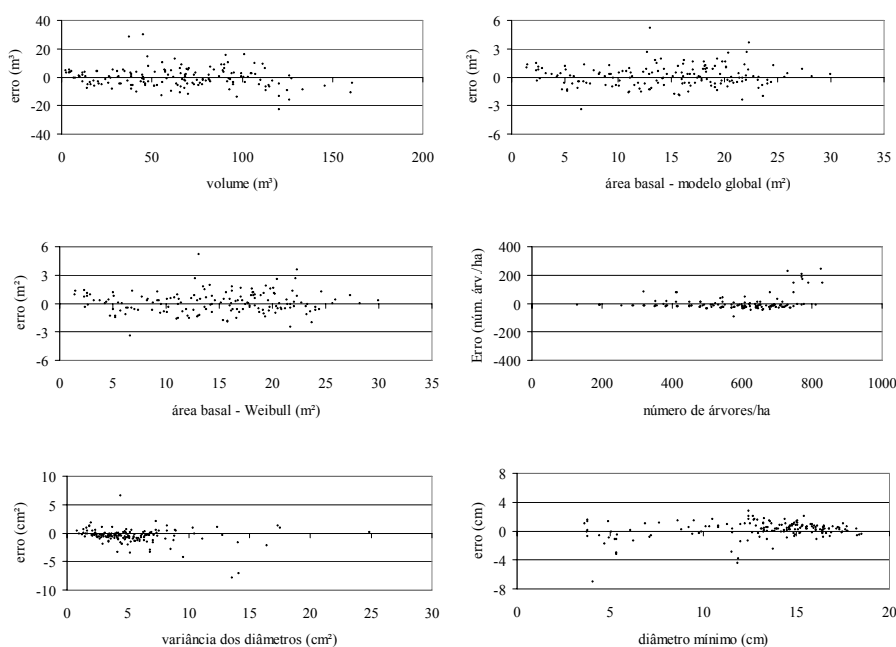
A validação dos modelos ajustados foi realizada, empregando as medições das parcelas permanentes da sub-região El Cerro, ou seja, uma base independente do ajuste. Esta base é composta de 163 pares de medições. A Tabela 17 mostra a acurácia e precisão dos modelos ajustados.

TABELA 17 Acurácia e precisão dos modelos do sistema de prognose para *P. taeda*.

Fonte de Erro	Unidade	Acurácia		Precisão	
		Resíduo médio	%	Resíduo médio absoluto	%
Volume	m ³	-0,18	-0,63	5,06	12,63
Área basal	m ²	0,13	0,33	0,84	8,32
Área basal (Weibull)	m ²	0,11	0,18	0,84	8,29
Áltura CLD	m	0,02	-0,50	0,46	7,35
Número de árvores	Num. Árv.	-1,46	0,02	28,68	5,26
Variância de DAP	cm ²	-0,46	-16,96	0,84	24,03
Diâmetro quadrático	cm	0,17	1,59	0,59	4,20
DAP	cm	0,19	1,78	0,60	4,32
Diâmetro mínimo	cm	0,23	2,71	0,84	8,40

Observa-se na Tabela 17, todos os valores que indicam a precisão dos modelos que compõem o sistema de prognose estão abaixo de 10%, com exceção dos modelos de volume global e variância. Outra característica que dá

uma boa confiança ao sistema é a compatibilidade entre os modelos globais e por classe diamétrica. Isso pode ser observado nos valores calculados de acurácia e precisão, que apresentaram valores bem próximos. Conforme mostrado anteriormente, a adição do parâmetro de locação na função de Weibull proporcionou estimativas menos precisas, portanto, o modelo de diâmetro mínimo não é necessário para o sistema de prognose. A Figura 14 mostra os gráficos de resíduos provenientes das parcelas de validação.



...continua...

FIGURA 14 Gráficos de resíduos para volume global, área basal calculados, pelo modelo global e por classe diamétrica, sobrevivência, variância dos resíduos, diâmetro mínimo, diâmetro quadrado, diâmetro a altura do peito e altura por classe diamétrica para *P. taeda*, utilizando a base de validação.

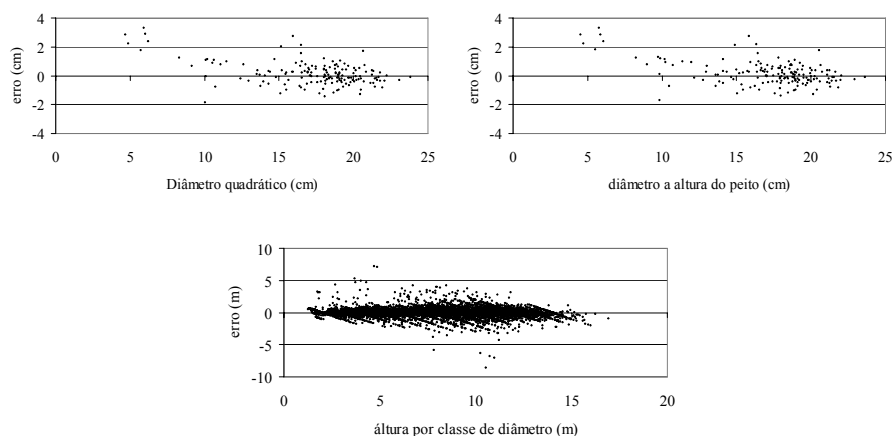


FIGURA 14, Cont.

O teste de Kolmogorov-Smirnov aplicado nas 163 parcelas mostrou que apenas 12 não apresentaram aderência, entre os valores observados e os estimados da distribuição das classes diamétricas a 1% de probabilidade. Em nove das onze parcelas que não apresentaram aderência entre os dados calculados e reais foi observada uma alta mortalidade, chegando a valores de 360 árvores por hectare em algumas parcelas.

Dos gráficos de resíduos apresentados, apenas os de sobrevivência, diâmetro quadrático e diâmetro a altura do peito apresentaram algum tipo de tendência. A tendência a subestimar o número de árvores ocorreu, exclusivamente, em locais que apresentaram alta densidade na primeira medição e baixa mortalidade na segunda medição. Observando o gráfico de resíduos de sobrevivência, nota-se que os maiores desvios ocorreram nas classes com mais árvores, principalmente, acima de 800 árvores por hectare. A consequência dos erros na sobrevivência pode ser observada nos gráficos de diâmetros, que apresentaram uma tendência a superestimar nas classes de menores diâmetros. Estes erros ocorreram devido ao fato que o cálculo dos diâmetros quadráticos e médio é feito em função da área basal e número de árvores estimadas, portanto,

quando o sistema erra a sobrevivência, a tendência também será de errar no cálculo dos diâmetros.

6.8.2 Ajuste dos modelos finais

O ajuste final das equações que compõe o sistema de prognose foi feito unindo as parcelas utilizadas nos ajustes iniciais com os empregados na validação. Na Tabela 18 estão apresentados os parâmetros e estatísticas de ajuste, para as cinco equações que compuseram o sistema de prognose.

TABELA 18 Parâmetros ajustados e estatísticas de ajuste para os modelos finais, que compuseram o sistema de prognose, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança e ** a 95% de confiança pelo teste de T.

Característica	Modelo				
	Clutter Volume	Bailey Sobrevivência	Chapman VarDAP	Chapman Dmin	Scolforo (modelo 5) Altura
β_0	2,093922*	-0,2869*	20,5853208*	22,0476308*	-0,3212711*
β_1	-68,8183*	0,0000001619*	-0,0087792*	-0,0238398*	1,0990868*
β_2	-1,2393**	-	-	-	-0,0768188*
β_3	1,090967*	-	-	-	-0,5070334*
β_4	1,8263*	-	-	-	10,4498104*
β_5	0,158605*	-	-	-	-
Syx	14,85	71,10	2,60	2,94	0,70
Syx (%)	23,76	11,59	47,12	23,47	9,43
R^2	92,66	72,71	68,92	79,46	94,73

Os gráficos de resíduos para os modelos finais se mostraram bem semelhantes aos do primeiro ajuste, portanto não serão apresentados aqui. De posse das equações finais que compõe o sistema de prognose, foi possível realizar as simulações do primeiro desbaste.

6.9 Simulação de desbaste

A primeira etapa para realizar a simulação do primeiro desbaste comercial foi escolher parcelas que rerepresentassem características médias de cada um dos quatro índices de sítio determinados neste trabalho. A Tabela 19 mostra as características utilizadas nos modelos das quatro parcelas selecionadas para realizar a simulação de desbaste.

TABELA 19 Características das parcelas selecionadas nos quatro sítios para a simulação de desbaste.

Sítio	Idade	Área basal	Hdom	Num. Árv.
7,5	64,14	2,28	4,47	600
12,5	63,12	6,17	7,27	600
17,5	63,68	10,76	8,28	600
22,5	86,37	23,30	15,17	600

A Tabela 20 mostra o número de árvores e a área basal antes, após e removidas da primeira simulação de desbaste feita, onde o controle foi o número de árvores. Para esta simulação foram retiradas árvores das classes diamétricas até atingir o valor de 400 árvores remanescentes por hectare.

TABELA 20 Número de árvores e área basal antes e após o primeiro desbaste comercial, onde o controle foi o número de árvores.

IS	CLD	Árvores			Área basal		
		Antes	Depois	Removido	Antes	Depois	Removido
I	17	1	0	1	0,02	0,00	0,02
I	19	2	0	2	0,06	0,00	0,06
I	21	5	0	5	0,18	0,00	0,18
I	23	12	2	10	0,50	0,08	0,41

...continua...

TABELA 20, Cont.

IS	CLD	Árvores			Área basal		
		Antes	Depois	Removido	Antes	Depois	Removido
I	25	25	5	20	1,24	0,25	0,99
I	27	48	12	36	2,77	0,69	2,08
I	29	82	25	57	5,39	1,65	3,74
I	31	116	93	23	8,74	7,02	1,72
I	33	127	127	0	10,82	10,82	0,00
I	35	93	93	0	8,91	8,91	0,00
I	37	37	37	0	3,98	3,98	0,00
I	39	6	6	0	0,72	0,72	0,00
Total I		553	399	154	43,33	34,13	9,20
II	15	1	0	1	0,01	0,00	0,01
II	17	2	0	2	0,05	0,00	0,05
II	19	7	1	6	0,20	0,03	0,17
II	21	20	4	16	0,70	0,14	0,57
II	23	51	13	38	2,11	0,54	1,57
II	25	104	68	36	5,09	3,34	1,75
II	27	152	152	0	8,70	8,70	0,00
II	29	124	124	0	8,18	8,18	0,00
II	31	36	36	0	2,73	2,73	0,00
II	33	2	2	0	0,16	0,16	0,00
Total II		498	400	98	27,94	23,82	4,11
III	9	1	0	1	0,01	0,00	0,01
III	11	4	0	4	0,04	0,00	0,04
III	13	15	2	13	0,19	0,03	0,17
III	15	39	7	32	0,69	0,12	0,57
III	17	84	40	44	1,90	0,91	1,00
III	19	134	134	0	3,80	3,80	0,00
III	21	137	137	0	4,74	4,74	0,00
III	23	68	68	0	2,83	2,83	0,00
III	25	11	11	0	0,54	0,54	0,00
Total III		493	399	94	14,75	12,97	1,78

...continua...

TABELA 20, Cont.

IS	CLD	Árvores			Área basal		
		Antes	Depois	Removido	Antes	Depois	Removido
IV	5	4	0	4	0,01	0,00	0,01
IV	7	19	1	18	0,07	0,00	0,07
IV	9	59	8	51	0,37	0,05	0,32
IV	11	120	101	19	1,14	0,96	0,18
IV	13	156	156	0	2,07	2,07	0,00
IV	15	105	105	0	1,86	1,86	0,00
IV	17	27	27	0	0,62	0,62	0,00
IV	19	2	2	0	0,05	0,05	0,00
Total IV		492	400	92	6,19	5,61	0,58

Analisando a Tabela 20, nota-se que, quando o número de árvores remanescentes pós-desbaste foi fixado em 400, à medida em que aumenta-se a capacidade produtiva do local, maior é a área basal obtida no desbaste. O valor de área basal removido variou de 9,20m² para o índice de sítio I até 0,58m², para o índice de sítio IV. Isto ocorre devido ao maior porte das árvores encontradas nos sítios mais produtivos, assim, a remoção de um mesmo número de árvores nos diferentes sítios ocasiona áreas basais removidas maiores em sítios mais produtivos. O mesmo comportamento foi constatado, quando o controle de remoção do desbaste é fixado em remover 30% da área basal, conforme mostra a Tabela 21.

TABELA 21 Número de árvores e área basal antes e após o primeiro desbaste comercial, onde o controle foi a remoção de 30% da área basal.

IS	CLD	Árvores			Área basal		
		Antes	Depois	Removido	Antes	Depois	Removido
I	17	1	0	1	0,02	0,00	0,02
I	19	2	0	2	0,06	0,00	0,05
							...continua...

TABELA 21, Cont.

IS	CLD	Árvores			Área basal		
		Antes	Depois	Removido	Antes	Depois	Removido
I	21	5	1	5	0,18	0,02	0,16
I	23	12	2	10	0,50	0,07	0,42
I	25	25	5	20	1,24	0,24	1,00
I	27	48	12	36	2,77	0,68	2,08
I	29	82	25	57	5,39	1,66	3,74
I	31	116	43	73	8,74	3,26	5,48
I	33	127	126	0	10,82	10,78	0,04
I	35	93	93	0	8,91	8,91	0,00
I	37	37	37	0	3,98	3,98	0,00
I	39	6	6	0	0,72	0,72	0,00
Total I		553	349	204	43,33	30,33	13,00
II	15	1	0	1	0,01	0,00	0,01
II	17	2	0	2	0,05	0,00	0,04
II	19	7	1	6	0,20	0,03	0,17
II	21	20	4	16	0,70	0,13	0,57
II	23	51	13	38	2,11	0,53	1,58
II	25	104	34	70	5,09	1,65	3,43
II	27	152	107	45	8,70	6,13	2,57
II	29	124	124	0	8,18	8,18	0,00
II	31	36	36	0	2,73	2,73	0,00
II	33	2	2	0	0,16	0,16	0,00
Total II		498	320	178	27,94	19,55	8,38
III	9	1	0	1	0,01	0,00	0,01
III	11	4	0	4	0,04	0,00	0,04
III	13	15	2	13	0,19	0,02	0,17
III	15	39	7	32	0,69	0,12	0,57
III	17	84	22	62	1,90	0,50	1,41
III	19	134	55	79	3,80	1,57	2,23
III	21	137	137	0	4,74	4,74	0,00
III	23	68	68	0	2,83	2,83	0,00
III	25	11	11	0	0,54	0,54	0,00

...continua...

TABELA 21, Cont.

IS	CLD	Árvores			Área basal		
		Antes	Depois	Removido	Antes	Depois	Removido
Total III		493	302	191	14,75	10,32	4,43
IV	5	4	0	4	0,01	0,00	0,01
IV	7	19	1	18	0,07	0,00	0,07
IV	9	59	8	51	0,37	0,05	0,32
IV	11	120	31	89	1,14	0,30	0,84
IV	13	156	110	46	2,07	1,46	0,61
IV	15	105	105	0	1,86	1,86	0,00
IV	17	27	27	0	0,62	0,62	0,00
IV	19	2	2	0	0,05	0,05	0,00
Total IV		492	285	208	6,19	4,34	1,85

Conforme pode ser observado na Tabela 21, quando é removido 30% da área basal no primeiro desbaste comercial, ocorre um número remanescente de árvores diferente para cada sítio. Locais com capacidades produtivas superiores permanecem com mais árvores comparado a sítios menos produtivos. Novamente isso pode ser explicado devido ao fato de sítios mais produtivos apresentarem árvores de maior porte, sendo necessária a remoção de menos árvores, para atingir uma área basal remanescente de 70%.

Com o intuito de comparar o comportamento do crescimento em volume e área basal ao longo da idade, as Figuras 15 e 16 mostram a prognose das parcelas estudadas, feita sem e com desbaste, da idade 60 a 216 meses, que seria a idade programada para o segundo desbaste. O desbaste considerado aqui teve o número de árvores como controle.

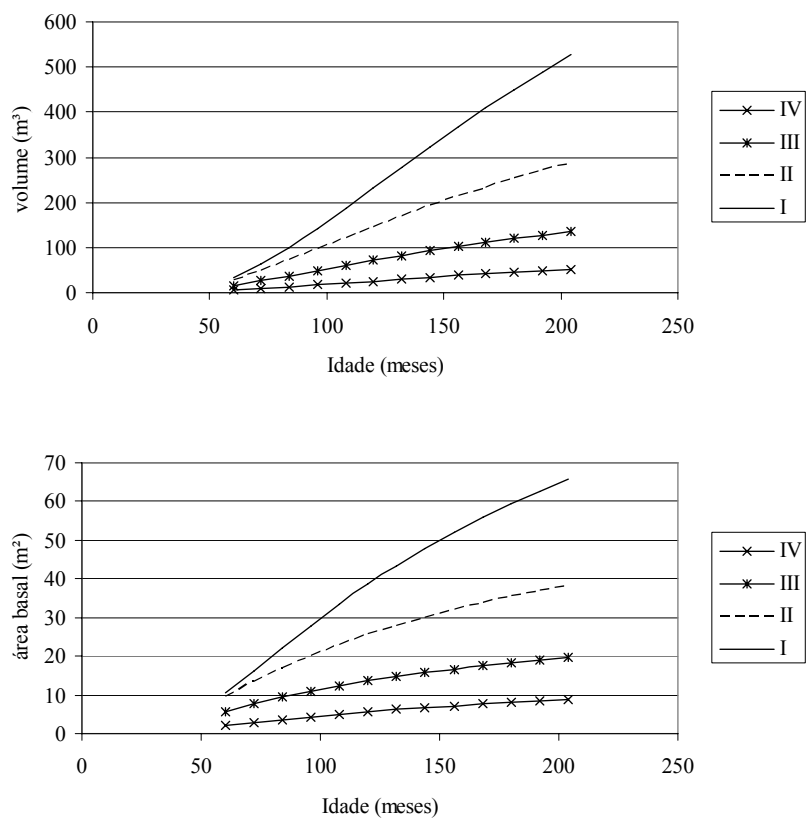


FIGURA 15 Projeção de volume e área basal sem desbaste, para os quatro índices de sítio estudados.

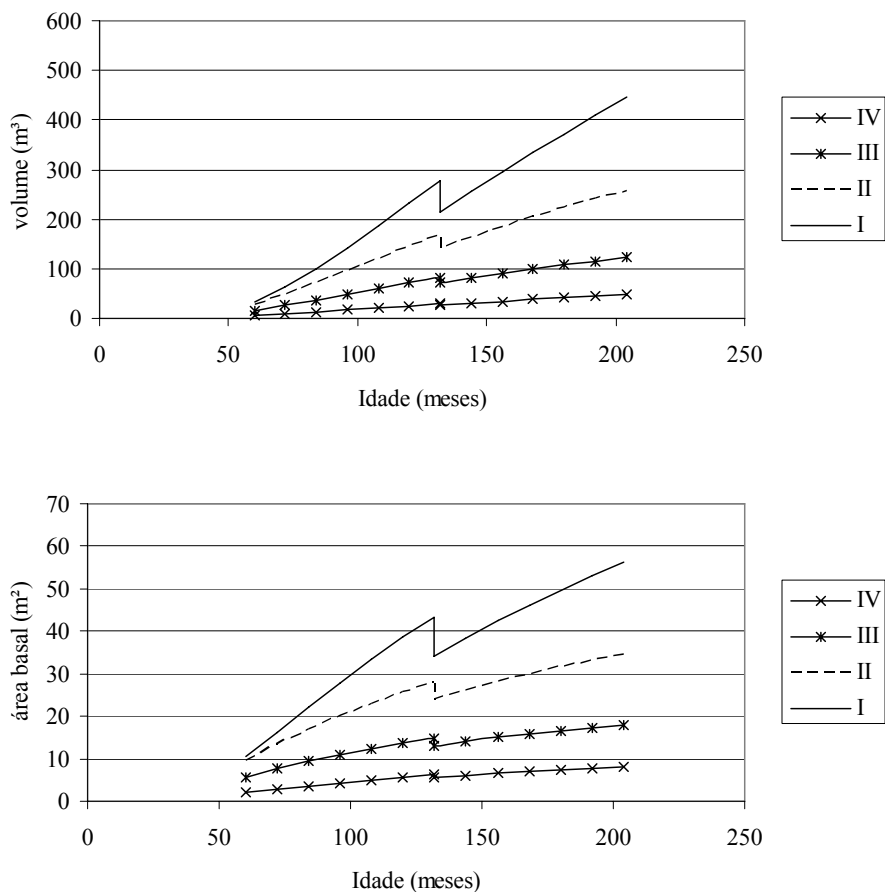


FIGURA 16 Projeção de volume e área basal com desbaste, para os quatro índices de sítio estudados.

Analisando os valores de área basal com e sem desbaste, próximo à idade do segundo desbaste, notam-se que os valores estão próximos, sendo que a maior diferença está no sítio mais produtivo e as menores nos sítios menos produtivos. Aos 216 meses de idade, o sítio I apresentou uma diferença de aproximadamente 10m^2 , entre áreas desbastadas e não desbastadas, enquanto para o sítio IV esta diferença foi de aproximadamente 1m^2 . Isto pode ser

atribuído ao fato de que maiores quantidades de área basal foram removidas dos sítios mais produtivos, o que causou uma maior redução em seu crescimento pós-desbaste. Apesar dos valores de área basal das áreas desbastadas estarem próximos ao das áreas não desbastadas, os anteriores, provavelmente, não irão ultrapassar os posteriores, comprovando resultados relatados por Hasenauer et al. (1997). Contudo, esta afirmação apenas será comprovada quando os atuais plantios estudados sofrerem a intervenção de desbaste, pois, somente assim, será possível modelar o crescimento pós-desbaste.

Apesar do declínio geral, em área basal e volume, que o desbaste causa em uma floresta, o crescimento individual das árvores é beneficiado. Para o melhor sítio, a média em diâmetro à altura do peito foi estimada em aproximadamente 40cm, para os plantios não desbastados e 43cm para os plantios desbastados. Isto confirma a afirmação feita por Zeide (2001), de que o desbaste aumenta o crescimento das árvores individuais, ao custo de seus números e crescimento em volume do talhão inteiro.

7 Conclusões

De acordo com a validação efetuada, o sistema desenvolvido constitui-se num instrumento confiável de auxílio no manejo de florestas plantadas, propiciando estimativas precisas e confiáveis das características abordadas na população.

A compatibilidade entre a área basal do povoamento e a área basal advinda do modelo por classe diamétrica é obtida, proporcionando uma maior confiabilidade no sistema de predição.

A função Weibull apresentou-se eficiente e flexível, propiciando estimativas precisas da distribuição diamétrica, na quase totalidade dos casos. As exceções que ocorrem foram em áreas que apresentaram um alto grau de mortalidade.

O sistema é flexível o bastante para a simulação de diferentes regimes de desbaste, pois, com o ajuste de diferentes expressões de desbaste, vários tipos de desbaste podem ser simulados.

O sistema de validação aplicado se mostrou lógico e consistente, pois, além de fornecer dados sobre os erros obtidos nos modelos em uma base independente do ajuste, nenhuma informação foi desperdiçada na fase de modelagem.

8 Recomendações

Recomenda-se realizarem-se estudos para avaliar uma maneira de prever a mortalidade ocasionada pela vespa-da-madeira, pois, os modelos tradicionais de sobrevivência apresentados neste estudo não são capazes de prever este fenômeno. Técnicas de sensoriamento remoto ou de geoestatística são recomendadas para este fim.

Assim que dados estejam disponíveis, estudos para retratar as tendências de crescimento dos plantios pós-desbaste são extremamente desejáveis. Isto pode ser feito por meio de índices de supressão ou de ajustes de modelos estratificados pela ocorrência ou não de desbaste.

9 Referências Bibliográficas

- BAILEY, R. L.; BORDERS, B. E.; WARE, K. D.; JONES JÚNIOR, E. P. A compatible model relating slash pine plantation survival to density, age, site index, and type and intensity of thinning. **Forest Science**, Bethesda, v. 31, n. 1, p. 180-189, 1985.
- BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Virginia: VPI & SU, 1981. (Publication, FWS-2-81).
- CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 9, n. 3, p. 354-371, Sept. 1963.
- CUNHA NETO, F. R. **Sistema para predição presente e futura da produção por classe de diâmetro utilizando a função Weibull, para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 1994. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- HASENAUER, H.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. Basal area development in thinned and unthinned loblolly pine plantations **Canadian Journal Forest Research**, Ottawa, v. 27, n. 2, p. 265-271, 1997.
- IEDE, E. T.; ZANETTI, R. Ocorrência e recomendações para o manejo de *Sirex noctilio* Fabricius (Hymenoptera, Siricidae) em plantios de *Pinus patula* (Pinaceae) em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 51, n. 4, p. 529-531, 2007.
- KNOEBEL, B. R.; BURKHART, H. E.; BECK, D. E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. **Forest Science**, Bethesda, v. 32, n. 2, p. 1-48, 1986.
- MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MAESTRI, R.; SCOLFORO, J. R. S.; HOSOKAWA, R. T. Um sistema de predição do crescimento e da produção para povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 358-381, 1995.

MASON, E. G.; WHYTE, A. G. D.; WOOLONS, R. C.; RICHARDSON, B. A model of the early growth of juvenile *Radiata pine* in the Central North Island of New Zealand: links with older models and rotation- length analyses of the effects of site preparation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 187-195, Oct. 1997.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1992. 527 p.

PALAHÍ, M.; PUKKALA, T.; TRASOBARES, A. Comparison of beta, Johnson's SB, Weibull and truncated Weibull functions for modeling the diameter distribution of forest stands in Catalonia (north-east of Spain). **European Journal of forest research**, New York, v. 126, n. 4, p. 563-571, Oct. 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2008. Disponível em: < <http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 dez. 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p. (Textos Acadêmicos).

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p. (Textos Acadêmicos).

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***. 1990. 290 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desrama para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 121-139, 2001.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 1/2, p. 159-168, 1988.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. A model for evaluation of the forest growth and yield with thinning simulator. In: SYMPOSIUM EMPIRICAL AND PROCESS-BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION, 1997, Oeiras. **Proceedings...** Oeiras: IUFRO, 1997.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; FERRAZ FILHO, A. C.; SOUZA, F. N. Estrutura diamétrica e de altura no cerrado. In: SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. **Cerrado florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal.** Lavras: UFLA, 2008.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 71, n. 3, p. 251- 265, Feb. 1995.

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

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 18, n. 1, p. 76-86, 1972.

THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*.** 1997. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Evaluating forest growth models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 1-12, May 1997.

ZEIDE, B. Thinnig and Growth: a full turnaround. **Journal of Forestry**, Washington, v. 99, n. 1, p. 20-25, Jan. 2001.

CAPÍTULO 3

Influência de diferentes regimes de poda no crescimento de *Pinus taeda* L.

1 Resumo

O presente estudo retrata a influência da poda no crescimento florestal e na forma da árvore. Para isto três diferentes experimentos localizados no Norte do Uruguai, que retratam vários regimes de poda foram utilizados. O primeiro experimento é denominado de Tuna, com 2,1ha, implantado em 1997, consistindo-se de 7 tratamentos: 1. poda até 8cm de diâmetro; 2. poda por tora (2,8m), respeitando 50% de copa viva; 3. deixar 2m de copa viva; 4. deixar 30% de copa viva; 5. testemunha; 6. poda até 10cm de diâmetro; 7. deixar 40% de copa viva. O segundo experimento é denominado de Gaire, com 0,9ha, implantado em 1994, consistindo-se de 6 tratamentos: 1. poda anual até 8cm de diâmetro; 2. poda bianual até 8cm de diâmetro; 3. poda anual até 10cm de diâmetro; 4. poda bianual até 10cm de diâmetro; 5. poda bianual, deixando 50% de copa viva; 6. poda bianual, deixando 40% de copa viva. O terceiro experimento é denominado de Toca, com 3,56ha e implantado em 2000, consistido-se de 4 tratamentos: 1. 60% de copa viva; 2. 50% de copa viva; 3. 40% de copa viva; 4. 30% de copa viva. Foi concluído que podas a qualquer intensidade causam o declínio em DAP, quando comparado aos plantios sem poda. O menor declínio em DAP foi causado por podas onde 60% da copa viva foi mantida. Podas deixando 40% de copa viva causam perdas razoáveis no desenvolvimento do DAP. Em relação à altura das árvores, os resultados indicam que podas leves podem influenciar as árvores a crescerem mais em altura do que árvores sem poda, mas para podas mais severas altura é diminuída, em relação às árvores não podadas. Foi constatado que podas mais severas geram árvores menos cônicas. Os dados dos experimentos foram agrupados em três classes de podas: a que gera uma tora, duas ou três toras podadas. Utilizando a idade, altura dominante e comprimento de copa como variáveis independentes o desenvolvimento em DAP e altura foram modelados para regimes de poda únicos e mistos nos três diferentes grupos de podas. Os valores de DAP e altura foram projetados até 22 anos e, utilizando a integral da função de afilamento ajustada para cada grupo de poda, a produção de madeira livre de nós foi estimada. O regime de podas que produziu a maior quantidade de madeira livre de nós foi, onde todas as árvores do talhão foram podadas até 5,75m de altura (2 toras de 2,8m podadas), enquanto o que maximizou a produção de madeira total produzida foi, onde todas as árvores foram podadas até 2,95m (1 tora podada de 2,8m).

2 Abstract

This study presented the influence of pruning on forest growth and stem form. For this, three different pruning experiments located in the north of Uruguay were used. The first experiment, which is denominated Tuna, was planted in 1997 and covers an area of 2,1ha with 7 treatments: 1. Prune up to 8cm; 2. Prune per log (2,8m), respecting 50% of live crown; 3. 2m of live crown remaining; 4. 30% live crown remaining; 5. Control; 6. Prune up to 10cm; 7. 40% live crown remaining. The second experiment, which is denominated Gaire, was planted in 1994 and covers an area of 0,9ha with 6 treatments: 1. Annual pruning up to 8cm; 2. Biannual pruning up to 8cm; 3. Annual pruning up to 10cm; 4. Biannual pruning up to 10cm; 5. Biannual pruning with 50% live crown remaining; 6. Biannual pruning with 40% live crown remaining. The third experiment, which is denominated Toca, was planted in 2000 and covers an area of 3,56ha with 4 treatments: 1. 60% live crown remaining; 2. 50% live crown remaining; 3. 40% live crown remaining; 4. 30% live crown remaining. It was concluded that pruning at any intensity causes a decline in DBH development, when compared to unpruned stands. The smallest decline in DBH was caused when a live crown of 60% in relation to total height was maintained. Pruning regimes where 40% of live crown is maintained causes acceptable losses of DBH development. In relation to height, light pruning can stimulate trees to grow more in height than unpruned trees, but heavy pruning can stunt height growth in relation to unpruned trees. Pruning affects the stem form, where heavier pruning can generate stems that are more cylindrical. The data of the experiments were grouped in three distinct pruning groups, one, two or three pruned logs per tree. By using age, dominant height and crown length as independent variables, the development in height and DBH were modeled for pure and mixed pruning regimes for the three pruning groups. Total height and DBH were projected to the age of 22 years, and by using the integral of the tapering function adjusted to each pruning group, clear wood production was estimated. The pruning regime that produced the greatest amount of clear wood was the one in which all the trees were pruned to a height of 5,75m (2 pruned logs of 2,8m), while the regime that produced the greatest amount of wood was the one in which all the trees were pruned to a height of 2,95m (1 pruned log of 2,8m).

3 Introdução

A remoção de porções de plantas, geralmente galhos inteiros ou parte dos galhos, mas, às vezes, brotos, raízes, flores e frutos, têm sido praticada por séculos e é até documentada na bíblia (Kozlowski et al., 1991).

Ballard (1833), discutindo sobre afirmações de que a poda realizada em uma árvore aumenta a produção de madeira diz: “A poda, em vez de aumentar, decresce a quantidade de madeira produzida, em relação à extensão e severidade em que é aplicada. O corte de um pequeno ramo é suficiente para causar o declínio da produção de madeira”. O autor, também, comenta na impossibilidade de aumentar a qualidade da madeira com podas, pois, a madeira morta do galho não se une bem à madeira viva do tronco.

Apesar dessas afirmações serem um pouco severas, ainda contém seu valor. Atualmente, sabe-se que podas leves, em certas espécies florestais, causam pouco ou nenhum declínio na produção de madeira. Também é conhecido que para garantir a qualidade da madeira após a poda, certos cuidados básicos devem ser observados. Por exemplo, para garantir a melhor união da madeira do galho e do tronco, a poda deve, preferencialmente, ser feita em galhos vivos. A poda de galhos pequenos ajuda a evitar a podridão na madeira, pois, assim, a área que deve cicatrizar é menor e, conseqüentemente, cicatriza mais rapidamente, evitando a entrada de agentes nocivos à madeira.

Ao analisar a viabilidade de podas na condução de plantios florestais, não se pode esquecer que apesar do declínio de crescimento que esta sendo imposto às árvores, dois grandes benefícios estão sendo agregados nelas, que são: a produção de madeira livre de nós e a redução da conicidade do fuste. Portanto, para avaliar corretamente a viabilidade de podas, deve-se não apenas focar atenção nos efeitos de crescimento, mas também avaliar todos os benefícios (e malefícios) que a operação de poda agrega à árvore.

4 Objetivos

4.1 Objetivo geral

Avaliar a influência de diferentes regimes de poda no crescimento e na forma de *Pinus taeda*.

4.2 Objetivos específicos

1. Avaliar a influência de diferentes regimes de poda no desenvolvimento do diâmetro a 1,37m do solo.
2. Avaliar a influência de diferentes regimes de poda no desenvolvimento da altura total.
3. Avaliar a influência de diferentes regimes de poda na forma do fuste.
4. Desenvolver um sistema de equações, que permita estimar o crescimento de plantios submetidos a um único regime de poda, ou seja, todas as árvores do plantio recebem a mesma poda.
5. Desenvolver um sistema de equações, que permita estimar o crescimento de plantios submetidos a mais de um regime de poda, ou seja, as árvores recebem diferentes tipos de poda.

5 Material e Métodos

Para avaliar o efeito da poda no crescimento das árvores, foram utilizados três experimentos de poda localizados no norte do Uruguai. Eles são denominados como Tuna, Gaire e Toca. A seguir estão retratadas as diferentes características e tratamentos de poda de cada experimento.

5.1 Experimentos de diferentes regimes de podas

5.1.1 Experimento 1 – Tuna

Este experimento compreende uma área de 2,1ha e foi implantado em 1997, com 1000 árvores por hectare de *Pinus taeda*. Aos 3 anos de idade, foi realizado um desbaste pré-comercial, deixando-se 500 árvores/ha e uma poda até 1,5m do solo. O experimento consiste de sete tratamentos e 3 repetições, sendo as parcelas circulares de 1000m², alocadas no delineamento de blocos casualizados. Os tratamentos são (as porcentagens de copa são relativas à altura total da árvore):

1. poda até atingir 8cm de diâmetro na base do ramo verde;
2. poda por toras, a poda é feita até 2,8m, porém sempre respeitando 50% de copa viva;
3. poda deixando 2m de copa anualmente;
4. poda deixando 30% de copa anualmente;
5. testemunha (sem poda);
6. poda até atingir 10cm de diâmetro na base do ramo verde;
7. poda deixando 40% de copa anualmente.

A Figura 1 ilustra alguns dos tratamentos e a diferença entre eles, sendo que a foto referente ao tratamento 7, assemelha-se muito ao esquema operacional de poda utilizado na empresa.

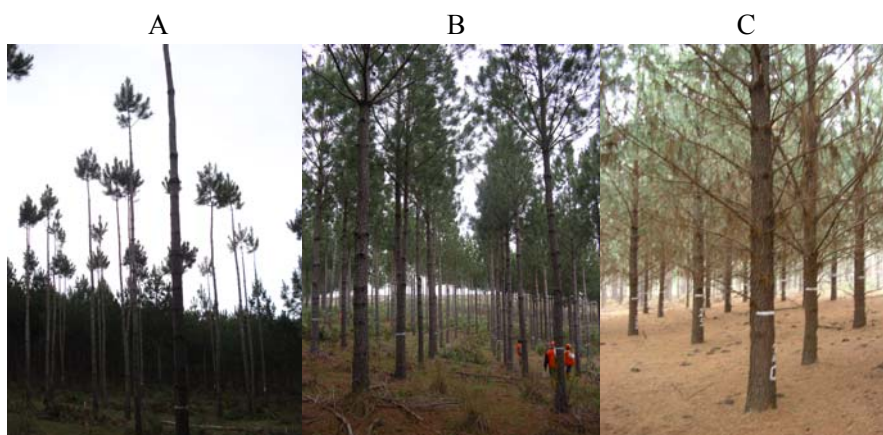


FIGURA 1 Experimento de poda instalado em Tuna. A) Tratamento 3. B) Tratamento 7. C) Tratamento 5.

5.1.2 Experimento 2 – Gaire

Este experimento compreende uma área de 0,9ha e foi implantado em 1994, com 1000 árvores por hectare de *Pinus taeda*. Aos 4 anos de idade (1998), foi realizado um desbaste pré-comercial, deixando-se 650 árvores por hectare e uma poda na altura de 1,5m do solo. O experimento consiste de seis tratamentos e 3 repetições, sendo as parcelas circulares de 500m², alocadas no delineamento de blocos casualizados. Os tratamentos são (as porcentagens de copa são relativas à altura total da árvore):

1. poda anual até 8cm de diâmetro do fuste;
2. poda bianual até 8cm de diâmetro do fuste;
3. poda anual até 10cm de diâmetro do fuste;
4. poda bianual até 10cm de diâmetro do fuste;
5. poda bianual com 50% de copa remanescente;
6. poda bianual com 40% de copa remanescente.

Quando o experimento estava com aproximadamente onze anos de idade, 187 árvores de todos os tratamentos foram cubadas em pé. Apesar de

métodos destrutivos de cubagem serem mais precisos, a cubagem foi feita em pé ,pela razão que o experimento ainda não foi concluído, inviabilizando o abate de árvores. Os diâmetros foram coletados em doze diferentes alturas, a Tabela 1 mostra em quais alturas os diâmetros foram medidos e algumas observações sobre estas alturas.

TABELA 1 Alturas de medição dos diâmetros na operação de cubagem, onde as observações consideram toras de 2,8m com um toco remanescente após o corte de 15cm.

Altura (m)	Observação
0,15	Base da primeira tora
1	
1,37	Diâmetro a altura do peito
2	
2,95	Ponta da primeira tora
4	
5	
5,75	Ponta da segunda tora
7	
8	
8,55	Ponta da terceira tora
9	

5.1.3 Experimento 3 – Toca

Este experimento compreende uma área de 3,6ha e foi implantado em 2000, com 1000 árvores por hectare de *Pinus taeda*. Aos 3 anos de idade, foi realizado um desbaste pré-comercial, deixando-se 650 árvores/ha e uma poda na altura de 1,5m do solo. O experimento consiste de quatro tratamentos e 3 repetições, sendo as parcelas circulares de 3000m², alocadas no delineamento de blocos casualizados. Os tratamentos são (as porcentagens de copa são relativas à altura total da árvore):

1. poda anual com 30% de copa viva remanescente;
2. poda anual com 40% de copa viva remanescente;
3. poda anual com 50% de copa viva remanescente;
4. poda anual com 60% de copa viva remanescente.

Com intuito de conhecer a influência dos tratamentos de poda, para todos os experimentos, em cada ano de medição foi realizada uma análise de variância e teste de médias aglomerativo proposto por Scott & Knott (1974), sobre o DAP e a altura total. As análises estatísticas foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (Ferreira, 2000). O teste de médias Scott-Knott foi escolhido por ser considerado mais robusto do que os testes de Tukey e SNK e por não apresentar resultados ambíguos, de acordo com Borges & Ferreira (2003).

Para os dados de árvores cubadas do experimento Gaire, a análise de variância foi realizada, utilizando o fator de forma médio, onde os volumes reais das árvores foram calculados pelo método de Smalian até 9m (última medição) e, considerando a forma de um triângulo após 9m.

5.2 Modelagem do efeito da poda no crescimento das árvores

5.2.1 Efeito da poda no DAP e altura total

O primeiro passo para ajustar modelos de regressão que retratam a influência da poda no crescimento das árvores foi, agrupar os diferentes tratamentos dos diferentes experimentos em três distintos grupos de poda. O objetivo destes agrupamentos foi dividir a base de dados em três classes, uma para simular podas mais suaves, outra para simular poda medianas e, uma última, para simular podas mais severas. Este agrupamento foi feito utilizando os resultados das análises de variância e os testes de médias feitas no último ano de medição como um balizador. A Tabela 2 mostra as características dos três distintos grupos de poda empregados neste estudo.

TABELA 2 Diferentes grupos de intensidade de poda nos quais os dados dos experimentos foram enquadrados.

Grupo	Número de toras livre de nós	Altura de poda (m)
A	1	2,95
B	2	5,75
C	3	8,55

Com a base de dados dos tratamentos agrupados nos diferentes grupos de poda, uma serie de equações lineares múltiplas foram ajustadas para prever o crescimento em altura total e diâmetro a 1,37m do solo (DAP). Os modelos apresentam a seguinte forma:

$$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot Hd + e_i$$

$$DAP = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot Hd^{-1} + \beta_3 \cdot CC + e_i$$

Em que:

Ht = média aritmética das alturas;

I = idade;

Hd = altura dominante;

DAP = média aritmética dos diâmetros;

CC = comprimento de Copa;

β 's = coeficientes de regressão a serem estimados;

e_i = erro de estimativa.

Incorporando a variável altura dominante no sistema de equações, permite-se que estas equações sejam extrapoladas para vários plantios diferentes, pois, as equações ficam sensíveis às diferentes capacidades produtivas de cada local.

A variável independente comprimento de copa é obtida subtraindo a altura total pela altura de poda. Esta é a variável que permitirá simular diferentes

regimes de poda, pois, um regime de poda mais severo implica em comprimento de copa menor e, conseqüentemente, em um crescimento em DAP menor. Esta variável já foi aplicada com sucesso por Neilsen & Pinkard (2003) para modelar o incremento diamétrico para *Pinus radiata* submetido a diferentes regimes de manejo.

Com os dados dos atuais experimentos, pode-se estimar com segurança o desenvolvimento do DAP em plantios conduzidos com um único regime de poda, ou seja, todas as árvores do plantio recebem a mesma altura de poda. O problema é que um regime único de poda para todas as árvores de um talhão não é o que geralmente ocorre no esquema operacional de podas. Melhores árvores recebem maiores podas devido ao fato que essas árvores permanecerão até o corte final da floresta. Piores árvores são removidas em desbastes e, geralmente, recebem podas menores. Os atuais experimentos analisados não permitem de maneira direta conhecer o que acontece quando se tem mistura de regimes de poda em um mesmo talhão, pois, todos os tratamentos foram realizados com apenas um regime.

Com o intuito de conhecer as tendências de crescimento do DAP de uma floresta, quando submetido a regimes de podas mistos, uma série de equações foram geradas para formar sub-grupos de intensidade de poda. Para isto, a base de dados de cada um dos três grupos de poda foi manipulada para selecionar apenas algumas árvores por parcela e criar a nova base de dados com as características desejadas. Foram definidos cinco cenários diferentes de regimes de podas mistas: 1. 66% das árvores com uma tora e 33% com duas, 2. 33% das árvores com uma tora e 66% com duas, 3. 66% das árvores com duas toras e 33% com três, 4. 33% das árvores com duas toras e 66% com três, 5. 33% das árvores com uma tora 33% com duas e 33% com três. É importante lembrar que dentro dos cenários de mistura de poda as árvores que recebem menos toras serão as menores e, as que recebem mais toras serão as maiores.

Para montar as bases de dados que geraram os modelos dos sub-grupos cada parcela de cada experimento foi filtrada para obter somente as árvores desejadas, por exemplo, para obter a base de dados que gerou os modelos de 33% das menores árvores com uma tora 66% das maiores com duas toras, a base de dados de todos os tratamentos pertencentes ao grupo de uma tora foi filtrada para fornecer apenas 33% das menores árvores por parcela. O mesmo foi feito para a base de dados dos tratamentos pertencentes ao grupo de duas toras, mais aqui foram filtradas 66% das maiores árvores por parcela. De posse dessas duas bases de dados foram, então, geradas três equações para estimar o DAP, uma para 33% das menores árvores com uma tora, outra para 33% das árvores intermediárias com duas toras e outra com 33% das maiores árvores com duas toras.

5.2.2 Efeito da poda na função de afilamento

Como a poda tende a deixar as árvores mais cônicas, este efeito deve ser levado em conta no ajuste de uma função de afilamento, pois, caso contrário, serão geradas estimativas volumétricas enviesadas.

Com base no resultado da análise de variância, utilizando os dados das árvores cubadas no experimento Gaire, para cada diferente grupo de poda foi ajustada uma equação de afilamento. Para isso, adotou-se a forma polinomial de potências fracionárias e inteiras, conforme descrito por Assis et al. (2002), tendo a seguinte forma genérica:

$$\frac{d_i}{DAP_j} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{h_i}{Ht_j} \right)^{p1} + \beta_2 \cdot \left(\frac{h_i}{Ht_j} \right)^{p2} + \beta_n \cdot \left(\frac{h_i}{Ht_j} \right)^{pn} + e_i$$

Em que:

d_i = diâmetro do fuste correspondente à altura h_i ;

h_i = altura do fuste correspondente ao diâmetro d_i ;

Ht_j = altura total da árvore da classe de diâmetro j ;

DAP = diâmetro à altura do peito da classe de diâmetro j ;

p_n = potências fracionárias e inteiras;

β 's = coeficientes de regressão a serem estimados;

e_i = erro de estimativa.

As potências que melhor descrevem o perfil das árvores para cada modelo ajustado foram obtidas utilizando-se o procedimento Stepwise. As potências testadas, sugeridas por Scolforo (2005), foram: 0,009; 0,008; 0,007; 0,006; 0,005; 0,004; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60.

5.3 Simulação de diferentes regimes de poda

De posse dos diferentes modelos para simular o crescimento de *Pinus taeda* submetidos a diferentes regimes de poda, algumas simulações foram empregadas, para avaliar as características de cada regime.

A altura dominante utilizada nestas simulações é advinda de uma classificação de sítio realizada para *Pinus taeda*, com semelhante condução e, em local adjacente aos experimentos. Foram simulados dois diferentes sítios, sendo eles os que mais ocorrem na região, de 12,5 e 17,5m na idade de referência de dez anos. A Figura 2 mostra a evolução da altura dominante dos dois sítios de quatro a vinte e dois anos, sendo estas, os limites das idades utilizadas na simulação.

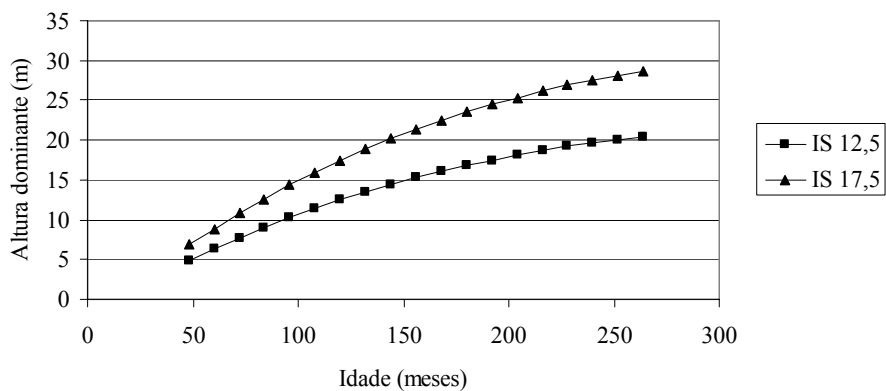


FIGURA 2 Evolução da altura dominante para os dois sítios utilizados nas simulações.

As idades de poda, desbaste e do corte final foram mantidas fixas para as simulações, sendo que foram considerados dois desbastes comerciais. Para definir as idades onde ocorreram a remoção de madeira, foi utilizado como balizador a Tabela 3, que mostra um esquema operacional de um plantio de *Pinus taeda* conduzido sob o sistema de manejo intensivo.

TABELA 3 Prescrição de manejo florestal para *Pinus taeda*.

Tratamento	Idade	Árvore ha	Altura de poda (m)	Volume comercial (m ³ /ha)
Instalação	0	1000		
Desbaste pré-comercial + 1 ^a poda	3	666	2,4	
2 ^a poda	4	666	3,6	
3 ^a poda	5	666	4,6	
4 ^a poda	6	666	5,6	
5 ^a poda	7 - 8	400	7,2	
6 ^a poda	8 - 9	400	8,5	

...continua...

TABELA 3, Cont.

Tratamento	Idade	Árvore ha	Altura de poda (m)	Volume comercial (m³/ha)
1º Desbaste comercial	11	400		50
2º Desbaste comercial	15 -17	150 - 250		120
Colheita	22 -23	0		320

Tendo a Tabela 3 como referencia, foi definida a idade do primeiro desbaste como onze anos, o segundo aos dezesseis anos e o corte final aos vinte e dois anos. O número de toras podadas que cada diferente simulação irá gerar depende do regime de poda aplicado. As equações disponíveis permitiram simular oito diferentes regimes de poda, esses regimes e o número de toras podadas que cada um fornece estão descritos na Tabela 4.

TABELA 4 Regime de podas e o número de toras podadas que fornecem nas diferentes épocas de corte.

Regime	Número de toras podadas		
	1º desbaste	2º desbaste	Corte Final
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
112	1	1	2
122	1	2	2
123	1	2	3
223	2	2	3
233	2	3	3

5.3.1 Estimativa de volume produzido por tora

Como uma floresta conduzida sob o sistema de manejo intensivo tem como finalidade principal a produção de toras livres de nós, um esquema teórico foi desenvolvido para gerar uma estimativa do volume livre de nós produzido em cada regime de poda.

O primeiro passo para gerar estimativas coerentes da produção de madeira livre de nós é considerar o tempo que a árvore demora a cicatrizar o dano causado pela poda. Este tempo depende da velocidade de crescimento da espécie, sendo que espécies de crescimento mais lento demoram mais para cicatrizar. Para o atual estudo foi considerado um tempo de cicatrização de quatro anos. Este valor foi baseado em observações conduzidas em campo, onde uma árvore podada foi derrubada e discos foram tirados de locais que continham galhos podados. A Figura 3 mostra um dos discos removidos, a cerca de 2m de altura do solo, que tinha recebido uma poda oito anos antes de derrubada.

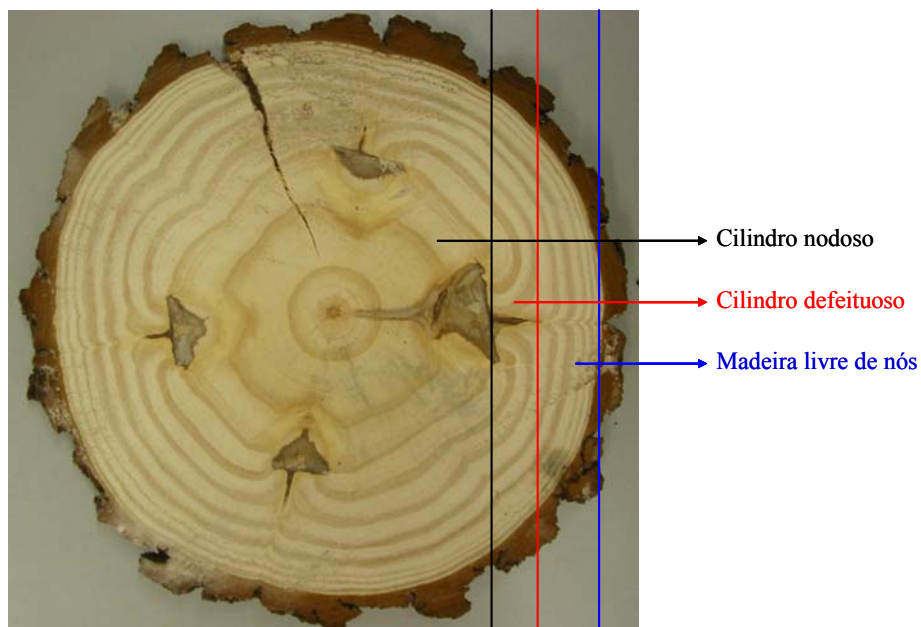


FIGURA 3 Disco removido de uma árvore que tinha recebido poda a oito anos, mostrando os cilindros nodoso e defeituoso e a área de crescimento de madeira livre de nós.

Analisando a Figura 3, nota-se que não se pode considerar todo o volume de uma tora podada como livre de nós. Para contornar este problema, o volume das toras podadas foi estimado na época de poda, quatro anos após a poda e na época de corte. Subtraindo-se o volume na época de corte, pelo volume quatro anos após a poda, obtém-se o volume livre de nós e subtraindo-se o volume quatro anos após a poda, pelo volume na época de poda, obtém-se o volume de oclusão. Desta maneira foi possível ter uma idéia do volume nodoso, defeituoso e livre de nós que cada tora produz. Abaixo, na Figura 4, está representado um esquema do cálculo dos diferentes volumes de uma árvore que recebeu poda até 5,75m (que corresponde a duas toras de 2,8m). As alturas e épocas das podas empregadas na simulação foram baseadas na Tabela 3, exemplificando um caso, onde a árvore em questão recebe três toras podadas, a primeira tora é

completamente podada aos quatro anos, a segunda aos seis anos e a terceira aos oito anos de idade.

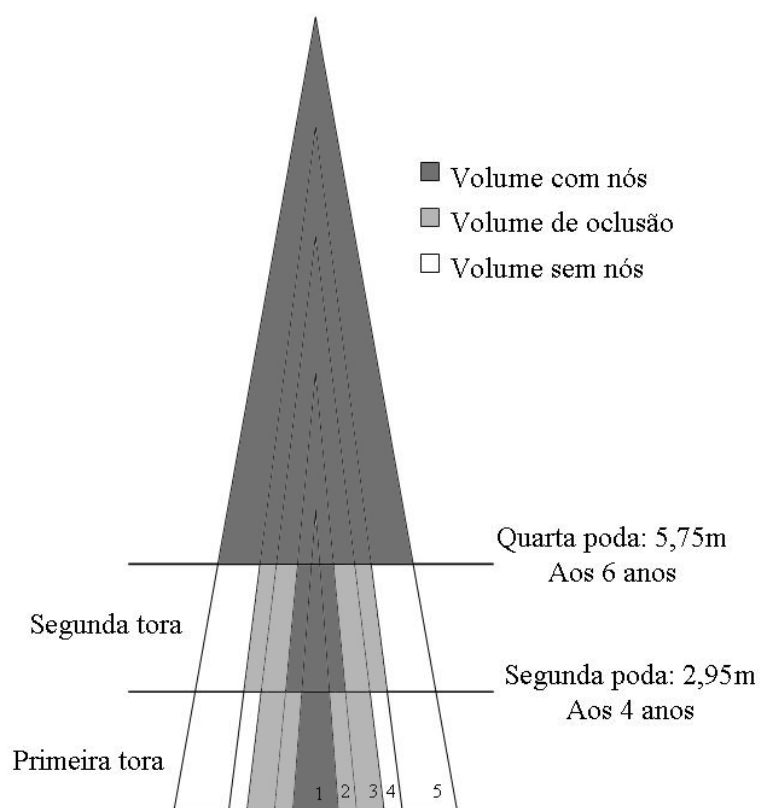


FIGURA 4 Esquema de cálculo de volume para uma árvore que recebeu duas toras podadas, onde, 1 = volume aos 4 anos, 2 = volume aos 6 anos, 3 = volume aos 8 anos, 4 = volume aos 10 anos, 5 = volume na época de corte.

O esquema ilustrado na Figura 4 é uma adaptação do proposto por Víquez & Pérez (2005), onde o sistema original proposto pelos autores não contemplava a perda de madeira livre de nós ocasionada pela oclusão dos galhos podados. De acordo com a Figura 4, para quantificar o volume livre de nós produzido na primeira tora, basta subtrair o volume na época do corte, pelo

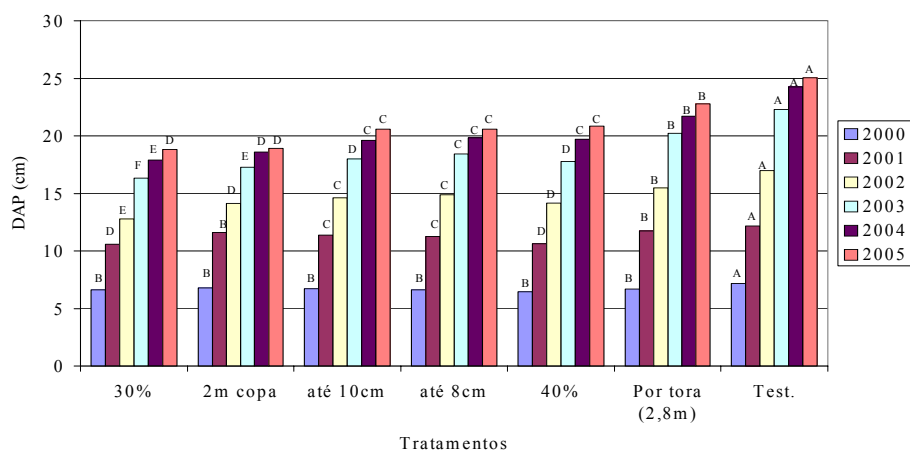
volume aos oito anos a 2,95m de altura, sendo oito anos a idade onde já ocorreu a cicatrização na primeira tora. Já para o volume da segunda tora, basta subtrair o volume na época de corte, pelo volume aos dez anos na altura 5,75m. A última consideração na estimativa de volume das toras foi descontar o acréscimo de diâmetro ocasionado pela casca. No momento do cálculo de volume, foi descontado um valor de 3,05cm do diâmetro de todas as toras, de acordo com valores encontrados por Sherrill (2005), estudando plantios de *Pinus taeda*.

Todos os diâmetros e volumes calculados em diferentes alturas das árvores foram calculados integrando as funções de afilamento, ajustadas aos dados de cubagem do experimento de Gaire.

6 Resultados e Discussão

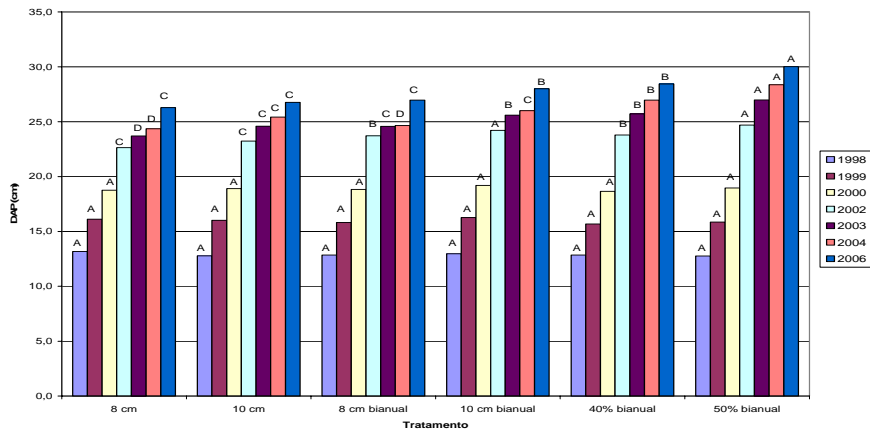
6.1 Comportamento do DAP, ao longo das diferentes idades de medição

Com o intuito de conhecer como os tratamentos de poda estavam influenciando o desenvolvimento em DAP e, conseqüentemente, quais tratamentos com melhor benefício altura de poda – desenvolvimento em DAP, os primeiros testes realizados nos três experimentos foram testes de media tipo Scott-Knott, realizados, independentemente, a cada ano de medição disponível. As Figuras 5, 6 e 7 mostram os resultados destes testes de media.



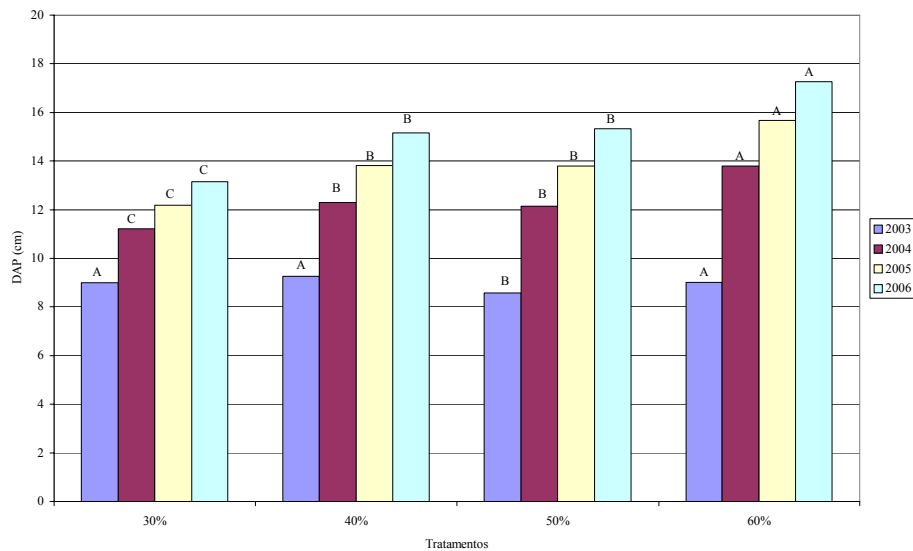
Obs* Médias seguidas da mesma letra no mesmo ano de medição, definido pela mesma cor, não diferem entre si estatisticamente a 5% de significância.

FIGURA 5 Teste de medias Scott-Knott para DAP, realizada a cada ano de medição, no experimento Tuna*.



Obs* Médias seguidas da mesma letra no mesmo ano de medição, definido pela mesma cor, não diferem entre si estatisticamente a 5% de significância.

FIGURA 6 Teste de medias Scott-Knott para DAP, realizada a cada ano de medição, no experimento Gaire*.



Obs* Médias seguidas da mesma letra no mesmo ano de medição, definido pela mesma cor, não diferem entre si estatisticamente a 5% de significância.

FIGURA 7 Teste de medias Scott-Knott para DAP, realizada a cada ano de medição, no experimento Toca*.

Analisando as Figuras 5 a 7, nota-se, que conforme o esperado, maiores podas influenciam negativamente o desenvolvimento do DAP. Com exceção dos primeiros anos de medição, esta tendência foi constatada ao longo de todos os anos de medição. Um ano após a implantação dos experimentos (quando os plantios estavam com cerca de quatro anos), os experimentos de Toca e Tuna já demonstravam uma diferenciação entre os tratamentos. O experimento de Gaire demonstrou uma resposta retardada, onde os tratamentos se diferenciaram a partir de três anos após a instalação (plantio com cerca de sete anos). Esta diferenciação pode ter ocorrido um ano mais cedo, porém não houve medição realizada aos seis anos do plantio. Os tratamentos se comportaram relativamente estáveis ao longo dos anos de medição, ou seja, nas idades mais jovens já era possível separar os tratamentos com melhor desenvolvimento de DAP em relação à poda.

6.2 Análise de variância para as últimas medições disponíveis de cada experimento

6.2.1 Tuna

As Tabelas 5 e 6 mostram os dados referentes às análises de variância para DAP e altura do experimento Tuna.

TABELA 5 Análise de variância, para DAP do experimento Tuna, realizada no ano de medição 2005.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	6	2063,258	343,876	105,922	0,000
Bloco	2	0,572	0,286	0,088	0,916
Erro	488	1584,291	3,246		
Total	496	3648,121			
CV%	8,55				

TABELA 6 Análise de variância, para altura do experimento Tuna, realizada no ano de medição 2005.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	6	34,049	5,675	11,372	0,000
Bloco	2	11,001	5,500	11,023	0,000
Erro	488	243,511	0,499		
Total	496	288,560			
CV%	6,11				

Como a diferença entre tratamentos foi significativa tanto para DAP como para altura, um teste de médias Scott-Knott a 5% de significância foi aplicado, conforme apresentado na Tabela 7.

TABELA 7 Resultado do teste de médias Scott-Knott para DAP e altura realizado no experimento Tuna no ano de medição 2005*.

Tratamento	Descrição	DAP (cm)		Ht (m)	
5	Testemunha	25,05	a	11,22	c
2	Tora (50%)	22,78	b	11,84	a
7	40%	20,83	c	11,51	b
6	10cm	20,59	c	11,70	a
1	8cm	20,54	c	11,85	a
4	30%	18,69	d	11,27	c
3	2m reman.	18,65	d	11,23	c

Obs* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si estatisticamente a 5% de significância.

A Figura 5 indica que a última medição do experimento de Tuna foi em 2005, aproximadamente aos oito anos de idade da floresta. Na Tabela 7 nota-se que no caso do DAP houve a separação dos tratamentos em quatro grupos de crescimento. O primeiro é composto pela testemunha, que obteve a melhor média de crescimento de DAP. O segundo foi o tratamento por toras, ou seja, a poda foi feita sempre com acréscimos de 2,8m. O terceiro grupo foi composto

por três tratamentos, 40% de copa remanescente, poda até 8cm de diâmetro e até 10cm de diâmetro. Este grupo é o que mais se assemelha ao tratamento operacional da empresa. O ultimo grupo é composto por dois tratamentos, 30% de copa remanescente e 2m de copa remanescente. Este grupo é um tanto irreal, especialmente o de 2m de copa remanescente, pois raramente se programa um regime de poda tão drástico como este.

O comportamento em altura apresentou um comportamento interessante. A testemunha sem poda mais os dois tratamentos que tiveram o maior decréscimo no crescimento em DAP (30% e 2m de copa remanescente) formaram o grupo com os menores valores médios de altura. Já os tratamentos com podas mais suaves apresentaram médias de altura superiores. Uma provável explicação para este comportamento é que podas mais suaves induzem as árvores a crescerem em altura, para tentar compensar a redução em sua copa verde. Quando a poda é muito severa a ponto de afetar o crescimento da árvore, esta não é capaz de responder da mesma maneira e não cresce em altura tanto quanto uma árvore com uma poda menos drástica. Resultados semelhantes foram apresentados por Boggess (1950), estudando *Pinus elliottii*, e Young & Kramer (1952), estudando *Pinus taeda*, que apesar de não constatarem uma diferença estatisticamente significativa no crescimento em altura para árvores de *Pinus taeda* que receberam diferentes tratamentos de poda, os autores mostram que árvores que recebem podas mais pesadas podem crescer mais em altura do que árvores com menores podas ou sem poda respectivamente.

6.2.2 Gaire

As Tabelas 8 e 9 mostram os dados referentes às análises de variância para DAP e altura do experimento Gaire.

TABELA 8 Análise de variância para DAP do experimento Gaire, realizada no ano de medição 2006.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	5	497,731	99,546	13,426	0,000
Bloco	2	47,637	23,818	3,212	0,042
Erro	311	2305,911	7,415		
Total	318	2851,279			
CV%	9,83				

TABELA 9 Análise de variância para altura do experimento Gaire, realizada no ano de medição 2006.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	5	17,960	3,592	3,533	0,004
Bloco	2	41,156	20,578	20,243	0,000
Erro	311	316,146	1,017		
Total	318	375,262			
CV%	5,63				

Como a diferença entre tratamentos foi significativa tanto para DAP como para altura, um teste de médias Scott-Knott a 5% de significância foi aplicado, conforme apresentado na Tabela 10.

TABELA 10 Resultado do teste de médias Scott-Knott para DAP e altura, realizado no experimento Gaire no ano de medição 2006*.

Tratamento	Descrição	DAP	Ht
5	50% bi	30,02 a	17,69 b
6	40% bi	28,44 b	17,92 b
4	10cm bi	28,01 b	18,01 a
2	8cm bi	26,97 c	17,60 b
3	10cm	26,77 c	17,84 b
1	8cm	26,29 c	18,32 a

Obs* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si estatisticamente a 5% de significância.

Para o experimento de Gaire, a última medição foi em 2006, aproximadamente aos onze anos de idade da floresta. De acordo com a Tabela 10, os tratamentos foram divididos em três tendências de crescimento de DAP: o primeiro grupo é composto pelo tratamento de poda bianual até 50% da altura da árvore. O segundo, por poda bianual até 40% da altura da árvore e poda anual até 10cm de diâmetro. O ultimo grupo é composto pelos tratamentos poda anual até 8cm, poda bianual até 8cm e poda até 10cm. Neste experimento podemos observar que de uma maneira geral, regimes de poda aplicados a cada dois anos tendem a ter uma resposta positiva no crescimento do DAP, quando comparado às podas anuais.

De acordo com a Tabela 10, os tratamentos foram agrupados em duas tendências de crescimento em altura. Os tratamentos 10cm bianual e 8cm foram os que apresentaram o maior crescimento em altura, tendo os demais tratamentos apresentado crescimentos inferiores.

6.2.3 Toca

As Tabelas 11 e 12 mostram os dados referentes às análises de variância para DAP e altura do experimento Toca.

TABELA 11 Análise de variância para DAP do experimento Toca, realizada no ano de medição 2006.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	1388,468	462,823	98,599	0,000
Bloco	2	879,166	439,583	93,648	0,000
Erro	662	3107,431	4,694		
Total	667	5375,065			
CV%	14,21				

TABELA 12 Análise de variância para altura do experimento Toca, realizada no ano de medição 2006.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	3	60,215	20,072	20,265	0,000
Bloco	2	121,400	60,700	61,284	0,000
Erro	662	655,688	0,990		
Total	667	837,303			
CV%	10,91				

Como a diferença entre tratamentos foi significativa tanto para DAP como para altura, um teste de médias Scott-Knott a 5% de significância foi aplicado, conforme apresentado na Tabela 13.

TABELA 13 Resultado do teste de médias Scott-Knott, para DAP e altura realizado no experimento Toca no ano de medição 2006*.

Tratamentos	Descrição	DAP	Ht
4	60%	17,27 a	9,50 a
3	50%	15,34 b	9,12 b
2	40%	15,16 b	9,22 b
1	30%	13,16 c	8,65 c

Obs* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si estatisticamente a 5% de significância.

No experimento de Toca a última medição do experimento foi em 2006, aproximadamente, aos seis anos de idade da floresta. De acordo com a Tabela 13, seus tratamentos foram divididos em três tendências de crescimento: o primeiro grupo é composto por podas até 60%, o segundo por podas até 50% e 40% e o último por podas até 30%. Este foi o único experimento onde as tendências de crescimento em altura foram iguais ao crescimento em DAP.

6.3 Agrupamento dos diferentes tratamentos de poda

Tendo o desenvolvimento em DAP como referência, com os valores obtidos dos testes de media apresentados nas Tabelas 7, 10 e 13, foram elaborados os três diferentes grupos de regime de poda aplicados neste trabalho: o de podas mais leves ou uma tora, de podas mais medianas ou duas toras e de podas mais severas ou três toras. Os diferentes tratamentos pertencentes a cada grupo de poda estão ilustrados na Tabela 14.

TABELA 14 Agrupamento dos diferentes tratamentos e experimentos em grupos de regime de poda.

Padrão	Número de toras	Experimento	Número	Tratamento
A	1	Gaire	5	50% bi
A	1	Tuna	5	Sem poda
A	1	Toca	4	60%
B	2	Gaire	4	10cm bi
B	2	Gaire	6	40% bi
B	2	Toca	3	50%
B	2	Toca	2	40%
B	2	Tuna	2	Tora (50%)
C	3	Gaire	2	8cm bi
C	3	Gaire	3	10cm
C	3	Tuna	6	10cm
C	3	Tuna	7	40%
C	3	Gaire	1	8cm
C	3	Tuna	1	8cm
D	>3	Tuna	3	2m reman.
D	>3	Tuna	4	30%
D	>3	Toca	1	30%

Obs* - Tratamentos seguidos de bi indicam que a poda é aplicada a cada dois anos e os percentuais indicam a altura de copa verde remanescente em relação à altura total.

Analisando os diferentes agrupamentos da Tabela 14, pode-se notar algumas tendências dos tratamentos. Tratamentos bem leves, como o que conserva 60% de copa viva e o de podas bianuais a 50% da altura causa pouco efeito no desenvolvimento do DAP. Isto reforça dados apresentados por Neilsen & Pinkard (2003), estudando *Pinus radiata*, que afirmam: manter uma razão de copa (comprimento de copa verde/altura total da árvore) acima de 55% minimiza o declínio do crescimento em diâmetro causado pela poda. O declínio no crescimento em DAP começa a se acentuar quando atingimos à faixa de 40% de copa viva, porém, esses valores ainda estão em faixas aceitáveis, causando em torno de 2cm de perdas em DAP, quando comparados aos valores do grupo A. Para autores que estudaram os efeitos da poda no DAP para *Pinus elliottii*, no sul do Brasil, a razão de copa de 40% foi considerada ideal por permitir menos perdas em incremento diamétrico e produção (comparada às testemunhas não podadas), enquanto aumentam a qualidade da madeira obtida (Schneider et al., 1999; Hoppe & Freddo, 2003). Comentando sobre a maneira de se maximizar o crescimento e vigor de *Pinus taeda*, razões de copa acima de 40% da altura total devem ser mantidas, de acordo com Harrington (2001); Dean & Baldwin (1993). A permanência do tratamento Tuna 7 (40%) no grupo de poda C foi devido ao fato de que as podas até 8cm de diâmetro estavam sendo realizadas neste tratamento até 2003, ocasionando seu menor incremento em DAP. As maiores perdas de crescimento diamétrico são ocasionadas por podas até 8cm de diâmetro, em seguida por podas até 30% de copa viva.

De acordo com a Tabela 14, três tratamentos de dois experimentos não fizeram parte dos ajustes das equações dos diferentes grupos de regime de poda, por serem considerados muito drásticos e não representativos de um sistema racional de manejo. Foram eles os tratamentos números 3 e 4 do experimento Tuna, representado os tratamentos 2 metros de copa remanescente e 30% de

copa verde remanescente, e o tratamento 1 do experimento Toca, representando 30% de copa verde remanescente.

6.4 Análise da influência da poda no volume e forma da árvore

Utilizando os dados de cubagem realizados no experimento Gaire e os dados da Tabela 14, os dados dos diferentes tratamentos foram agrupados de acordo com os três grupos de poda, A, B e C. Com esses valores foram realizadas duas análises de variância, onde as variáveis analisadas foram o fator de forma e volume total de cada árvore. As Tabelas 15 e 16 mostram os resultados dessas análises, para volume total e fator de forma respectivamente.

TABELA 15 Análise de variância para volume total do experimento Gaire.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0,164	0,082	4,443	0,013
Bloco	2	0,137	0,068	3,712	0,026
Erro	182	3,350	0,018		
Total	186	3,650			
CV%	23,43				

TABELA 16 Análise de variância para fator de forma do experimento Gaire.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	2	0,121	0,060	48,049	0,000
Bloco	2	0,050	0,025	19,764	0,000
Erro	182	0,228	0,001		
Total	186	0,399			
CV%	5,81				

Como a diferença entre tratamentos foi significativa tanto para volume como para fator de forma, um teste de médias Scott-Knott a 5% de significância foi aplicado, conforme apresentado na Tabela 17.

TABELA 17 Resultado do teste de médias Scott-Knott para volume e fator de forma.

Grupo	Volume	FF
A	0,635 a	0,558 c
B	0,602 a	0,592 b
C	0,556 b	0,629 a

Obs* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si estatisticamente a 5% de significância.

Analisando a Tabela 17, verificaram-se que árvores que recebem uma ou duas toras produzem volumes estatisticamente iguais, enquanto árvores que recebem três toras apresentam um decréscimo em produção de volume. Em contra partida, as árvores que recebem mais toras tem a tendência a serem menos cônicas, devido ao maior crescimento que ocorre na base da copa viva, conforme relatado por Labyak & Schumacher (1954).

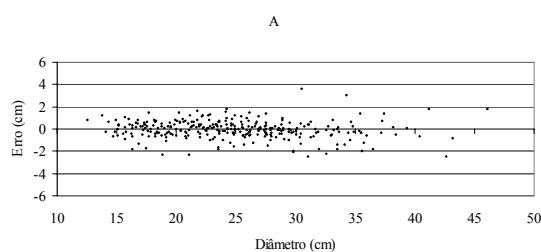
Estes resultados indicam a vantagem de aplicar podas para duas toras, pois, além de não ocorrer um declínio no crescimento em volume comparado às podas de uma tora, a poda de duas toras ainda proporciona a vantagem de gerar árvores menos cônicas, quando comparado às podas de uma tora. A poda de três toras, apesar de gerar árvores com menor volume, apresentou as árvores com menor conicidade.

Baseado na afirmativa que diferentes regimes de poda geram árvores com diferentes formas de fuste, foram ajustadas três diferentes funções de afilamento, uma para cada grupo de poda. A Tabela 18 mostra os parâmetros, potências e estatísticas de precisão ajustados para os modelos de afilamento.

TABELA 18 Parâmetros, potências e estatísticas de precisão das equações de afilamento para os três diferentes grupos de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Característica	Grupo de poda					
	A		B		C	
β_0	30,3757*	-	30,7817*	-	25,850*	-
β_1	-29,6932*	0,004	-30,1107*	0,004	-25,083*	0,004
β_2	0,3731*	1	0,4642*	1	-0,5484*	2
β_3	-1,2702*	2	-1,2860*	2	2,0340*	10
β_4	0,2146*	20	0,1509*	25	-2,2526*	60
Syx (cm)	0,7955		0,7271		0,8666	
R^2	99,1473		99,1292		98,5604	

Como estas equações darão subsídios para estimar o volume produzido em diferentes partes das árvores, o seu ajuste correto e sem tendências é fundamental. De acordo com os medidas de precisão de ajuste apresentadas na Tabela 18, pode-se determinar um bom ajuste para as três equações, com valores de R^2 próximos a 100% e erros padrões médios abaixo de 1cm para as três equações ajustadas. A Figura 8 mostra os resíduos gerados pelos modelos plotados contra os diâmetros estimados.



...continua...

FIGURA 8 Gráficos de resíduos encontrados para as três funções de afilamento.

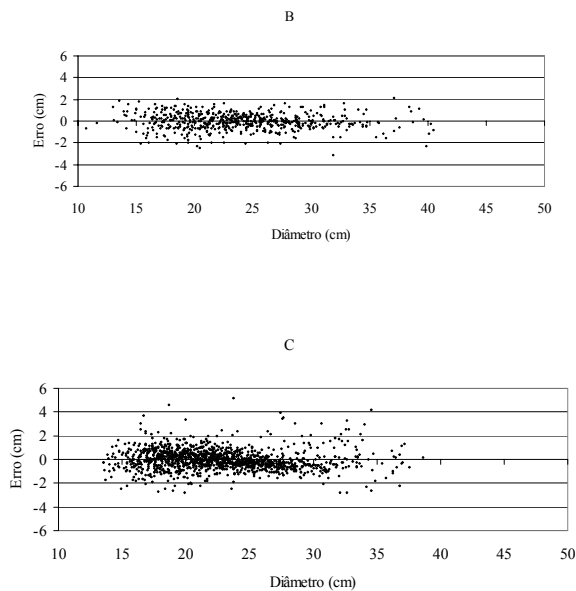


FIGURA 8, Cont.

Analisando-se os gráficos de resíduo na Figura 8 pode-se ver que todos três apresentam uma boa distribuição dos resíduos, estando eles distribuídos uniformemente ao longo do eixo central, o que confere segurança na aplicação e extrapolação das equações ajustadas.

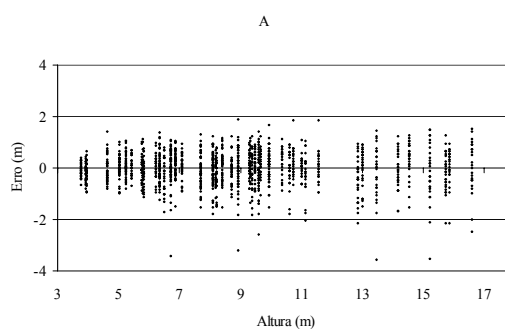
6.5 Ajuste dos modelos de altura total para os três grupos de poda

Para ter compatibilidade entre as equações, o ajuste dos modelos de altura total foi feito com a mesma base de estratificação de DAP, portanto será gerada uma equação de altura para cada grupo de poda. A Tabela 19 mostra as estatísticas de precisão e os parâmetros ajustados para os três modelos de altura total.

TABELA 19 Parâmetros e estatísticas de precisão das equações de altura total para os três diferentes grupos de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Grupo	Parâmetros			Estatísticas	
	β_0	β_1	β_2	S_{v_x} (m)	R^2
A	-0,15681*	0,02007*	0,83253*	0,64	96,12
B	-0,38200*	0,01243*	0,90334*	0,77	94,08
C	-0,44326*	0,02335*	0,82838*	0,67	96,8

Analisando a Tabela 19, nota-se que as estatísticas de ajuste estão boas, apresentando altos valores de correlação e baixos valores de erro padrão residual. A Figura 9 mostra os gráficos de resíduos para as três equações plotados sobre a altura estimada.



...continua...

FIGURA 9 Gráficos de resíduos encontrados para as três equações de altura total.

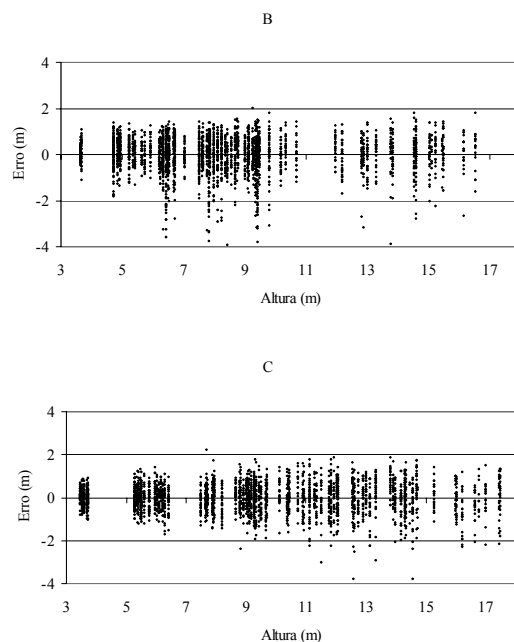


FIGURA 9, Cont.

Analisando os gráficos de resíduo na Figura 9 pode-se ver que todos três apresentam uma boa distribuição dos resíduos, estando eles distribuídos uniformemente ao longo do eixo central.

6.6 Modelagem do DAP em função do comprimento de copa para os três grupos de poda

Com o objetivo de melhor visualizar o comportamento do comprimento de copa, em relação ao DAP, a Figura 10 mostra um gráfico do comprimento de copa em relação ao DAP.

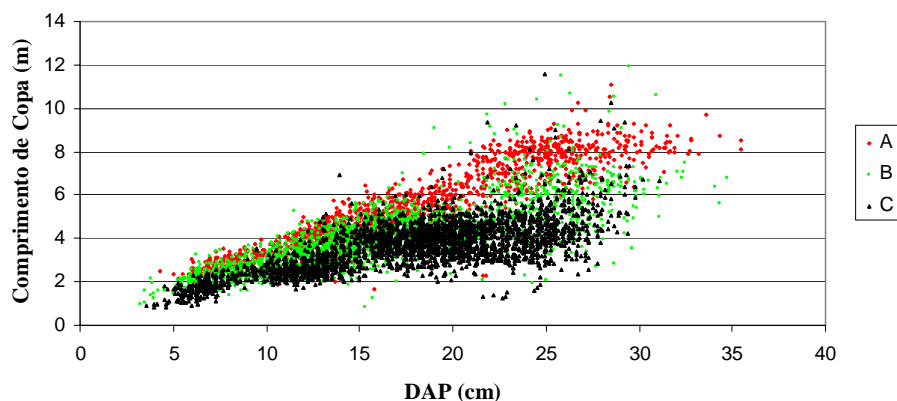
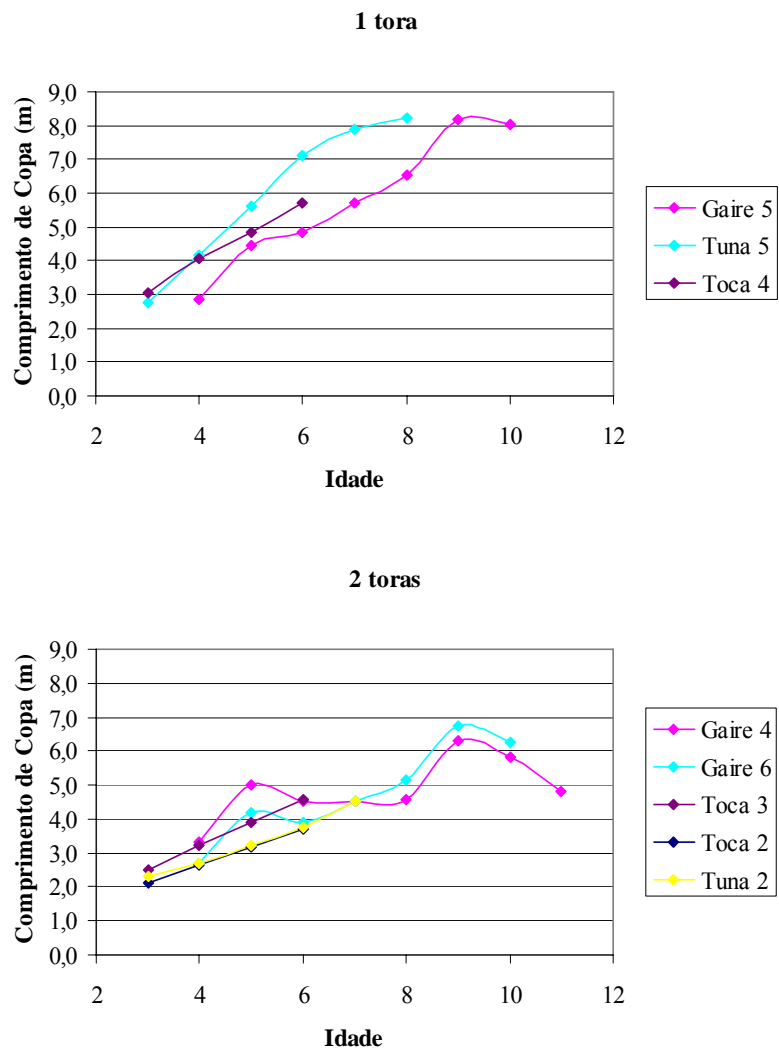


FIGURA 10 Comportamento do comprimento de copa, em função do DAP, para os três grupos de poda estipulados, onde A = 1 tora, B = 2 toras e C = 3 toras.

De acordo com a Figura 10, os tratamentos que apresentaram os maiores DAP's também tiveram maiores valores de comprimento de copa, atestando o potencial desta variável, quando aplicada a modelos de regressão, para estimar DAP submetidos a diferentes regimes de poda. Para melhor entender o comportamento da variável comprimento de copa através da idade, gráficos foram elaborados contemplando os diferentes grupos de padrões de poda, como pode ser observado na Figura 11.

Como mostra a Figura 11, ocorre um nítido comportamento de decréscimo do comprimento de copa, na medida em que aumentamos o número de toras desejadas. Considerando o padrão de uma tora, os valores de comprimento de copa atingem o valor de aproximadamente 8m aos 10 anos de idade. O valor de comprimento de copa cai para aproximadamente 6m, considerando duas toras e 5,5m, considerando 3 toras, para a idade de 11 anos.



...continua...

FIGURA 11 Comportamento do Comprimento de Copa ao longo da idade da floresta.

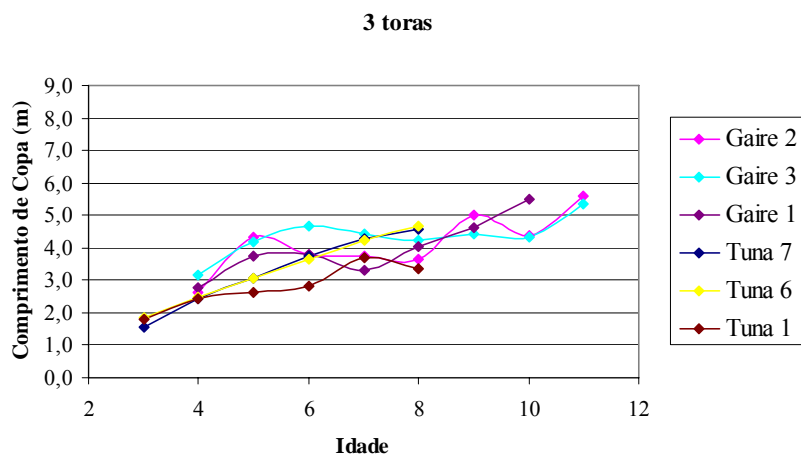


FIGURA 11, Cont.

Na Tabela 20 podem-se encontrar os valores referentes às medidas de precisão e parâmetros ajustados. Notam-se que os valores do erro padrão residual estão situados entre 1,68 e 2,53cm, para os modelos de 3 e 2 toras, respectivamente, valores considerados satisfatórios. Os valores de R^2 , também se concentraram em uma faixa aceitável, variando de 81,16 a 91,47%, para os modelos de 2 e 3 toras respectivamente.

TABELA 20 Parâmetros e estatísticas de precisão encontrados da modelagem do DAP para os três diferentes grupos de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Grupo	Parâmetros				Estatísticas	
	β_0	β_1	β_2	β_3	S_{yx} (cm)	R^2
A	6,49548*	0,0964741*	-27,8299*	1,48297*	1,95	90,65
B	6,10536*	0,136607*	-26,7945*	1,02443*	2,53	81,16
C	15,2411*	0,103353*	-50,3545*	0,189123*	1,68	91,47

Para ter maior segurança na modelagem empregada, os resíduos das equações foram plotados em relação ao DAP estimado, conforme ilustrado na Figura 12.

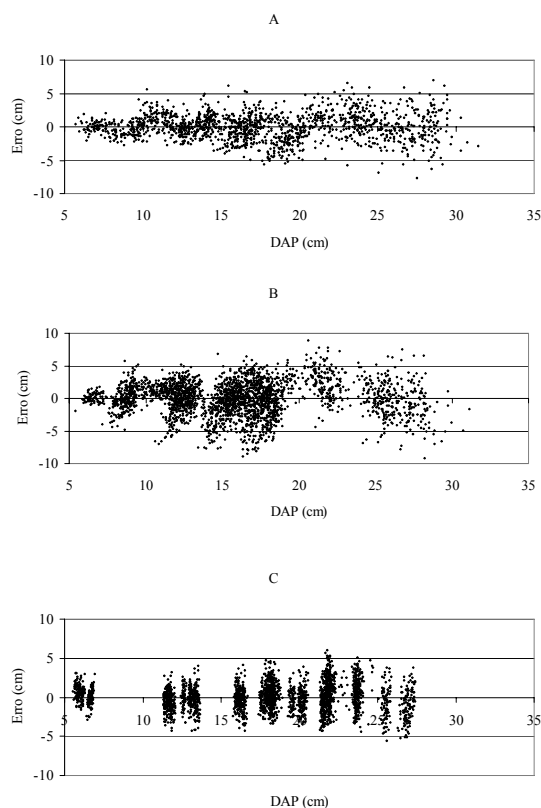


FIGURA 12 Gráficos de resíduos encontrados para as três equações ajustadas de DAP.

Analisando as figuras acima, pode-se concluir que os erros dos ajustes das equações de DAP não apresentaram tendências capazes de afetar negativamente a aplicação dos modelos. Conforme já notado nas análises quantitativas de qualidade de ajuste, o modelo de 2 toras foi o que apresentou a maior amplitude da dispersão dos erros, porém, a sua distribuição se encontra

razoavelmente bem distribuída em torno do eixo central, característica de extrema importância para garantir uma modelagem sem tendências.

6.7 Modelagem do DAP e altura para os sub-grupos de poda

Foram obtidas sete novas bases de dados e logo sete modelos adicionais para permitir a mistura entre regimes de poda. Nas Tabelas 21 e 22 podemos encontrar os valores referentes às medidas de precisão e parâmetros ajustados dos sete modelos, para altura total e DAP respectivamente.

TABELA 21 Parâmetros e estatísticas de precisão encontrados da modelagem da altura para os grupos de mistura de regimes de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% e ** a 95% de confiança pelo teste de T.

Grupo	Parâmetros			Estatísticas	
	β_0	β_1	β_2	S_{vx} (m)	R^2
A-33%<	-0,4881*	0,0397*	0,6762*	0,61	96,37
A-33%<>	-0,2722*	0,0203*	0,8478*	0,53	97,42
B-33%<	-0,9894*	0,0049	0,967*	0,82	93,48
B-33%<>	-0,3352*	0,0266*	0,7984*	0,66	95,55
B-33%>	0,232*	0,0136**	0,8763*	0,54	96,91
C-33%<>	-0,3214*	0,0143**	0,8818*	0,73	96,11
C-33%>	-0,0715	0,0159*	0,8816*	0,56	97,74

TABELA 22 Parâmetros e estatísticas de precisão encontrados da modelagem do DAP para os grupos de mistura de regimes de poda, onde * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste de T.

Grupo	Parâmetros				Estatísticas	
	β_0	β_1	β_2	β_3	S_{vx} (m)	R^2
A-33%<	6,9938*	0,0861*	-29,7986*	1,2766*	1,52	93,03
A-33%<>	7,4523*	0,11*	-30,8069*	1,1939*	1,27	95,78

...continua...

TABELA 22, Cont.

Grupo	Parâmetros				Estatísticas	
	β_0	β_1	β_2	β_3	S_{yx} (m)	R^2
B-33%<	4,1271*	0,1277*	-21,7472*	1,0345*	2,26	82,71
B-33%<>	7,3886*	0,1614*	-30,9729*	0,3967*	1,4	89,77
B-33%>	9,5929*	0,1726*	-35,078*	0,2972*	1,71	91,18
C-33%<>	14,9271*	0,107*	-49,2587*	0,1699*	1,59	92,3
C-33%>	16,4837*	0,1122*	-52,6613*	0,0457	1,22	95,63

Analisando os valores das Tabelas 21 e 22, referentes ao ajuste da altura total e DAP, nota-se que as características indicativas de qualidade de ajuste estão satisfatórias, com os valores de R^2 , variando de 93,48 a 97,74% e 82,71 a 95,78% e S_{yx} , variando de 0,53 a 0,82m e 1,22 a 2,26cm, para altura e DAP respectivamente. Apesar de alguns parâmetros apresentados nas Tabelas 21 e 22 não apresentarem significância, eles foram mantidos nos modelos, por ajudarem na estabilidade da distribuição dos resíduos.

6.8 Simulação do crescimento de DAP, para diferentes regimes de poda

De posse das equações para estimar altura e diâmetro, em regimes de poda únicos e mistos, simulações foram empregadas para averiguar o comportamento das características florestais ao longo da vida do plantio. Todas as informações apresentadas aqui serão referentes a uma árvore média que cada regime de poda fornece no primeiro, segundo e terceiro desbaste. Nas Tabelas 23 e 24 estão retratados os valores médios de DAP e altura que cada regime de poda gera no primeiro, segundo desbaste e corte final, para índice de sítio 12,5 e 17,5 respectivamente. Nas Tabelas 23 e 24, os números dos regimes significam quantas toras podadas são geradas, onde os regimes com apenas um número representam regimes com apenas um tipo de poda (informações geradas com as bases de dados totais) e os regimes com três números indicam o número de toras

podadas retiradas no primeiro, segundo desbaste e corte final (informações geradas com os sub-modelos).

TABELA 23 Comportamento do DAP e da altura total para os oito regimes de poda simulados, no índice de sítio 12,5.

Regime	1º desbaste		2º desbaste		Corte final	
	DAP	Ht	DAP	Ht	DAP	Ht
1	33,4	13,7	46,4	18,3	59,4	22,2
2	30,2	13,5	43,3	17,8	57,0	21,4
3	26,2	13,8	34,1	18,5	42,8	22,7
112	30,3	13,9	45,5	18,5	58,2	21,8
122	30,3	13,9	41,8	18,7	58,2	21,8
123	30,3	13,9	41,8	18,7	44,5	22,2
223	26,8	12,7	41,8	18,7	44,5	22,2
233	26,8	12,7	34,3	17,9	44,5	22,2

TABELA 24 Comportamento do DAP e da altura total para os oito regimes de poda simulados, no índice de sítio 17,5.

Regime	1º desbaste		2º desbaste		Corte final	
	DAP	Ht	DAP	Ht	DAP	Ht
1	40,7	18,2	55,5	24,1	69,8	29,0
2	35,8	18,3	50,2	24,1	65,0	28,8
3	28,1	18,3	36,0	24,3	44,8	29,5
112	35,6	17,5	53,1	24,4	60,9	28,9
122	35,6	17,5	44,5	24,3	60,9	28,9
123	35,6	17,5	44,5	24,3	45,2	29,4
223	32,6	18,0	44,5	24,3	45,2	29,4
233	32,6	18,0	36,1	24,0	45,2	29,4

Conforme já relatado pelas análises nos três diferentes experimentos, regimes de poda que retiram menos copa viva das árvores levam a maiores evoluções do DAP. Os valores médios das alturas variaram pouco entre regimes

de poda, resultados que também já foram indicados pelas análises dos experimentos. De uma maneira geral, os valores gerados por regimes de uma ou duas podas tendem ter valores próximos uns dos outros, onde o regime com apenas uma tora é sempre mais produtivo em DAP. Para regimes que aplicam três toras, os valores são bem mais reduzidos, em relação aos regimes de uma e duas toras. Para melhor visualizar os resultados, a Figura 13 mostra a evolução do DAP nos três regimes de poda único (1, 2 e 3) ao longo da idade.

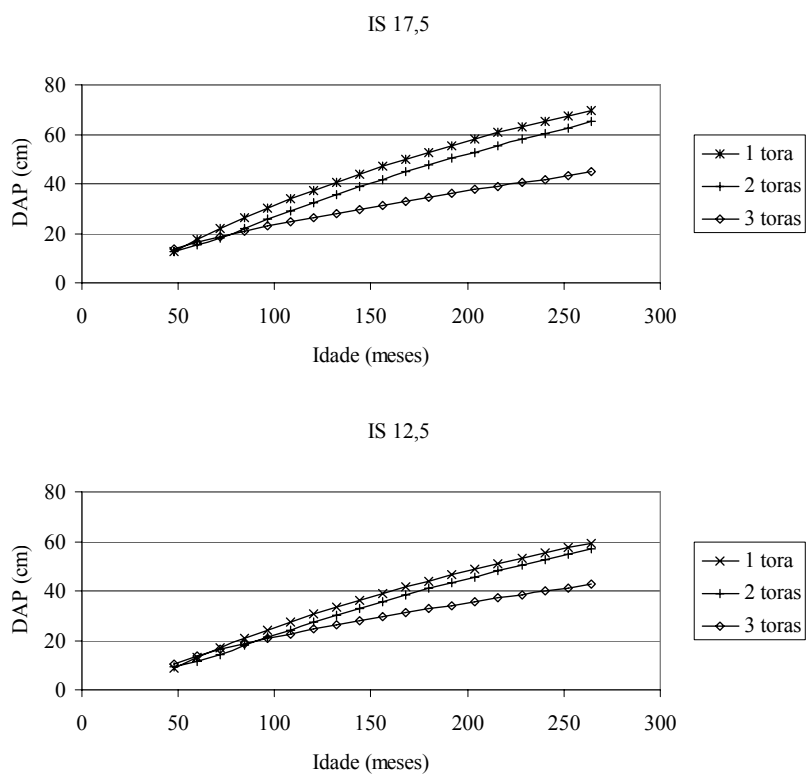


FIGURA 13 Evolução do DAP ao longo da idade para os três regimes de podas únicos para o índice de sítio 12,5 e 17,5.

De acordo com a Figura 13, os regimes de poda de uma e duas toras têm seu diâmetro médio diminuído em cerca de 10cm, quando passamos do sítio

mais produtivo para o menos produtivo, enquanto o regime de três toras mostra uma redução de apenas 2cm. Uma provável explicação para esse fato é que nos regimes de poda muito severos, o que mais está limitando o crescimento das árvores é a brusca redução da copa verde e não a capacidade produtiva do local. Esta afirmação apenas será comprovada quando os atuais experimentos de poda atingirem idades mais avançadas, pois, apenas assim, será possível comprovar se as árvores com maiores podas são capazes de recuperar o crescimento perdido por consequência da perda de copa viva nas idades mais jovens.

As informações sobre o comportamento em DAP são importantes para ter-se uma idéia de quanto se afeta o crescimento de uma floresta, quando removemos galhos verdes das árvores. Porém, em um sistema de manejo intensivo, o foco é de produzir o máximo de madeira livre de nós, que é a melhor remunerada no mercado. Com este intuito, uma metodologia foi aplicada para estimar quanto de madeira livre de nós é produzida em cada regime de poda. Para estes cálculos foram consideradas apenas as três primeiras toras de cada árvore média produzida nas diferentes épocas de intervenção da floresta. As Tabelas 25 e 26 mostram o resultado dos cálculos de volume para cada regime, época de corte e posição da tora na árvore para os oito cenários de poda avaliados, para os índices de sítio 17,5 e 12,5 respectivamente.

TABELA 25 Volume em m³ de madeira nodosa (V nó), defeituosa (V defeituoso) e livre de nós (V clear), em metros cúbicos, nas diferentes posições da árvore e diferentes épocas de corte, para os oito regimes de poda avaliados no índice de sítio 17,5. O diâmetro se refere à ponta fina da tora.

Regime	Desbaste	Tora	Diâmetro	V nó	V defeituoso	V clear
1	1	1	34,79	0,02	0,14	0,17
1	1	2	30,48	0,23	0,00	0,00
1	1	3	25,12	0,17	0,00	0,00

...continua...

TABELA 25, Cont.

Regime	Desbaste	Tora	Diâmetro	V nó	V defeituoso	V clear
1	2	1	50,18	0,02	0,14	0,51
1	2	2	45,53	0,50	0,00	0,00
1	2	3	40,76	0,41	0,00	0,00
1	CF	1	65,30	0,02	0,14	0,97
1	CF	2	59,99	0,86	0,00	0,00
1	CF	3	55,23	0,73	0,00	0,00
2	1	1	30,49	0,02	0,10	0,13
2	1	2	27,15	0,03	0,12	0,04
2	1	3	22,90	0,14	0,00	0,00
2	2	1	45,32	0,02	0,10	0,43
2	2	2	41,56	0,03	0,12	0,27
2	2	3	37,68	0,35	0,00	0,00
2	CF	1	60,59	0,02	0,10	0,85
2	CF	2	56,10	0,03	0,12	0,60
2	CF	3	52,11	0,64	0,00	0,00
3	1	1	23,42	0,02	0,07	0,06
3	1	2	20,76	0,03	0,06	0,02
3	1	3	18,15	0,04	0,04	0,00
3	2	1	31,99	0,02	0,07	0,18
3	2	2	29,06	0,03	0,06	0,11
3	2	3	26,53	0,04	0,06	0,07
3	CF	1	41,34	0,02	0,07	0,36
3	CF	2	37,93	0,03	0,06	0,25
3	CF	3	35,22	0,04	0,06	0,19
112	1	1	29,96	0,01	0,10	0,13
112	1	2	26,06	0,17	0,00	0,00
112	1	3	21,09	0,12	0,00	0,00
112	2	1	48,00	0,02	0,13	0,46
112	2	2	43,60	0,46	0,00	0,00
112	2	3	39,12	0,38	0,00	0,00
112	CF	1	56,58	0,02	0,10	0,72

...continua...

TABELA 25, Cont.

Regime	Desbaste	Tora	Diâmetro	V nó	V defeituoso	V clear
112	CF	2	52,40	0,04	0,10	0,51
112	CF	3	48,70	0,56	0,00	0,00
122	1	1	29,96	0,01	0,10	0,13
122	1	2	26,06	0,17	0,00	0,00
122	1	3	21,09	0,12	0,00	0,00
122	2	1	39,89	0,01	0,08	0,32
122	2	2	36,60	0,03	0,09	0,21
122	2	3	33,23	0,27	0,00	0,00
122	CF	1	56,58	0,02	0,10	0,72
122	CF	2	52,40	0,04	0,10	0,51
122	CF	3	48,70	0,56	0,00	0,00
123	1	1	29,96	0,01	0,10	0,13
123	1	2	26,06	0,17	0,00	0,00
123	1	3	21,09	0,12	0,00	0,00
123	2	1	39,89	0,01	0,08	0,32
123	2	2	36,60	0,03	0,09	0,21
123	2	3	33,23	0,27	0,00	0,00
123	CF	1	41,79	0,02	0,07	0,36
123	CF	2	38,34	0,04	0,06	0,25
123	CF	3	35,60	0,05	0,06	0,19
223	1	1	27,47	0,01	0,08	0,11
223	1	2	24,38	0,02	0,10	0,03
223	1	3	20,39	0,11	0,00	0,00
223	2	1	39,89	0,01	0,08	0,32
223	2	2	36,60	0,03	0,09	0,21
223	2	3	33,23	0,27	0,00	0,00
223	CF	1	41,79	0,02	0,07	0,36
223	CF	2	38,34	0,04	0,06	0,25
223	CF	3	35,60	0,05	0,06	0,19
233	1	1	27,47	0,01	0,08	0,11
233	1	2	24,38	0,02	0,10	0,03

...continua...

TABELA 25, Cont.

Regime	Desbaste	Tora	Diâmetro	V nó	V defeituoso	V clear
233	1	3	20,39	0,11	0,00	0,00
233	2	1	32,02	0,02	0,07	0,18
233	2	2	29,06	0,03	0,06	0,11
233	2	3	26,49	0,04	0,06	0,07
233	CF	1	41,79	0,02	0,07	0,36
233	CF	2	38,34	0,04	0,06	0,25
233	CF	3	35,60	0,05	0,06	0,19

TABELA 26 Volume em m³ de madeira nodosa (V nó), defeituosa (V defeituoso) e livre de nós (V clear), em metros cúbicos, nas diferentes posições da árvore e diferentes épocas de corte, para os oito regimes de poda avaliados no índice de sítio 12,5. O diâmetro se refere à ponta fina da tora.

Regime	Desbaste	Tora	Diâmetro	V nó	V defeituoso	V clear
1	1	1	26,89	0,00	0,08	0,11
1	1	2	21,83	0,13	0,00	0,00
1	1	3	14,54	0,08	0,00	0,00
1	2	1	40,08	0,00	0,08	0,34
1	2	2	35,13	0,31	0,00	0,00
1	2	3	28,97	0,23	0,00	0,00
1	CF	1	53,39	0,00	0,08	0,67
1	CF	2	48,07	0,57	0,00	0,00
1	CF	3	42,26	0,45	0,00	0,00
2	1	1	24,26	0,01	0,06	0,09
2	1	2	20,01	0,01	0,07	0,03
2	1	3	13,62	0,06	0,00	0,00
2	2	1	37,38	0,01	0,06	0,30
2	2	2	33,12	0,01	0,07	0,19
2	2	3	27,61	0,21	0,00	0,00
2	CF	1	51,19	0,01	0,06	0,62

...continua...

TABELA 26, Cont.

Regime	Desbaste	Tora	Diâmetro	V nó	V defeituoso	V clear
2	CF	2	46,47	0,01	0,07	0,44
2	CF	3	41,10	0,42	0,00	0,00
3	1	1	20,74	0,01	0,06	0,05
3	1	2	17,59	0,02	0,05	0,01
3	1	3	14,39	0,03	0,03	0,00
3	2	1	29,11	0,01	0,06	0,16
3	2	2	25,84	0,02	0,05	0,10
3	2	3	22,64	0,03	0,04	0,06
3	CF	1	38,19	0,01	0,06	0,32
3	CF	2	34,52	0,02	0,05	0,22
3	CF	3	31,25	0,03	0,04	0,17
112	1	1	24,20	0,00	0,07	0,09
112	1	2	19,73	0,11	0,00	0,00
112	1	3	13,31	0,06	0,00	0,00
112	2	1	39,36	0,01	0,08	0,33
112	2	2	34,56	0,30	0,00	0,00
112	2	3	28,64	0,22	0,00	0,00
112	CF	1	52,43	0,01	0,08	0,63
112	CF	2	47,67	0,02	0,08	0,45
112	CF	3	42,34	0,45	0,00	0,00
122	1	1	24,20	0,00	0,07	0,09
122	1	2	19,73	0,11	0,00	0,00
122	1	3	13,31	0,06	0,00	0,00
122	2	1	36,21	0,01	0,06	0,28
122	2	2	32,35	0,01	0,07	0,18
122	2	3	27,50	0,20	0,00	0,00
122	CF	1	52,43	0,01	0,08	0,63
122	CF	2	47,67	0,02	0,08	0,45
122	CF	3	42,34	0,45	0,00	0,00
123	1	1	24,20	0,00	0,07	0,09
123	1	2	19,73	0,11	0,00	0,00

...continua...

TABELA 26, Cont.

Regime	Desbaste	Tora	Diâmetro	V nó	V defeituoso	V clear
123	1	3	13,31	0,06	0,00	0,00
123	2	1	36,21	0,01	0,06	0,28
123	2	2	32,35	0,01	0,07	0,18
123	2	3	27,50	0,20	0,00	0,00
123	CF	1	39,74	0,01	0,07	0,34
123	CF	2	35,86	0,02	0,06	0,23
123	CF	3	32,37	0,03	0,05	0,18
223	1	1	20,98	0,00	0,04	0,07
223	1	2	16,92	0,00	0,05	0,02
223	1	3	10,67	0,04	0,00	0,00
223	2	1	36,21	0,01	0,06	0,28
223	2	2	32,35	0,01	0,07	0,18
223	2	3	27,50	0,20	0,00	0,00
223	CF	1	39,74	0,01	0,07	0,34
223	CF	2	35,86	0,02	0,06	0,23
223	CF	3	32,37	0,03	0,05	0,18
233	1	1	20,98	0,00	0,04	0,07
233	1	2	16,92	0,00	0,05	0,02
233	1	3	10,67	0,04	0,00	0,00
233	2	1	29,09	0,01	0,06	0,16
233	2	2	25,71	0,02	0,05	0,10
233	2	3	22,36	0,03	0,04	0,06
233	CF	1	39,74	0,01	0,07	0,34
233	CF	2	35,86	0,02	0,06	0,23
233	CF	3	32,37	0,03	0,05	0,18

As tabelas 25 e 26 mostram que os regimes de poda que geram as toras mais grossas são os que contemplam uma e duas toras, que atingem cerca de 50cm, para o sítio 17,5 e 40cm, para os sítio 12,5. Isto é importante, pois, toras mais grossas alcançam preços maiores do que toras mais finas. De uma maneira geral, também podemos verificar que as toras dos regimes de uma e duas toras

atingem maiores valores de madeira livre de nós na época do corte final, indicando que mesmo sendo as árvores com três toras menos cônicas, isto não é capaz de superar a perda em crescimento imposta nestas árvores. Para uma melhor visualização dos dados, as Tabelas 27 e 28 apresentam um resumo das Tabelas 25 e 26 respectivamente.

TABELA 27 Resumo dos volumes em m³ obtidos no primeiro, segundo desbaste e corte final, para os oito regimes de podas simulados no sítio 17,5.

Regime	1 desbaste		2 desbaste		Corte Final		Resumo	
	Total	Livre de nós	Total	Livre de nós	Total	Livre de nós	Total	Livre de nós
1	0,73	0,17	1,58	0,51	2,71	0,97	5,02	1,64
2	0,57	0,17	1,30	0,70	2,35	1,45	4,22	2,32
3	0,34	0,08	0,64	0,37	1,08	0,81	2,06	1,25
112	0,54	0,13	1,45	0,46	2,05	1,23	4,03	1,82
122	0,54	0,13	1,01	0,53	2,05	1,23	3,60	1,89
123	0,54	0,13	1,01	0,53	1,11	0,80	2,65	1,45
223	0,46	0,15	1,01	0,53	1,11	0,80	2,57	1,48
233	0,46	0,15	0,64	0,37	1,11	0,80	2,21	1,32

TABELA 28 Resumo dos volumes em m³ obtidos no primeiro, segundo desbaste e corte final, para os oito regimes de podas simulados no sítio 12,5.

Regime	1 desbaste		2 desbaste		Corte Final		Resumo	
	Total	Livre de nós	Total	Livre de nós	Total	Livre de nós	Total	Livre de nós
1	0,41	0,11	0,97	0,34	1,77	0,67	3,15	1,11
2	0,33	0,12	0,85	0,49	1,64	1,06	2,82	1,68
3	0,25	0,07	0,52	0,32	0,91	0,71	1,69	1,10
112	0,33	0,09	0,94	0,33	1,72	1,08	2,99	1,49
122	0,33	0,09	0,80	0,45	1,72	1,08	2,85	1,62
123	0,33	0,09	0,80	0,45	0,99	0,75	2,12	1,29
223	0,24	0,10	0,80	0,45	0,99	0,75	2,03	1,29
233	0,24	0,10	0,52	0,32	0,99	0,75	1,75	1,16

Analisando as Tabelas 27 e 28 percebe-se claramente a superioridade dos regimes que contemplam duas toras. Para os dois índices de sítio avaliados, o regime que proporcionou o maior volume de madeira foi o de uma tora em todas as árvores. Mas o regime que forneceu a maior quantidade em madeira livre de nós foi o de duas toras em todas as árvores, para ambos os sítios. Para ambos os sítios, o regime de duas toras mostrou uma nítida superioridade em produção de madeira livre de nós, sendo seguido pelos regimes 122 e 112, que apresentaram volumes livre de nós próximos. Avaliando o volume total o regime 112 foi consideravelmente maior do que o 122.

Estes dados indicam que a poda de *Pinus taeda* até 8,55m pode não ser desejável, pois, além de ser uma operação cara e muito onerosa, gera um declínio considerável na produção da árvore, sem apresentar uma produção de madeira livre de nós superior a regimes de podas mais conservadores. Se analisarmos a prescrição de poda realizada pela Forestal Bosques del Plata S.A., localizada na Argentina, que também maneja *Pinus taeda* de maneira intensiva pode-se ver a validade desta informação. De acordo com Pezzutti (2008), esta empresa poda as melhores 350 árvores até 5,5m, que são cortadas entre 18 e 22 anos.

7 Conclusões

Quanto maior a altura de poda, menor o crescimento em DAP. Podas, até 40% da altura total da árvore, geram pouca perda no crescimento em DAP.

Árvores podem ser estimuladas a crescer em altura, quando recebem podas de leves a medianas, porém, podas muito severas causam um declínio no crescimento em altura.

A poda influencia na forma da árvore, onde podas mais severas geram árvores com menor conicidade devido ao maior crescimento em diâmetro na base da copa verde.

A variável comprimento de copa mostrou-se uma boa opção para modelar o efeito da poda na produção florestal, pois é flexível e permite simular diferentes regimes de poda com facilidade.

O regime de poda que produziu o maior volume de madeira livre de nós foi o de podas até 5,75m ou duas toras de 2,8m. Já para a maximização da produção de madeira total o regime de podas mais produtivo foi o de poda de uma tora ou até 2,95m.

Regimes de podas que atingem 8,55m ou três toras de 2,8m são muito severos e reduzem drasticamente a produção florestal, rompendo um dos conceitos do manejo florestal intensivo, que é eliminar todos os fatores que restringem o crescimento das árvores.

8 Recomendações

Os atuais experimentos de poda não são capazes de prever de maneira direta o que ocorre no crescimento florestal quando mais de um regime de poda é aplicado em um talhão. Recomenda-se a implementação de experimentos desse tipo, testando principalmente opções onde duas toras podadas são obtidas nos corte finais. Nestes experimentos fica recomendada a medição de índice de área foliar, por representar uma variável ecofisiológica com grandes potenciais para explicar a produção florestal.

Para calibrar os atuais modelos para prever o DAP em função do comprimento de copa, estudos devem ser realizados para melhor prever o comportamento desta variável ao longo da idade da floresta.

A cubagem rigorosa por métodos destrutivos de árvores submetidas a diferentes regimes de poda é desejável para melhorar os modelos de função de afilamento ajustados.

Para cálculos mais precisos de volume de madeira livre de nós, um experimento onde árvores submetidas a diferentes regimes de poda são desenroladas é desejável, pois somente assim, a real quantidade de madeira livre de nós produzida poderá ser quantificada.

9 Referências Bibliográficas

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-108, 2002.

BALLARD, S. **A treatise on the nature of trees, and the pruning of trees**. Herefordshire: Ledbury, 1833. 67 p.

BOGGESS, W. R. The effect of repeated pruning on diameter and height growth of planted slash pine. **Journal of Forestry**, Washington, v. 48, n. 5, p. 352-353, May 1950.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 67-83, 2003.

DEAN, T. J.; BALDWIN C. **Using a density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations**. New Orleans: Louisiana, USDA, 1993. (Research paper SO-275).

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

HARRINGTON, T. B. **Silvicultural basis for thinning souther pines: concepts and expected responses**. Athens, Georgia: University of Georgia, 2001. 13 p. (Forestry Commission, Report - FS001).

HOPPE, J. M.; FREDDO, A. R. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., no município de Piratini, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 47-56, 2003.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The Physiological Ecology of Woody Plants**. New York: Academic, 1991. 657 p.

LABYAK, L. F.; SCHUMACHER, F. X. The contribution of its branches to the main-stem growth of loblolly pine. **Journal of Forestry**, Washington, v. 52, n. 5, p. 333-337, 1954.

NEILSEN, W. A.; PINKARD E. A. Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 33, p. 2067-2073, 2003.

PEZZUTTI, R. V. Planificación del manejo de rodales coetáneos de *Pinus sp.*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL. Santa Maria, 2008. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2008.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm, implantado em solo pobre, no estado do rio grande do sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-46, 1999.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p. (Textos Acadêmicos).

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SHERRILL, J. R. Genetic and cultural effects on stem taper and bark thickness in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). 2005. 91 p. Thesis (Master of Science in Forestry) - North Carolina State University, North Carolina.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 39, n. 3, p. 381-390, 2005.

YOUNG, H. E.; KRAMER P. J. The effect of pruning on the height and diameter growth of loblolly pine. **Journal of Forestry**, Washington, n. 50, p. 474-479, 1952.