

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**INTER-RELAÇÕES NO CRESCIMENTO DE  
*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze  
EM DIFERENTES LOCAIS DO RIO GRANDE DO SUL**

**TESE DE DOUTORADO**

**André Felipe Hess**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2006**

**INTER-RELAÇÕES NO CRESCIMENTO DE *Araucaria  
angustifolia* (Bertol.) Kuntze EM DIFERENTES LOCAIS DO  
RIO GRANDE DO SUL**

por

**André Felipe Hess**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Florestal**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2006**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**INTER-RELAÇÕES NO CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia*  
(Bertol.) Kuntze EM DIFERENTES LOCAIS  
DO RIO GRANDE DO SUL**

Elaborada por

**André Felipe Hess**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Paulo Renato Schneider, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Franz Andrae, Dr. Dr. h.c. (BOKU)**

**Luciano Farinha Watzlawick, Dr. (UNICENTRO)**

**Frederico Dimas Fleig, Dr. (UFSM)**

**Ivanor Müller, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 15 outubro de 2006

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Renato Schneider, pela contribuição em todas as fases de desenvolvimento deste trabalho. Pelos anos de convivência, amizade, disponibilidade, facilidade de diálogo e respeito mútuo, os quais foram fundamentais.

Ao Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger, Prof. Dr. Solon Jonas Longhi, pela contribuição e colaboração.

A Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA), escritório de Santa Maria e Bagé, pela contribuição e compreensão para emissão de Licença de Corte, o qual foi de suma importância para coleta dos dados e elaboração dos resultados.

Agradeço em especial a meus familiares, especialmente, Nair Marly Hess, Suely T. M. Hess e Evani Wolff, que contribuíram afetiva e psicologicamente em todas as etapas, apoiando, amparando, e acreditando na minha capacidade de conquistar e vencer desafios. Tenham a certeza de que muito útil foram à força e luz que me enviavam.

Aos meus filhos Cauê Vivian Hess e Felipe Matheus Vivian Hess que com inteligência, paciência, alegria colaboraram e suportaram esses anos de distância e dificuldades. Saibam que seu amor, sagacidade e gratidão para comigo foram fonte inspiradora para concluir o trabalho.

Aos meus amigos de curso, e em especial a Neura Tedesco e Galvão Guedes Jr., que suportaram comigo as fases mais críticas e ajudaram na confecção do trabalho. Agradeço a energia, a espiritualidade e orientações, as quais serviram como fonte mantenedora e força para superar todas as barreiras que passei até chegar ao final.

À minha noiva Alessandra Fátima Costa e seus familiares, que com seu amor, alegria e paciência, acreditaram e confiaram na minha capacidade.

*In memoriam* a Lauro Nicolau Hess, meu pai, Arthur Hess e Hortência Hess, Ema Maurer (avós), mesmo ausentes, foram de especial participação, para construção do meu caráter, minha personalidade e iniciaram em mim a vontade de lutar, descobrir e pesquisar. Tenho certeza de que onde estão sempre terão orgulho de mim.

## RESUMO

Tese de doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **INTER-RELAÇÕES NO CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze EM DIFERENTES LOCAIS DO RIO GRANDE DO SUL**

Autor: André Felipe Hess  
Orientador: Dr. Paulo Renato Schneider  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 outubro de 2006

Este trabalho teve como objetivo comparar o crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três locais diferentes do Estado do Rio Grande do Sul (Serra do Sudeste, Encosta Superior do Nordeste e Planalto Médio), em diâmetro, altura e volume em função da idade para cada local e para os três locais em conjunto, para estabelecer o comportamento de crescimento da espécie e a possibilidade de empregar equações adequadas a cada local. Os dados permitiram realizar um estudo individualizado de funções que expressam o comportamento das principais variáveis dendrométricas, utilizadas na prognose do crescimento, sendo escolhido o modelo com melhor ajuste através do Valor Ponderado dos Escores Estatísticos. Como forma de avaliação, comparou-se o crescimento da espécie para os três locais em conjunto, com a utilização de regressão com variável dummy e através da análise de covariância. O estudo com variável dummy foi realizado com o objetivo de selecionar uma equação de crescimento em função da idade, para diâmetro, altura e volume, permitindo identificar diferenças de crescimento. A análise de covariância demonstrou que há diferenças no crescimento para cada local, havendo a necessidade de ajustar equações de crescimento em separado para cada local, para minimizar os erros de estimativa. Essa análise demonstrou que para diâmetro, altura e volume existe diferença de nível e de inclinação das curvas de crescimento, indicando que tanto o crescimento quanto a capacidade produtiva são diferentes nos três locais estudados. Pode-se comprovar que *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste, apresenta padrão de crescimento semelhante aos demais locais, indicando que neste local também pode-se investir no plantio industrial da espécie. O volume médio aos 60 anos foi de 0,6866 m<sup>3</sup>/sc na Serra do Sudeste, 0,6656 m<sup>3</sup>/sc na Encosta Superior do Nordeste e de 0,5062 m<sup>3</sup>/sc no Planalto Médio. A análise de correlação de Pearson comprovou que o volume apresentou correlação positiva com umidade relativa do ar (0,671), altitude (0,757), teor de argila (0,79), matéria orgânica (0,847) e boro (0,974). Esses altos valores de correlação de Pearson indicam a importância desses fatores ambientais no crescimento de *Araucaria angustifolia*, bem como fornece os elementos que devem conter um modelo de regressão no qual deseja-se utilizar variáveis ambientais em estudo de crescimento de araucária. Com esses resultados modelou-se equações de regressão para o incremento corrente anual em volume, relacionado a fatores ambientais, pelo procedimento stepwise, obtendo-se bom ajuste do coeficiente de determinação. Utilizou-se a variável incremento pois ela expressa o real crescimento para um período de tempo analisado. Comprovou-se que o incremento corrente anual sofre influência dos fatores ambientais, variando em conjunto com esses. Os fatores que mais influenciaram foram: pressão atmosférica, temperatura média máxima, máxima absoluta, umidade, insolação e potássio.

Palavras-chave: *Araucaria angustifolia*, crescimento florestal, manejo florestal.

## ABSTRACT

Doctor's thesis  
Post-Graduation Program in Forest Engineer  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **INTER-RELATIONS IN *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze GROWTH IN DIFFERENT PLACES IN RIO GRANDE DO SUL**

Author: André Felipe Hess  
Adviser: Dr. Paulo Renato Schneider  
Date and Place of the Defense: Santa Maria, October 15<sup>th</sup>, 2006.

This study had as objective to compare the *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze growth in three different places in Rio Grande do Sul state (Serra do Sudeste, Encosta Superior do Nordeste e Planalto Médio) in diameter, height and volume in function of age for each place and for the three places grouped, to establish the specie development behavior and the possibility to use suitable equations in each place. The data allowed to do an individualized study from the functions that express the behavior from the main dendrometric variables, using in growth prediction, being chosen the model with the best adjust through statistical weighed value of escores. As an evaluation mode, the specie growth was compared to the three places together, using the regression with dummy variable and through the covariance analysis. The study with dummy variable was done with the objective to select an equation of growth based on the age, for diameter, height and volume, allowing to identify the growth differences. The covariance analysis showed that there are differences in growth for each place, showing a necessity to adjust separated growth equations for each place, to minimize the estimative errors. This analyze showed that for diameter, height and volume there is a level and inclination difference from growth curves, indicating that even the growth and the productive capacity are different in the three studied places. It is possible to prove that *Araucaria angustifolia*, in Serra do Sudeste, shows a growth pattern similar to the other places, indicating that in this place it is also possible to invest in industrial planting from this specie. The average volume at 60 years was of 0,6866 m<sup>3</sup>/wb in Serra do Sudeste, 0,6656 m<sup>3</sup>/wb in Encosta Superior do Nordeste and 0,5062 m<sup>3</sup>/wb in Planalto Médio. The Pearson correlation analysis proved that volume showed positive correlation with relative air humidity (0,671), altitude (0,757), clay amount (0,79), organic matter (0,847) and boron (0,974). These Pearson correlation high values indicate the importance of these environmental factors in *Araucaria angustifolia* growth, as well as give the elements that a regression model should have, where environmental variables in a study of araucaria growth should be used. With these results, regression equations were modeled to annual periodic increment in volume, related to environmental factors, due to stepwise factors, obtaining a good determination coefficient adjust. The increment was used, because it expresses the real growth for a determined period of time. It was proved that annual average increment suffers the influence of environmental factors, varying joined with these. The factors that most influenced were: atmospheric pressure, maximum average temperature, absolute maximum, humidity, insolation and potassium.

Key-words: *Araucaria angustifolia*, forest growth, forest management.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Exemplar de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze, Caçapava do Sul/RS.....	21
FIGURA 2 - Araucária ocorrendo junto com vegetação de Floresta Estacional Decidual, Serra do Sudeste, Município de Caçapava do Sul/RS.....	23
FIGURA 3 - Curva de crescimento e incremento.....	33
FIGURA 4 - Regiões Fitogeográficas do Rio Grande do Sul com as três áreas de estudo da espécie.....	51
FIGURA 5 - Vegetação do Estado do Rio Grande do Sul.....	53
FIGURA 6 - Precipitação pluviométrica média anual no Rio Grande do Sul....	54
FIGURA 7 - Temperatura média anual.....	55
FIGURA 8 - Climas do Rio Grande do Sul.....	62
FIGURA 9 - Derrubada para retirada dos discos e desdobramentos das toras em tábuas.....	65
FIGURA 10 - Discos retirados para Análise de Tronco, <i>in natura</i> , e após secos e lixados para medição.....	65
FIGURA 11 - Distribuição dos resíduos da equação de diâmetro de Gram.....	79
FIGURA 12 - Crescimento em diâmetro em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	80
FIGURA 13 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro por idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	82
FIGURA 14 - Distribuição dos resíduos da equação de altura de Chapman-Richards.....	84
FIGURA 15 - Crescimento em altura em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	85
FIGURA 16 - Incremento médio e corrente anual em altura por idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	87
FIGURA 17 - Distribuição dos resíduos da equação de Gram.....	89

FIGURA 18 - Crescimento em volume em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	90
FIGURA 19 - Incremento médio e corrente anual em volume por idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	92
FIGURA 20 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Naslund modificada.....	95
FIGURA 21 - Crescimento em altura em função do diâmetro, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	96
FIGURA 22 - Distribuição dos resíduos da equação de altura de Stofells.....	97
FIGURA 23 - Distribuição dos resíduos da equação de diâmetro de Backman modificada.....	99
FIGURA 24 - Crescimento em diâmetro em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	100
FIGURA 25 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro por idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	102
FIGURA 26 - Distribuição dos resíduos da equação de altura de Backman modificada.....	104
FIGURA 27 - Crescimento em altura em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	105
FIGURA 28 - Incremento médio e corrente anual em altura por idade para <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	107
FIGURA 29 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Prodan modificada.....	109
FIGURA 30 - Crescimento em volume em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	110
FIGURA 31 - Incremento médio e corrente anual em volume sem casca por idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	112
FIGURA 32 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Prodan.....	114
FIGURA 33 - Crescimento em altura em função do diâmetro, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	116
FIGURA 34 - Distribuição dos resíduos da equação de Stofells.....	116
FIGURA 35 - Crescimento em diâmetro em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	119

FIGURA 36 - Distribuição dos resíduos da equação de Hoerl.....	119
FIGURA 37 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro por idade para <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	121
FIGURA 38 - Crescimento em altura em função da idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	124
FIGURA 39 - Distribuição dos resíduos da equação de altura de Hoerl.....	124
FIGURA 40 - Incremento médio e corrente anual em altura por idade para <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	126
FIGURA 41 - Crescimento em volume em função da idade para <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	129
FIGURA 42 - Distribuição dos resíduos para a equação de volume de Gram.	129
FIGURA 43 - Incremento médio e corrente anual em volume por idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	132
FIGURA 44 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Prodan.....	134
FIGURA 45 - Crescimento em altura em função do diâmetro de <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	136
FIGURA 46 - Dispersão dos resíduos da equação de Stofells.....	136
FIGURA 47 - Crescimento comparado do diâmetro em função da idade para os três locais.....	138
FIGURA 48 - Crescimento comparado de altura em função da idade para os três locais.....	139
FIGURA 49 - Crescimento comparado em volume em função da idade para os três locais.....	140
FIGURA 50 - Valores ajustados pela equação de Backman com variáveis dummy para diâmetro em função da idade.....	145
FIGURA 51 - Valores ajustados pela equação de Backman com variáveis dummy para altura em função da idade.....	148
FIGURA 52 - Valores ajustados pela equação de Backman com variáveis dummy para volume em função da idade.....	150
FIGURA 53 - Variações do incremento corrente anual influenciado pelos fatores ambientais, para <i>Araucaria angustifolia</i> , nos três locais estudados.....	161

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Equações testadas para crescimento do diâmetro em função da idade.....	67
TABELA 2 - Equações testadas para crescimento da altura em função da idade.....	68
TABELA 3 - Equações testadas para crescimento do volume em função da idade.....	69
TABELA 4 - Equações testadas para ajuste do volume em função do diâmetro e da altura.....	70
TABELA 5 - Equações testadas para ajuste da altura em função do diâmetro.....	70
TABELA 6 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento de diâmetro em função da idade.....	77
TABELA 7 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	78
TABELA 8 - Estimativa do crescimento em diâmetro por idade para <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	80
TABELA 9 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento da altura em função da idade.....	83
TABELA 10 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	84
TABELA 11 - Estimativa do crescimento em altura por idade para <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	85
TABELA 12 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento do volume em função da idade.....	88
TABELA 13 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	89
TABELA 14 - Incremento médio e corrente anual em volume por idade, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Serra do Sudeste.....	91

TABELA 15 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função do diâmetro e altura.....	93
TABELA 16 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	94
TABELA 17 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função do diâmetro.....	95
TABELA 18 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento do diâmetro em função da idade.....	98
TABELA 19 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	99
TABELA 20 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	100
TABELA 21 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função da idade.....	103
TABELA 22 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	104
TABELA 23 - Incremento médio e corrente anual em altura, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	105
TABELA 24 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função da idade.....	108
TABELA 25 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	109
TABELA 26 - Incremento médio e corrente anual em volume, <i>Araucaria angustifolia</i> , no Planalto Médio.....	111
TABELA 27 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função da idade.....	113
TABELA 28 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	114
TABELA 29 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função do diâmetro.....	115
TABELA 30 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em diâmetro em função da idade.....	117

TABELA 31 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	118
TABELA 32 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	120
TABELA 33 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função da idade.....	122
TABELA 34 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	123
TABELA 35 - Incremento médio e corrente anual em altura, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	125
TABELA 36 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função da idade.....	127
TABELA 37 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	128
TABELA 38 - Incremento médio e corrente anual e volume, <i>Araucaria angustifolia</i> , na Encosta Superior do Nordeste.....	130
TABELA 39 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função do diâmetro e altura.....	133
TABELA 40 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.....	134
TABELA 41 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função do diâmetro.....	135
TABELA 42 - Análise de covariância para crescimento em diâmetro em função da idade.....	141
TABELA 43 - Análise de covariância para crescimento em altura em função da idade.....	142
TABELA 44 - Análise de covariância para crescimento em volume em função da idade.....	143
TABELA 45 - Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy para crescimento do diâmetro em função da idade, para <i>Araucaria angustifolia</i> .....	144

TABELA 46 - Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy para crescimento da altura em função da idade, para <i>Araucaria angustifolia</i> .....	146
TABELA 47 - Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy para crescimento do volume em função da idade, para <i>Araucaria angustifolia</i> .....	149
TABELA 48 - Estatística, médias, desvio padrão e limites mínimo e máximo dos fatores ambientais.....	152
TABELA 49 - Correlação de Pearson para o volume e os fatores do meio ambiente.....	153
TABELA 50 - Coeficientes do modelo de regressão e parâmetros estatísticos da equação do incremento corrente anual em função dos fatores ambientais.....	158
TABELA 51 - Resumo estatístico da seleção stepwise.....	160

## LISTAS DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

IMA	Incremento médio anual
ICA	Incremento corrente anual
IPA	Incremento periódico anual
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>st</sup>	Metro stereo
Cm	Centímetros
M	Metros
Km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
ha	Hectare
R <sup>2</sup> <sub>Aj</sub>	Coefficiente de determinação ajustado
S <sub>yx</sub>	Erro padrão da estimativa
FV	Fonte de variação
GL	Graus de liberdade
SQ	Soma de quadrados
QM	Quadrado médio
F	Valor de F calculado
prob F	Probabilidade de significância para F
dap	Diâmetro a altura do peito
h	Altura média aritmética
ACA	Amostra por Contagem Angular
u.a.	Unidade amostral
FAB	Fator de Área Basal
K	Fator de Área Basal
°C	Graus centígrados
N	Número de árvores por hectare
t	Idade
%M.O.	Porcentagem de matéria orgânica
N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
B	Boro
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Cu	Cobre
Zn	Zinco
K	Potássio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1.1 Objetivos</b> .....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	21
<b>2.1 O gênero araucária</b> .....	21
<b>2.2 A Floresta com Araucária</b> .....	23
<b>2.3 Crescimento e sítios florestais</b> .....	26
<b>2.4 Crescimento e fatores ambientais</b> .....	29
2.4.1 Fonte de dados.....	33
2.4.2 Idade e crescimento.....	34
2.4.3 Clima.....	36
2.4.4 Fisiografia.....	37
2.4.5 Altitude.....	38
2.4.6 Déficit hídrico do solo.....	39
<b>2.5 Elementos químicos do solo</b> .....	41
2.5.1 Crescimento e nutrientes do solo.....	42
<b>2.6 Aplicação da estatística na área florestal</b> .....	44
2.6.1 Análise de regressão com variáveis dummy/fictícias.....	45
2.6.2 Análise de covariância.....	46
<b>2.7 Crescimento baseado em processo fisiológico – Modelo 3-PG</b> .....	48
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	49
<b>3.1 Caracterização da área de estudo</b> .....	49
3.1.1 Região do Planalto Médio – Município de Passo Fundo.....	49
3.1.2 Região da Encosta Superior do Nordeste – Município de Canela.....	56
3.1.3 Região da Serra do Sudeste – Município de Caçapava do Sul.....	59
<b>3.2 Método de amostragem</b> .....	62
3.2.1 Amostragem na Serra do Sudeste.....	62
3.2.2 Amostragem no Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste.....	63
3.2.3 Coleta de dados para estudo do crescimento.....	64
3.2.4 Amostragem do solo.....	66

<b>3.3 Equações testadas para o crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade.....</b>	<b>67</b>
<b>3.4 Crescimento do volume em função do diâmetro e altura.....</b>	<b>69</b>
<b>3.5 Crescimento da altura em função do diâmetro.....</b>	<b>70</b>
<b>3.6 Critérios de seleção dos modelos matemáticos, análise estatística.....</b>	<b>71</b>
3.6.1 Coeficiente de determinação ajustado.....	71
3.6.2 Erro padrão da estimativa.....	71
3.6.3 Coeficiente de variação.....	72
3.6.4 Valor de F.....	72
3.6.5 Valor Ponderado.....	72
3.6.6 Distribuição gráfica dos resíduos.....	73
<b>3.7 Análise de regressão com variáveis dummy.....</b>	<b>73</b>
<b>3.8 Análise de covariância.....</b>	<b>73</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>74</b>
<b>4.1 Crescimento de <i>Araucaria angustifolia</i> na Serra do Sudeste.....</b>	<b>76</b>
4.1.1 Crescimento do diâmetro em função da idade.....	76
4.1.2 Crescimento em altura em função da idade.....	82
4.1.3 Crescimento em volume em função da idade.....	88
4.1.4 Crescimento em volume em função do diâmetro e altura.....	93
4.1.5 Crescimento em altura em função do diâmetro.....	95
<b>4.2 Crescimento de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Médio.....</b>	<b>97</b>
4.2.1 Crescimento do diâmetro em função da idade.....	97
4.2.2 Crescimento em altura em função da idade.....	103
4.2.3 Crescimento em volume em função da idade.....	108
4.2.4 Crescimento em volume em função do diâmetro e altura.....	113
4.2.5 Crescimento em altura em função do diâmetro.....	115
<b>4.3 Crescimento de <i>Araucaria angustifolia</i> na Encosta Superior do Nordeste.....</b>	<b>117</b>
4.3.1 Crescimento do diâmetro em função da idade.....	117
4.3.2 Crescimento em altura em função da idade.....	122
4.3.3 Crescimento em volume em função da idade.....	127
4.3.4 Crescimento em volume em função do diâmetro e altura.....	132
4.3.5 Crescimento em altura em função do diâmetro.....	135

<b>4.4 Crescimento comparado de diâmetro, altura e volume em função da idade para <i>Araucaria angustifolia</i>, para os três locais amostrados</b> .....	137
4.4.1 Crescimento em diâmetro em função da idade para os três locais.....	137
4.4.2 Crescimento em altura em função da idade para os três locais.....	138
4.4.3 Crescimento em volume em função da idade para os três locais.....	139
<b>4.5 Análise de covariância para verificar diferenças de crescimento em diâmetro, altura e volume por idade para <i>Araucaria angustifolia</i> nos três locais estudados</b> .....	141
4.5.1 Análise de covariância para crescimento do diâmetro em função da idade.....	141
4.5.2 Análise de covariância para crescimento da altura em função da idade.....	142
4.5.3 Análise de covariância para crescimento em volume em função da idade.....	142
<b>4.6 Análise do crescimento em diâmetro, altura e volume com variável dummy</b> .....	143
4.6.1 Crescimento em diâmetro comparado com variável dummy.....	144
4.6.2 Crescimento em altura comparado com variável dummy.....	146
4.6.3 Crescimento em volume comparado com variável dummy.....	148
<b>4.7 Análise de correlação de volume com fatores ambientais e nutrientes do solo</b> .....	151
<b>4.8 Variação no incremento corrente anual devido aos fatores ambientais</b> .....	157
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	163
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	165
<b>ANEXOS</b> .....	178

# 1 INTRODUÇÃO

O processo de redução drástica da extensão dos maciços florestais de pinheiro, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze ocorreu, inicialmente com a instalação de centenas de indústrias madeireiras, em toda a área de dispersão natural desta espécie, interessadas no aproveitamento de sua madeira de altíssima qualidade. Posteriormente, a agricultura da queima da roça incubiu-se de levar a extinção grandes áreas de florestas, as quais pareciam inesgotáveis. Atualmente, esta espécie é encontrada em áreas reduzidas, tanto em sua forma primária como em florestas secundárias, provenientes da regeneração natural ocorrida após a exploração da floresta primária.

Devido a isto, a adoção dos conceitos de desenvolvimento sustentável torna-se uma necessidade e uma exigência em nível mundial, como forma de satisfazer as necessidades humanas, garantir a conservação da natureza e, a própria sobrevivência do homem.

Salienta-se, que conservar os recursos naturais no bioma Floresta de Araucária é um grande desafio para as regiões onde ocorre. Nem só conservar, mas, sobretudo, saber usar, pois a preservação integral dos fragmentos florestais por força da lei e da fiscalização não é por si só capaz de manter em quantidade e qualidade. A desestruturação e a perda da diversidade das florestas remanescentes são indicadores incontestáveis das ineficácias da política atualmente imposta.

No início dos anos 60, com a introdução de espécies exóticas, de rápido crescimento, como *Pinus* e *Eucalyptus*, certa porcentagem foi transformada em reserva legal, conservando redutos de araucária. Em consequência do pouco conhecimento da auto-ecologia da espécie e do desinteresse econômico, aumentou a desimportância no uso da espécie, apesar de seu alto valor comercial e sua finalidade nobre.

O uso dos recursos florestais é regido por instrumentos legais e políticas implementadas em nível federal e estadual, onde se destaca o Manejo Florestal Sustentável. Segundo a FAO (1972), o Manejo Florestal Sustentável é realizado seguindo orientação técnica, conservando a base dos recursos naturais, a fim de

que proporcione a satisfação contínua das necessidades humanas para a atual e as futuras gerações. Destaca-se também, o conceito de Desenvolvimento Sustentável e uso múltiplo na área florestal, que significa o uso e apropriação dos recursos florestais, conservando a terra, a água, o patrimônio genético, mediante a utilização de métodos tecnicamente apropriados (Jonas, 2003).

Nesse contexto encontram-se as Florestas de Araucária. De espécie rara e restrita ao sul do Brasil, este tipo fitogeográfico foi explorado de modo indiscriminado desde o primeiro terço do século passado. Após ter oferecido significativa contribuição ao processo de desenvolvimento regional, econômico, o pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) figura, hoje, na lista de espécies ameaçadas de extinção.

Ademais, o estudo da relação entre a capacidade produtiva de povoamentos florestais, atributos do solo e do relevo, isto é, do potencial produtivo e das principais limitações à produção de uma determinada área ou região, torna-se essencial quando se tem como objetivo o manejo racional da floresta e dos recursos indiretos por ela mantidos, evitando a exaustão e degradação, visando à máxima produtividade sustentável, principalmente, quando se referem às florestas nativas (Jonas, 2003).

O comportamento de crescimento específico para cada região, aliado a integração com fatores selecionados do ambiente possibilita ao silvicultor/manejador, reconhecer e visualizar em conjunto, características distintas da floresta, permitindo relacionar a capacidade produtiva do povoamento, bem como realizar o zoneamento (da produtividade, dos atributos da espécie, do solo e/ou relevo, do clima), possibilitando o desenvolvimento de ferramentas para tomada de decisão na intervenção nos povoamentos.

Conhecer o padrão de crescimento de florestas, ou na forma simples, de uma espécie florestal, traduz-se em benefícios ambientais, sociais e econômicos das técnicas do manejo florestal. Conseguir expressar matematicamente o crescimento de variáveis dendrométricas no tempo de uma espécie e, se possível agregado a variáveis ambientais, reflete a capacidade de administrar florestas em função das necessidades do homem, e mais bem ainda sua habilidade de não depredar o meio ambiente.

A discriminação de áreas com diferentes capacidades produtivas em diferentes regiões onde ocorre a espécie, e, sua correlação com fatores do

ambiente, são subsídios imprescindíveis à exploração racional de florestas nativas, uma das mais importantes variáveis do manejo florestal, devido às ameaças de extinção das espécies, preservação e conservação dos bosques remanescentes e restrições legais.

### **1.1 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho foi o de estudar as inter-relações do crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em diferentes regiões fitogeográficas do Rio Grande do Sul.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- a) Ajustar modelos matemáticos, para estudar o crescimento em diâmetro, altura e volume no tempo;
- b) Relacionar o crescimento com fatores ambientais;
- c) Identificar as variáveis que, direta ou indiretamente, influenciam no potencial de crescimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O gênero araucária

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, vulgarmente conhecida como pinheiro-do-paraná, apresentada na Figura 1, já foi a principal espécie arbórea brasileira explorada comercialmente. Essa conífera dióica polinizada pelo vento foi submetida à exploração ostensiva e desordenada durante o final do século XIX, até meados da década de 70 do século XX, o que a levou à quase extinção (Sousa, 2000).



Figura 1 – Exemplar de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Caçapava do Sul/RS.

O gênero *Araucaria*, pertencente a família *Araucariaceae*, só ocorre no hemisfério Sul, com duas das 14 espécies na América do Sul (Whitmore, 1975), sendo a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze espécie importante, pelo seu valor e finalidade. Isso pode ser reconhecido pelos nomes multinacionais que existem: Parana Pine (Inglês), Brasilkiefer (Alemão), *Araucaria du Brédil* (Francês), Pino misionero (Espanhol) e Pinheiro-do-Paraná (Português) (Lamprecht, 1986).

Segundo Hueck (1972), a região de ocorrência natural da espécie limita-se entre as latitudes de 15° e 30° sul e longitudes de 43° e 57° oeste, com maior distribuição nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e menores áreas na província de Misiones (Argentina) e nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

De sua ampla distribuição natural no Brasil, que ocorre entre as latitudes 19°15'S (Conselheiro Pena - MG) a 31°39'S (Canguçu - RS) e longitudes de 41°30'W a 54°30'L, em altitudes que variam de 500 m a 2.300 m, restam apenas pequenas manchas esparsas e isoladas (Carvalho, 1994).

O clima na área de ocorrência natural da araucária é classificado como temperado, onde a temperatura média anual varia de 13 a 18°C, caracterizado por verões frescos e invernos relativamente frios, com temperaturas de até -8°C, com ocorrência de poucas geadas (Golfari, 1967).

Segundo De Hoogh (1981) os povoamentos de araucária de bom crescimento geralmente encontram-se em solos latossolos, essencialmente de boa estrutura, enquanto que em litossolos e hidromórficos, em consequência das restrições físicas e fisiológicas para o desenvolvimento radicular, produzem condições de crescimento extremamente pobres. O nutriente mais importante que limita o crescimento de araucária é o nitrogênio (N), seguido pela oferta de fósforo (P). De menor importância são os nutrientes potássio (K), cálcio (Ca), cobre (Cu) e boro (B). Por causa disso, o melhor crescimento da espécie é observado em áreas de agricultura abandonadas, floresta nativa e estágio de formação secundária.

O crescimento da *Araucaria angustifolia*, não pode ser explicado somente em termos de expressões químicas, mas em características físicas e mecânicas do solo, que devem ser estudadas, pois num solo com estrutura granular e com aeração suficiente, as raízes encontram maior capacidade de penetração e crescimento (Oliveira, 1948).

Conforme Lassere et al. (1972), a diferença de produtividade da *Araucaria angustifolia*, em Piray-Misiones, na Argentina, está associada, entre outros fatores, à profundidade do solo, pois esta relaciona-se com a expansão do sistema radicular. Isto, também foi observado por De Hoogh et al. (1978) e De Hoog & Dietrich (1979), que encontraram correlação positiva do crescimento com a profundidade do solo e a espessura do horizonte A.

## 2.2 A Floresta com Araucária

A Floresta com Araucária ocorre na região da Floresta Ombrófila Mista. Esta região ocupa uma área de 21.213 km<sup>2</sup> e possui uma intensa ação antrópica, desenvolvida a partir de 1874, quando se iniciou a colonização desta área, descaracterizando os limites originais da vegetação florestal (IBGE, 1986).

O elemento principal desta floresta é a *Araucaria angustifolia*, que pela sua relevante importância fitogeográfica e comercial, tem sido, além de muito estudada, também muito cortada para fins industriais (madeira, móveis, construção, celulose e outros) (IBGE, 1986).

A Araucária, pode ocorrer entremeada com demais espécies nativas e com diferentes tipos de formações florestais, como encontrado na região da Serra do Sudeste, município de Caçapava do Sul. Nesta região a araucária aparece na formação da Floresta Estacional Decidual, com notada densidade de indivíduos (Figura 2).



Figura 2 - Araucária ocorrendo junto com vegetação de Floresta Estacional Decidual, Serra do Sudeste, município de Caçapava do Sul/RS.

A oeste na localidade de Passo das Carretas, 10 km ao sul da cidade de Santana da Boa Vista (RS), a cerca de 100 m de altitude, há uma comunidade florestal onde foram encontradas as seguintes espécies: *Araucaria angustifolia*

(Bertol.) Kuntze, *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl., *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg, *Schinus polygamus* (Cav.) Calnera e *Scutia buxifolia* Reiss. (Veloso & Góes-Filho, 1982).

Segundo Klein (1960), a araucária é uma espécie heliófila, mas que pode sobreviver em condições de menor luminosidade e as diferentes comunidades de pinheiros (pinheirais) são “antes fases sucessionais do que comunidades maduras”.

Do ponto de vista climático, as florestas com araucária necessitam de chuva abundante (acima de 1400 mm anuais), bem distribuída ao longo do ano. A temperatura no inverno cai sempre abaixo de 0°C, com a ocorrência de geadas freqüentes e, esporadicamente neva, principalmente, no planalto dos Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. Em locais de baixa altitude, as matas de araucária são substituídas por vegetação característica de florestas subtropicais úmidas (Veloso & Góes-Filho, 1982).

O solo, nas áreas de ocorrência natural das matas com araucárias, apresenta geralmente uma boa fertilidade, contendo matéria orgânica abundante nos primeiros 20-30 cm. A boa fertilidade do solo e o elevado estoque de madeira prontamente disponível nas florestas de araucárias adultas levaram esta espécie a ser objeto de uma rápida exploração predatória, a partir do início do século passado. O solo, devido à sua fertilidade, após a exploração das árvores, era destinado à agricultura (Veloso & Góes-Filho, 1982).

Atualmente, no Brasil, estas florestas são restritas quase totalmente a áreas protegidas, que totalizam cerca de 20.000 hectares. Nestes locais, os pinheiros apresentam uma biomassa total que varia de 260 a 290 t ha<sup>-1</sup> e uma produção anual de serapilheira de 4 a 5 t ha<sup>-1</sup> (Koehler & Reissmann, 1992).

A Floresta com Araucária (Floresta Ombrófila Mista) ocupa uma área de 9.195,65 Km<sup>2</sup> (919.565 ha), o que representa 3,25% da superfície do Estado do Rio Grande do Sul, e 18,64% da área total coberta com florestas naturais. Comparando-se com os resultados do inventário florestal anterior, constata-se que a floresta com araucária, em 2001, apresentou um aumento do volume comercial com casca de 30,94 m<sup>3</sup>/ha, (17,77%), um aumento do número de árvores de 154,25 indivíduos/ha, com aumento da área de ocorrência de 7.329,07 km<sup>2</sup> (2,59%) (Brena, 2002).

Em 1983, cerca de 1.866,58 km<sup>2</sup> (0,66%) do Estado do Rio Grande do Sul era constituído pela Floresta Ombrófila Mista. Em 2001, a área de ocorrência desse tipo fitogeográfico passou a, cerca de, 9.195,65 Km<sup>2</sup> (3,25%). No período de 18 anos, as

florestas com araucária aumentaram em área, conseqüentemente, apresentaram maior volume de madeira e número de indivíduos, mas diminuíram em área basal por hectare, indicando que as novas áreas formadas são oriundas da regeneração natural.

As florestas produzem benefícios diretos e indiretos. No que se refere aos benefícios diretos, a floresta é um bem que rende juros, representado pelo crescimento, incremento ou produção anual. Como tal, o manejo florestal sustentável tem como foco, determinar e apropriar-se, anual ou periodicamente, dos juros da floresta, mantendo inalterado e constante o capital natural (Brena, 2002).

Para a aplicação deste princípio à Floresta com Araucária no Rio Grande do Sul, é necessário levar em consideração os seguintes aspectos (Brena, 2002):

- A regeneração da espécie é insignificante;
- O pouco que regenera está sendo limitado;
- A sua presença nas áreas florestais que estão regenerando-se no Estado depende de plantio;
- Se não houver plantio cresce a probabilidade de extinção da espécie;
- Os remanescentes estão envelhecendo, chegarão à senilidade e morrerão;
- A conservação da espécie implica em estímulo ao plantio;
- Conservação da base genética da espécie (grau de vulnerabilidade);
- Conhecimento da dinâmica de crescimento da espécie e da floresta;
- Zoneamento dos remanescentes passíveis de manejo;
- Elaboração de planos de manejo por unidade administrativa que viabilize os aspectos técnicos, sociais e econômicos.

Este último aspecto reforça a importância dos objetivos propostos neste trabalho, que é à base do manejo florestal, ou seja, o conhecimento do comportamento de crescimento da araucária, a elaboração de planos de manejo baseados no crescimento específico para cada região de ocorrência.

Na Serra do Sudeste encontra-se uma maior relevância, pois na região a Floresta com Araucária possui densidade ampla e distribuição aleatória, o que dificulta o controle, tratos e métodos silviculturais, havendo necessidade de uma metodologia específica de manejo da floresta.

### 2.3 Crescimento e sítios florestais

Com o crescente aumento da demanda por produtos florestais, torna-se cada vez mais necessário o emprego de práticas de manejo adequadas para proporcionar aumento da produtividade das florestas. Nesse sentido, a determinação da qualidade do sítio, isto é, da sua capacidade produtiva, constitui um dos primeiros e mais importantes passos para se conseguir um planejamento adequado e garantir o sucesso do empreendimento florestal (Oliveira, 1998).

As produções esperadas para as plantações florestais dependem da capacidade produtiva. Estimativas seguras podem ser obtidas somente com uma avaliação precisa do potencial de crescimento (Newberry & Pienaar, 1978). Para o desenvolvimento de planos de manejo, é necessário verificar o potencial produtivo de cada povoamento dentro de uma unidade de manejo, de maneira que o crescimento e a produção florestal possam ser prognosticados (Alemdag, 1991).

Dentre as especificações silviculturais que influenciam as decisões para o manejo de um povoamento, a rotação florestal é, sem dúvida aquela que gera opiniões mais contraditórias. Uma decisão correta sobre a época de corte de cada povoamento, espécie ou, até mesmo, de cada talhão exige conhecimento da taxa de crescimento, bem como a produção por unidade de área, segundo a idade, a capacidade produtiva e a densidade (Rosas, 1994).

A capacidade produtiva de uma área florestal é determinada em virtude da ação e interação de fatores bióticos, climáticos, edáficos e topográficos, influenciados pelas práticas silviculturais e de manejo florestal. Esta capacidade produtiva recebe a denominação de qualidade do sítio, também denominada de qualidade do local (Barros, 1974).

Este mesmo autor cita que, para estudo e compreensão dos atributos do meio, intrínsecos à qualidade do sítio, eles podem ser divididos em categorias amplas, envolvendo:

- Clima (radiação solar, precipitação, temperatura e umidade relativa do ar etc.);
- Topografia (exposição, declividade, pedoforma, etc.);
- Solo (textura, estrutura, regimes térmico e hídrico, minerais, nutrientes etc.);
- Atributos bióticos (plantas, animais, insetos, fungos) e antrópicos (homem).

De acordo com Spurr & Barnes (1980), as inter-relações entre esses atributos resultam em recursos diretamente disponíveis para o crescimento das árvores, como luz, calor, água, elementos químicos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , fertilidade, etc.) e mecânicos (danos causados pelo fogo, geada, manejo florestal, etc.).

Os métodos para determinação da qualidade do sítio, ou seja, para estimar a produtividade de sítios florestais, podem ser divididos em métodos diretos e indiretos. A capacidade produtiva pode ser mensurada diretamente pelo crescimento da floresta, ou por meio de estimativa, a partir de atributos do local que expressam a sua produtividade (Rennie, 1963; Carmean, 1975; Gonçalves, 1990 e Oliveira, 1998).

Para Oliveira (1998), os métodos mais usuais para avaliar a qualidade do sítio baseiam-se no conhecimento de condições edáficas e na relação altura dominante e idade das árvores, uma vez que o crescimento em altura dominante reflete os fatores do meio. Apesar das informações oriundas de uma base edáfica ou de alturas dominantes destinarem-se a objetivos diferentes, elas podem ser usadas de forma complementar. Assim, pode-se, por exemplo, determinar a qualidade do sítio pelas características do solo e definir as unidades de manejo, e dentro de cada área avaliar a qualidade baseando-se na relação altura dominante e idade do povoamento, com a finalidade de se conhecer a sua capacidade produtiva direcionada para fins de prognose da produção e de planejamento e manejo.

A qualidade do sítio, normalmente, é igualada a determinado componente mensurável da produtividade florestal (como a altura das árvores dominantes) que, em verdade, é uma expressão fisiológica dos efeitos integrados das variáveis biológicas e do meio ambiente que influenciam no crescimento até a época da medição (Ralston, 1964).

Os métodos diretos avaliam a capacidade produtiva em termos do crescimento das árvores em altura, área basal, volume, biomassa, etc. (Ralston, 1964). O grande mérito dos métodos diretos é avaliar o crescimento das árvores, que, em última instância, expressa realmente a produtividade do local. Entretanto, esses métodos não permitem identificar os fatores ambientais que determinam a capacidade produtiva.

Nos métodos indiretos, a produtividade do sítio é estimada indiretamente, tendo por base as características ambientais ou plantas indicadoras ocorrentes na

área, entre os quais, o método solo-sítio e levantamento de solo são os mais difundidos no setor florestal brasileiro (Gonçalves, 1990 e Oliveira, 1998).

Entretanto, para obter um modelo realmente eficiente deve-se considerar um intervalo amplo de variação de produtividade e de condições ambientais, que permita abranger desde níveis mais deficitários até níveis excessivos dos atributos determinantes da produtividade dos sítios (Ralston, 1964). Portanto, os resultados dependem da seleção da acessibilidade aos atributos adequados para a escala de investigação, devendo-se ter cuidado no exercício de interpretação causal entre a produção e atributos do meio (Schonau, 1987, apud Jonas, 2003).

A interpretação biológica e, ou fisiológica dos efeitos dos fatores (ou variáveis) ambientais sobre o crescimento, nos métodos indiretos, muitas vezes torna-se difícil, e os atributos correlacionados com a produtividade não são necessariamente determinantes do crescimento das árvores (Barros et al., 1986). Por outro lado, é comum obter-se uma relação inversa entre as variáveis reconhecidamente determinantes do crescimento e produção florestal (Barros, 1974; Cardenas, 1987; Gonçalves, 1990; Shorter, 1993).

Nos métodos indiretos qualitativos, a predição da capacidade produtiva usualmente possui importância secundária (Schonau, 1987). O principal objetivo é delimitar áreas com potencial silvicultural e de manejo similares, ou indicar alternativas de uso para essas áreas. Conseqüentemente, esses métodos são amplamente usados em zoneamento e classificação de regiões, considerando atributos bióticos e abióticos do meio, como clima, fisiografia, características edáficas, etc.

O clima é sempre o fator primário para a classificação e determinação de sítios em larga escala (Spurr & Barnes, 1980 e Schonau, 1987). Em estudos de áreas menores, a vegetação, a fisiografia e o solo tornam-se mais importantes. Em regiões onde a vegetação nativa foi muito alterada e espécies exóticas foram introduzidas, a fisiografia e o solo assumem prioridade.

A classificação de solos pode ser usada na estratificação de sítios, algumas vezes associada com outros fatores ambientais. Carmean (1975) e Tesch (1981) apud Jonas (2003) listam vários estudos que relacionam a qualidade do sítio com unidades de solo. Entretanto, as relações entre as classes e solo e produtividade florestal podem ser fracas, se os critérios de avaliação química e de classificação de solo foram desenvolvidos sobre bases pedológicas e, ou agrícolas. Assim, é comum

observar a variação de produtividade florestal dentro de uma mesma categoria de solo ou mesmo de produtividades similares entre diferentes unidades taxonômicas (Goor, 1965b, Barros, 1974; Carmean, 1975; De Hoogh & Dietrich, 1979; Fabres et al., 1987; Shorter, 1993).

As variações de produtividade entre ou dentro de unidades de solo são devidas a certas características fisiográficas e do próprio solo que são relacionadas com o crescimento das árvores, mas que não estão incluídas nas definições e atributos das unidades taxonômicas de solos (Gonçalves, 1990).

Os métodos diretos e indiretos de avaliação da qualidade do sítio são de muitas formas complementares e tem como objetivo comum a classificação e a predição da capacidade produtiva da terra para fins florestais. Portanto, o mais oportuno consiste na integração desses dois métodos nos trabalhos de inventário da paisagem e classificação de sítios, onde cada sistema terá a sua parcela de contribuição (Carmean, 1975).

A qualidade do sítio varia com a espécie florestal, genótipo, preparo e fertilização florestal. A suposta capacidade ótima de produção pode também ser influenciada pela variação na precipitação, compactação e erosão do solo, incidência de doenças e danos causados por insetos. A mais importante tarefa na pesquisa de sítios, no futuro próximo, é investigar como esses vários atributos influenciam o crescimento e de que modo os parâmetros que expressam essa influência podem ser incorporados nos modelos de crescimento para a predição da produção (Schonau, 1987).

## **2.4 Crescimento e fatores ambientais**

Os efeitos dos fatores ambientais sobre o crescimento dos povoamentos florestais agem inter-relacionados e, raramente, podem ser analisados isoladamente. As características fisiográficas do ambiente são mais determinantes da produtividade do que as características da fertilidade do solo, ou seja, quando uma unidade amostral ocupa uma posição adequada em termos de exposição, posição na toposequência, declividade, etc., a fertilidade do solo tem efeito pouco expressivo (Braga, 1997). Entretanto, ao sair daquelas situações fisiográficas ideais, a fertilidade do solo passa a ser importante na definição da capacidade produtiva.

Sob condição fisiográfica ótima, a exigência quanto à fertilidade do solo é mínima, mas à medida que a condição fisiográfica afasta-se do ideal, a exigência de fertilidade aumenta.

O crescimento, segundo Zeide (1993), resulta da interação de duas forças opostas. O componente positivo, que se manifesta na expansão de um organismo, representa a tendência inata de qualquer ser vivo à multiplicação exponencial. Este componente está associado ao potencial biótico, à atividade fotossintética, à absorção de nutrientes, ao anabolismo, etc. O componente oposto representa as restrições ao crescimento impostas por fatores externos (competição, respiração, escassez de recursos naturais, etc.) e internos (mecanismos de auto-regulação) sendo conhecidos como resistência ambiental, metabolismo destrutivo, catabolismo, etc.

O processo de seleção natural faz com que as árvores aloquem carboidratos de forma que aumente a sua habilidade de sobreviver. O fato de algumas funções serem mais cruciais do que outras determinam uma prioridade no quadro de alocações, que, segundo Oliver & Larson (1996) é feita na seguinte ordem (seqüência de prioridades): manter a respiração dos tecidos vivos; produção de raízes finas e folhas, produção de flores e sementes; crescimento primário como crescimento lateral e terminal dos galhos e crescimento em extensão das raízes. Apenas se ainda disponíveis, os carboidratos são então utilizados para adicionar xilema (crescimento em diâmetro) e desenvolver mecanismos de resistência contra o ataque de insetos e doenças.

Portanto, a parte do crescimento de maior interesse econômico para a produção de madeira tem baixo valor na escala biológica de prioridade. Por esta razão, o crescimento em diâmetro é controlável apenas por desbastes, ou por outras formas de regulação da densidade e vigor das árvores.

Para Schneider (1993), existem quatro razões que mostram a importância do processo fotossintético no manejo de florestas, tendo como finalidade a produção de madeira:

- a) A madeira é composta basicamente por carbono, hidrogênio e oxigênio;
- b) As empresas utilizam basicamente a madeira do tronco, deixando folhas, galhos e raízes na floresta;

- c) Economicamente, é quase impossível adubar as florestas da mesma forma que é feito na agricultura, pois depende de análise econômica, vinculada diretamente a grandeza da rotação;
- d) O manejo do povoamento permite a manipulação da luz e fotossíntese através de desbastes e outros tratamentos silviculturais.

As estimativas de crescimento são de vital importância para o planejamento de um empreendimento florestal, uma vez que várias decisões dependem diretamente destas estimativas, como a determinação da quantidade de terra necessária para suportar certo nível de produção presente ou desejado; a quantidade de madeira que pode ser cortada anualmente; as espécies e tipos de produtos que estão ou se tornarão disponíveis no futuro (Schneider, 1993).

Para Davis (1966), o manejo florestal envolve-se com as medições de crescimento em duas formas principais: a primeira como uma medida de desempenho ou o que aconteceu no passado, que é essencialmente um problema de avaliação de sucessivos inventários; a segunda, indispensável para o planejamento, é a predição do crescimento.

As duas formas são diferentes em objetivos, embora utilizem técnicas similares de mensuração. O futuro não é o passado, especialmente nos estágios iniciais de aplicação do manejo, pois o crescimento que ocorreu sob condições passadas pode ser uma medida pobre do crescimento acumulado em produtos comerciais de povoamentos manejados no futuro Davis (1966).

Daniel et al. (1979), diz que o crescimento total em um povoamento, incluindo tocos e raízes, pode ser expresso de várias formas, dependendo do propósito do manejo, o que pode incluir: a produção total sobre a rotação; os volumes removidos nos cortes intermediários; IMA; IPA; o crescimento bruto e líquido. Cada termo pode ser expresso em uma grande variedade de unidades ( $m^3$ ,  $m^{st}$ , tonelada, etc.), sendo a análise do crescimento influenciada pela escolha da unidade, que é influenciada pelos objetivos do manejo e utilização potencial.

O crescimento é comumente expresso em termos de unidades de volume, que são mais fáceis de medir e certamente mais óbvias. No entanto, o manejo objetivando simplesmente a produção em volume, muitas vezes não é suficiente, pois as condições de crescimento podem afetar profundamente as propriedades físicas e químicas da madeira e, conseqüentemente, a sua utilização para vários usos. A mensuração do crescimento em termos de unidades de volume é o primeiro

e imediato problema, sendo a transformação em unidade de valor o passo final necessário (Davis, 1966).

Para Oliver & Larson (1996), o termo produção refere-se ao volume de uma árvore ou povoamento e o termo crescimento à mudança em uma árvore ou povoamento com o tempo. Para cada árvore, a matéria orgânica total adicionada a cada ano é denominada de crescimento bruto. Se alguma perda em tamanho como galhos, raízes ou folhas são subtraídos, tem-se o crescimento líquido.

Para Daniel et al. (1979), o crescimento de qualquer organismo vivo segue a forma sigmoideal. No entanto, a forma pode variar para cada situação de genótipo e ambiente. Para cada caso, o silvicultor necessita prognosticar a extensão do período de crescimento na fase juvenil, a taxa de crescimento (inclinação da curva) durante a fase de pleno vigor, o período onde a taxa de crescimento declina e o grau em que certas características são controladas pelo genótipo e o ambiente. O crescimento, portanto, é afetado pelo estágio de desenvolvimento de um povoamento que está sempre condicionado à idade, qualidade do sítio, espécie, densidade e à unidade de medição em que é expresso.

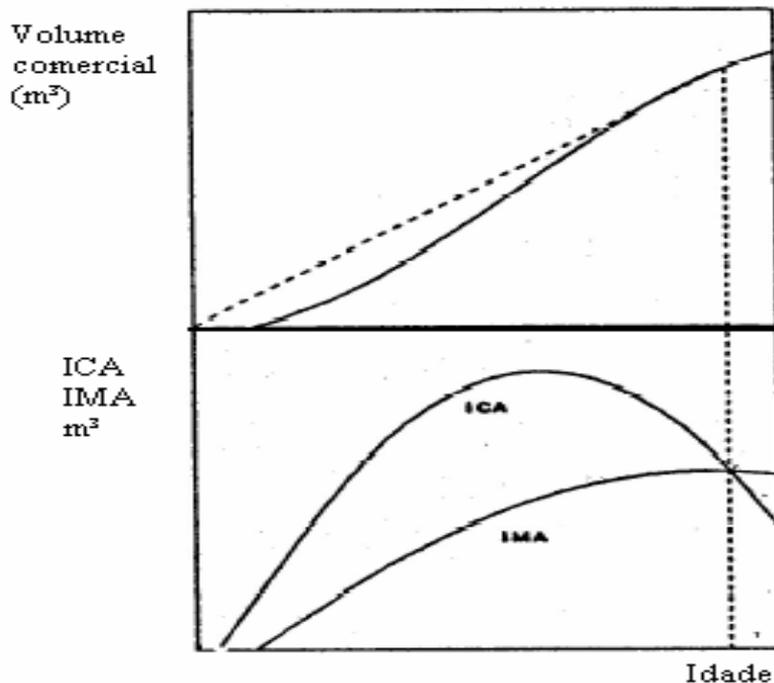
A curva de crescimento é uma representação teórica da evolução da floresta em qualquer parâmetro dendrométrico avaliado em função do tempo (Figura 3). Considerando a idade da floresta um fator de produção, nota-se nessa curva o efeito de uma lei bastante conhecida em economia: a lei dos rendimentos decrescentes<sup>1</sup>. Juntamente com a curva de crescimento em volume, a Figura 3 mostra também as curvas de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA). Denomina-se ICA ao crescimento em volume ocorrido no período de um ano, e IMA ao resultado da divisão do volume pela idade da floresta. Deve ser notado que a curva de ICA atinge um máximo antes da curva de IMA, e que as duas curvas cruzam-se no ponto de máximo IMA (Rodriguez, 1991).

Graficamente, o ponto de máximo IMA corresponde ao ponto na curva de crescimento tangenciado por uma reta que sai da origem. Determinar a idade ótima de corte através deste critério implica, portanto, no corte da floresta quando esta atingir a idade de máximo IMA. Justifica-se o emprego deste método considerando-

---

<sup>1</sup> Aumentando-se em quantidades iguais o nível de um fator de produção – enquanto o nível dos demais e a tecnologia permanecem constantes – as quantidades do produto aumentarão, mas além de certo nível esses aumentos serão cada vez menores.

se que ao longo de várias rotações florestais estar-se, em média, extraindo o maior volume possível.



Fonte: <http://www.ipef.br/publicações/docflorestais/cap13.pdf>  
 Figura 3 - Curva de crescimento e incremento.

#### 2.4.1 Fonte de dados

Segundo Davis (1966), a importância da fonte de dados na prognose do crescimento é maior que o comumente reconhecido. À primeira vista, a melhor fonte de informação parece ser o povoamento no qual a prognose vai ser aplicada, sendo as informações obtidas através de medições repetidas em parcelas permanentes ou de análise de tronco.

Em áreas sob um regime de manejo contínuo e estável, é possível acumular boas informações locais de crescimento, sendo estas informações indiscutivelmente superiores a qualquer outra fonte. No entanto, a questão a ser discutida é se o crescimento passado de um povoamento fornece a melhor e mais eficiente informação para estimativas de seu crescimento futuro, pois uma área em particular

pode não oferecer de forma completa as condições necessárias para se obter dados de crescimento bem balanceados aplicáveis a diferentes condições e necessidades (Davis, 1966).

O tratamento futuro de um povoamento e a resultante condição de crescimento pode ser substancialmente diferente, nos quais os dados obtidos em performances passadas são pelo menos parcialmente inaplicáveis, não importando o cuidado e a acuracidade com que os mesmos foram obtidos. Os ciclos climáticos, por exemplo, tem um efeito substancial sobre o crescimento e são freqüentemente ignorados (Davis, 1966).

Smith et al. (1997), ao analisarem esta questão, afirmaram que, se o diâmetro inicial das árvores em povoamentos homogêneos equiâneos é utilizado como variável para explicar o crescimento subsequente das árvores, o método irá obscurecer a importância de outras variáveis fundamentais. Isso porque a análise sempre mostrará que as árvores que cresceram mais no passado continuarão a crescer melhor no futuro e os fatores que causam o crescimento são desconsiderados, tornando o resultado da equação uma extrapolação do passado.

Muitas variáveis dependentes não são completamente independentes das outras, e os dados utilizados na análise não são bem balanceados devido a estas interações. Portanto, toda a aplicação do modelo resultante de combinações de condições que não existem nos dados originais deve ser feita com muito cuidado (Smith et al., 1997).

Por razões de custo e de aplicabilidade, e por ser o crescimento basicamente independente dos limites de uma propriedade qualquer, existem bons motivos para se favorecer estudos regionais de crescimento e o desenvolvimento de métodos visando aplicá-los sob condições locais. Isto permite obter uma fonte de dados mais completa e maior flexibilidade em relação a mudanças nas condições florestais (Davis, 1966).

#### 2.4.2 Idade e o crescimento

A determinação da idade ótima de corte de uma árvore ou floresta exige a explicitação de que se considera como idade ótima. Sabe-se que a escolha de uma determinada idade de corte pode maximizar a produção anual média de uma

floresta, mas não necessariamente o resultado econômico. Desta forma, definem-se três métodos de determinação da idade ótima de corte: maximização da produção anual média (método da maximização do incremento médio anual), determinação da maturidade financeira da produção florestal e determinação do ciclo florestal financeiramente maduro e maximizador do valor de ocupação do solo (método da maximização do valor presente de uma série perpétua de ciclos florestais iguais) (Rodriguez, 1991).

Uma vez que se tem como objetivo utilizar a madeira que é produzida em uma floresta com propósitos comerciais, o fator tempo assume especial importância. A capacidade produtiva de árvores e povoamentos depende de sua idade, e, somente se a idade é conhecida, torna-se possível fazer inferências sob o desempenho de árvores ou povoamentos (Assmann, 1970).

A idade constitui a primeira variável independente considerada nos estudos de crescimento e produção de povoamentos equiâneos, e traduz o tempo físico decorrido desde a implantação da floresta até o momento atual (Rodriguez, 1991).

Com base na idade, pode-se acompanhar a evolução de todas as fases de crescimento de uma espécie florestal em um determinado local (Brena & Bom, 1991).

Para Husch et al. (1982), quando o tamanho de um organismo (volume, peso, diâmetro ou altura) é relacionado com a sua idade, a curva assim definida é chamada curva de crescimento. Deste modo, as curvas em forma de S ou sigmóide mostram o tamanho acumulado da variável em qualquer idade. Entretanto, a curva de crescimento verdadeira resulta da relação do incremento sobre a idade.

Embora a forma exata da curva de crescimento mude quando as diferentes dimensões da árvore (altura, diâmetro, área basal, volume ou peso) são plotadas sobre a idade, a curva cumulativa de crescimento tem características que se mantêm estáveis para todas as dimensões. Durante a fase juvenil, a taxa de crescimento aumenta rapidamente até um máximo ponto de inflexão na curva cumulativa, e a aceleração inicialmente cresce e depois decresce para zero no segundo ponto de inflexão da curva cumulativa de crescimento.

As curvas de incremento corrente anual e incremento médio anual podem ser derivadas da curva cumulativa de crescimento e, conforme Avery & Burkhart (1994). O incremento corrente anual cresce, culmina e decresce rapidamente. Já o

incremento médio anual cresce mais lentamente, atingindo um máximo mais tarde, quando é igual ao ICA, a seguir declina gradualmente.

Husch et al. (1982), afirmaram que ao se trabalhar com curvas de crescimento, deve-se compreender que cada espécie, ou talvez cada árvore, necessita de um tempo próprio para a sua construção. Este tempo fisiológico varia com a espécie e estágio de desenvolvimento.

### 2.4.3 Clima

Sobre o clima, entende-se a soma dos acontecimentos meteorológicos que representam as condições médias da atmosfera em qualquer ponto da superfície terrestre. Matematicamente, o clima depende somente da latitude geográfica, porém o clima real, especialmente quando se trata de espaços limitados (parte de paisagens, povoamentos), também é formado por outros fatores do ambiente, com a inclinação, exposição, altitude, ação dos ventos, etc. Conforme a extensão do lugar distingue-se diferentes categorias de clima, como o geral, regional, o mesoclima (habitat específico) e o microclima considerando o clima de áreas mínimas, como uma folha (Andrae, 1978).

Para Spurr & Barnes (1980), devido ao clima médio não variar amplamente sobre uma determinada região, o mesmo é usualmente ignorado na avaliação da qualidade do sítio. Porém, o clima local pode variar significativamente. Apesar da óbvia importância do clima local, raramente o mesmo é utilizado na classificação de sítios florestais, pois variáveis como o histórico do manejo do solo produzem um efeito “máscara” ao refletirem indiretamente os seus efeitos, sendo o clima local freqüentemente relacionado ao solo e à topografia. Portanto, uma classificação de sítios baseada nestes fatores também irá considerar implicitamente uma classificação com respeito ao clima local.

Os elementos que determinam o clima de um local são principalmente: temperatura, ventos, umidade do ar, precipitação, neblina, pressão do ar e luz (Spurr & Barnes, 1980).

Andrae (1978), diz que por ser mais bem distribuída que o calor sobre a terra, a luz exerce somente papel secundário na distribuição geográfica da vegetação. Porém, no habitat, a luz torna-se um dos fatores mais importantes, pois é

responsável pela estratificação florestal, causando um zoneamento da luminosidade que varia com a idade, estágio de desenvolvimento do povoamento e época do ano. A luz influencia o crescimento das plantas nos seguintes aspectos: qualidade e amplitude, intensidade, duração e periodicidade.

A influência da temperatura e precipitação sobre a distribuição e o crescimento das florestas é demonstrada pela alta correlação existente entre estes aspectos e as classificações climáticas, como as feitas por Merriam, Köppen e Thornthwaite (Spurr & Barnes, 1980).

Para Oliver & Larson (1996), o vigor e a competitividade para cada árvore ou espécie variam com a temperatura, umidade e condições do solo. Conseqüentemente, o nicho de uma determinada espécie é geralmente encontrado sobre um gradiente climático. O clima torna-se progressivamente mais frio e úmido no sentido dos pólos e das maiores altitudes, e, portanto, as mesmas espécies podem ser encontradas em grandes altitudes e baixas latitudes e vice-versa. Uma mudança de altitude de 300 metros equivale a aproximadamente 160 quilômetros de latitude em zonas climáticas similares.

Devido ao clima integrar várias influências ambientais sobre a planta, parece não haver uma condição climática ótima para todas as espécies (Oliver & Larson, 1996). Seria esperado que qualquer índice climático ou ambiental mostrasse uma alta correlação com as medidas de crescimento somente para materiais genéticos relativamente homogêneos, como uma única espécie ou grupo de espécies, pois diferentes espécies podem diferir largamente em sua taxa de crescimento em um mesmo sítio (Spurr & Barnes, 1980).

#### 2.4.4 Fisiografia

Sob condição climática regional uniforme freqüentemente é possível relacionar a produtividade florestal com variáveis fisiográficas. O efeito das variações de relevo sobre o microclima e o regime de umidade do solo pode ser caracterizado indiretamente pela altitude, exposição, declividade, pedoforma e posição na toposequência (Ralston, 1964; Carmean, 1975; Braga, 1997).

As influências fisiográficas no sítio podem ser diretas ou indiretas. As influências são ditas diretas de acordo com o recebimento de determinada

quantidade de radiação solar (diária ou anual) ou reserva hídrica disponível. Porém, é muito difícil de ser determinado pelas pesquisas (Van Goor, 1965).

Para Salas (1974), as influências indiretas da topografia na produtividade de um determinado local são muito mais importantes, porque condicionam o solo à erosão, o movimento superficial de água e sua disponibilidade para as plantas, bem como os nutrientes contidos nesta topografia.

Os fatores fisiográficos na estimação da qualidade do sítio são muito utilizados, sendo geralmente associados a fatores edáficos. Determinações desse tipo foram desenvolvidas no Canadá, Estados Unidos, Colômbia e Suriname (Schneider, 1993).

O relevo é também bastante utilizado quando se classifica a capacidade de uso da terra, pois é um fator limitante para o uso de implementos agrícolas é importante para o planejamento de operações e determinação de custos operacionais, Salas (1974).

#### 2.4.5 Altitude

A altitude é outro fator de ação indireta sobre a produtividade florestal, atuando sobre fatores de ação direta na planta, como abaixamento de temperatura, regime de umidade do ar e do solo (Spurr & Barnes, 1980).

Hannah (1968) ressalta que a qualidade do sítio aumenta com a distância até o topo, em virtude da ação da gravitacional sobre a água e o fluxo subsuperficial provindo das partes mais altas. O movimento subsuperficial é uma importante fonte de umidade e, por isto, influencia a distribuição das raízes em áreas montanhosas, com formação rochosa impermeável, próxima a superfície. Em encostas extensas, o movimento é de particular importância, visto que as raízes tendem a ser uniformemente distribuídas a grandes profundidades, em comparação com solos com pequena declividade, que recebem apreciável quantidade de água, diretamente na superfície, durante a maior parte do ano (Coile, 1952).

Fabres et al. (1987) observaram o afloramento de cascalheiras nas partes mais elevadas (topos de morro), limitando a profundidade efetiva do perfil. No trabalho de Braga (1997), as posições mais produtivas na toposequência foram

aquelas abaixo da meia encosta, provavelmente relacionadas com melhores condições de umidade e fertilidade do solo.

No trabalho de Torrado (1989), a porcentagem de argila do horizonte A decresceu do topo para a baixada, ou seja, à medida que aumentou a distância do topo, o teor de argila diminuiu. O autor relata que as partículas grossas deslocam-se das posições superiores e depositam-se nas posições de sopé e meia encosta inferior.

#### 2.4.6 Déficit hídrico do solo

De acordo com Hannah et al. (1982), a disponibilidade de água é influenciada pela posição topográfica do local amostrado na paisagem. A água é importante, tanto para o desenvolvimento das plantas como para a formação do solo. O local numa paisagem interfere neste processo, devido à menor quantidade de água, o que provavelmente aumenta a variabilidade do mesmo.

O estudo de Garcia y Garcia (1997), conclui que a retenção de água no solo foi influenciada pelo relevo e pela distribuição espacial da granulometria, visto que as áreas altas apresentam maior conteúdo de argila no solo, que por sua vez correspondem às áreas com menor potencial. As áreas baixas apresentaram maior conteúdo de areia no solo, que por sua vez correspondem às áreas com maior potencial. O autor também relata a tendência de maior conteúdo de umidade no solo nas áreas com maior conteúdo de argila.

De acordo com Gonçalves (1990), freqüentemente a disponibilidade de água no solo é o fator que mais determina o crescimento das árvores. A existência de camadas de impedimento físico à penetração mais profunda das raízes, drenagem interna e capacidade de armazenamento de água e de oxigênio deficiente, aumentam os riscos de estresse hídrico das plantas no período de estiagem (Gatto, 2000). Como resultado, a cultura explorada não encontra condições apropriadas no solo para um bom desenvolvimento, refletindo negativamente na produtividade final (Beltrame et al., 1981).

Por outro lado, árvores em solos com maior disponibilidade de água, ar e nutrientes, distribuem melhor seu sistema radicular no perfil do solo e estão melhor preparadas para enfrentar o estresse hídrico (Gatto, 2000). Dentro de certos limites,

alocam menor quantidade de carbono no sistema radicular, em benefício da parte aérea, refletindo, conseqüentemente, no aumento da biomassa (Reis & Barros, 1990).

A deficiência hídrica do solo pode afetar o crescimento em altura e diâmetro, diretamente, reduzindo a expansão celular e a formação da parede celular e, indiretamente, reduzindo a disponibilidade de carboidratos ou influenciando a produção de reguladores de crescimento (Oliveira et al., 1989).

Segundo Pereira (1979), o déficit hídrico do solo afeta o crescimento em altura das árvores, reduzindo o alongamento do caule e o número e tamanho das folhas, como também o crescimento cambial.

A disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas, por controlar a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a produção de matéria seca (Oliveira et al., 1989 e Gholz et al., 1990). Um decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e sua condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o fluxo de CO<sub>2</sub> para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que implica em redução da produtividade.

O maior fechamento estomático influencia negativamente na produção e no acúmulo de assimilados. O fechamento estomático, normalmente observado em plantas que previnem a desidratação, apresenta vários efeitos colaterais que reduzem o crescimento das plantas. Os principais efeitos são: decréscimo na produção de fotoassimilados e aumento na atividade de enzimas oxidativas, resultado do aumento da temperatura da planta, que leva ao aumento da respiração, gasto de fotoassimilados e, conseqüentemente, redução do crescimento (Larcher, 1975 e Kozlowski, 1982).

Sob baixa disponibilidade de água nos solos, o potencial hídrico é muito baixo, afetando vários processos metabólicos nas plantas, provocando fechamento parcial ou total dos estômatos e limitando a perda de água e fixação de CO<sub>2</sub> (Nobel, 1974). Dessa forma, os mecanismos que promovem a tensão das plantas, quase sempre são incompatíveis com a produção florestal (Teixeira, 1978). A baixa disponibilidade de água também afeta o “status” nutricional das plantas, uma vez que a água constitui um veículo pelo qual os nutrientes chegam as raízes ou são translocados (Novais et al., 1990).

## 2.5 Elementos químicos do solo

Simões (1972) afirma existir uma baixa correlação entre o crescimento das árvores e o resultado da análise química do solo, porque este indica apenas as concentrações dos nutrientes que, teoricamente, estariam disponíveis para a planta. Também, para Kramer & Kozlowski (1972) a análise do solo tem valor limitado porque o extrato do solo não se constitui num indicador seguro da disponibilidade dos elementos nutritivos para as árvores. Além disso, o âmbito radicular é extremamente grande (profundidade e projeção horizontal), principalmente em solos homogêneos. Salaria ainda, que as exigências nutricionais variam com a espécie. Desta maneira, concentrações adequadas para uma podem ser impróprias para a outra, mesmo que a análise das informações gerais sobre a fertilidade do sítio seja de máxima importância, quando combinada com a análise dos tecidos.

De acordo com Corey (1973), a disponibilidade de nutrientes para as plantas é determinada pelos fatores que afetam a capacidade do solo em fornecê-los e pelos fatores que afetam a habilidade da planta para absorvê-los da solução do solo. Considerando o exposto, Mclean (1973) afirma que um dos maiores informativos do solo é o pH, tanto em solos ácidos, como básicos ou neutros. Este informa sobre a solubilidade dos vários componentes, capacidade aparente dos íons em se translocarem e a atividade dos microrganismos. Em síntese, indica a disponibilidade aparente dos nutrientes para a planta.

Gessel (1962) diz que em poucas situações existe correlação entre o conteúdo de elementos no solo e o crescimento das florestas, por esta razão, um grande número de relações entre as propriedades químicas do solo e o crescimento das árvores continua na dúvida e, freqüentemente, não existem parâmetros de comparação. Estas afirmativas adicionadas à falta de informações das exigências das espécies florestais, as relações solo-planta são ainda objeto de estudo na metodologia de análise do solo.

Zottl & Tschinkel (1971) salientam que somente através da análise química do solo não é possível dar recomendações detalhadas sobre as quantidades necessárias de fertilizantes, sendo mais ilustrativo combiná-la à análise química foliar, porque segundo Malavolta (1974), existe uma relação direta entre a quantidade de elementos no solo e sua concentração na planta. Se bem que, em termos florestais, onde a interação raiz/solo é um processo a longo prazo, devido a

maior permanência das árvores de uma determinada área, a digestão total deve ser preferível porque possibilita o conhecimento da totalidade dos elementos existentes no solo, disponíveis ou não para a planta.

### 2.5.1 Crescimento e nutrientes no solo

As plantas necessitam de determinados elementos químicos para a manutenção de seus processos fisiológicos e bioquímicos. Entretanto, as quantidades desses elementos disponíveis no solo muitas vezes são insuficientes ou até mesmo limitantes para o desenvolvimento de determinadas espécies (Souza, 2004).

De acordo com Gabelman & Loughman (1987), outro fator a ser considerado é que o mecanismo de especificidade na nutrição mineral de plantas integra certo número de características morfológicas e anatômicas, como, também, processos fisiológicos e bioquímicos, resultando em diferenças na capacidade de absorção de nutrientes nas diferentes espécies.

Segundo os mesmos autores, deve-se considerar, também, que os requisitos por nutrientes específicos para o crescimento vegetal são diferentes para cada genótipo de plantas.

Stuart Chapin (1987) destaca como adaptações ou respostas fisiológicas das plantas silvestres ao estresse de nutrientes, o aumento da massa de raízes e de folhas e sua maior longevidade, que aliado à redução da taxa de transpiração das plantas, contribuem para um baixo índice de crescimento. Em consequência disso, tem-se uma baixa demanda anual de nutrientes, sendo que essa estratégia capacita a planta a continuar o crescimento de uma estação para a outra em ambientes inférteis.

Andrae & Krafpenbauer (1983), em trabalho realizado com *Araucaria angustifolia*, destacam que as análises químicas do solo estimam somente as quantidades disponíveis de nutrientes. Determinaram as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio na madeira, casca, raízes, acículas mortas, brotos vivos e mortos, em latossol vermelho escuro, e concluíram que a quantidade de nutrientes contida na biomassa foi superior aos valores encontrados no solo e na serapilheira.

De Hoog (1981), em estudo relacionado à nutrição e crescimento de *Araucaria angustifolia*, recomenda que a utilização dos teores trocáveis de nutrientes no solo não constitui metodologia adequada para estimar a disponibilidade de nutrientes, devido às baixas correlações desses teores com o crescimento das árvores. Utilizando análise de regressão múltipla conclui que o pH, determinado em KCl, e o conteúdo de ferro no solo correlacionam-se positivamente com o índice de sítio para as camadas de solo a 0-20cm; 0-50cm e 0-100cm. O conteúdo total de manganês teve significativa contribuição na camada de solo a 0-20 cm, sendo que essas três variáveis explicaram 42,3% da variação da capacidade produtiva do índice de sítio.

Nos trabalhos de De Hoogh et al. (1980) e De Hoog (1981) a deficiência em nitrogênio também foi considerada como o fator de maior limitação do crescimento de *Araucaria angustifolia*.

Hoppe (1980), concluiu que o nitrogênio é o principal elemento limitante no crescimento de *Araucaria angustifolia* em Passo Fundo – RS, e que embora o fósforo, cobre e boro estejam correlacionados positivamente com a altura dominante, não apresentam níveis muito deficientes. Também, concluiu que os fatores limitantes do crescimento podem variar de local para local, com base na comparação de resultados de trabalhos semelhantes realizados com araucária em outras localidades.

Simões & Couto (1973) e Brum (1979) em estudo de fertilização de *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo, concluíram que o nitrogênio e o fósforo são os principais elementos limitantes do crescimento.

Em estudo realizado com *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Cassol (1982) observou a existência de relações entre as características químicas do solo e o índice de sítio, sendo que altos conteúdos de nutrientes correspondem a altos índices de sítio. Nas correlações desenvolvidas o horizonte orgânico (L, F, H) foi o mais significativo, sendo que o nitrogênio e o fósforo desse horizonte do solo foram os elementos que melhor se correlacionaram com o crescimento.

Estudos de crescimento de *Araucaria angustifolia* realizados por Van Goor (1965) referem-se a níveis críticos de fatores químicos. Para Ca + Mg esses níveis críticos estão situados em quantidades menores que 2mEq/100g de solo, saturação de alumínio maior que 50% e quantidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g de solo menor que 40mg.

Estudo de avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* realizado no Planalto Sul do Brasil por De Hoogh & Dietrich (1979), de modo geral, confirma a verificação de Van Goor (1965) sobre a existência de um mínimo de Ca + Mg ou uma saturação de bases muito baixa (< 10%), para a ocorrência de um bom crescimento. Nesse estudo, a percentagem de saturação de bases (V%) foi o fator químico do solo com maior significância sobre a qualidade do sítio para *Araucaria angustifolia*.

Em estudo comparativo entre *Pinus* spp. e *Araucaria angustifolia*, Brum (1979) concluiu que para um bom desenvolvimento a araucária necessita absorver nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro em quantidades superiores às espécies de *Pinus*. O autor indica a deficiência de nitrogênio como o fator que mais afeta o crescimento, seguido de fósforo, potássio, cálcio, cobre e boro.

## 2.6 Aplicação da estatística na área florestal

O trabalho de Goor (1965a) abordou a relação entre crescimento e a qualidade (condições do solo e clima) de reflorestamento com coníferas na região sul do Brasil, mais especificamente *Pinus elliottii* Engelm e *Araucaria angustifolia*. Foram tomadas 162 parcelas em cada qual foram medidas pelo menos 25 árvores e realizada a coleta de uma amostra de solo na profundidade de 0,25 cm. Realizou-se a análise de correlação e variância entre o volume de madeira com as variáveis químicas estudadas pra determinar o coeficiente de correlação.

Na pesquisa de De Hoog & Dietrich (1979), foram abordados as relações crescimento-sítio para *Araucaria angustifolia* em 260 parcelas, com plantas com idade superior a 5 anos, no sul do Brasil. Os fatores climáticos (precipitação e temperatura média anual), geográficos (latitude e altitude), topográficos (declividade, face de exposição) e edáficos (características químicas na profundidade de 0-25 cm) bem como da vegetação foram relacionados ao índice de sítio, usando análise de correlação e regressão múltipla por etapas sucessivas com modelo linear, para calcular o  $r$  e  $R^2$  entre as variáveis independentes com a dependente.

### 2.6.1 Análise de regressão com variáveis dummy/fictícias

Quando se trabalha com modelos de regressão, sejam eles simples ou múltiplos, pode-se lidar com situações em que uma ou mais variáveis nominais (categóricas), devam ser incorporadas no modelo, como, por exemplo, em problemas de inventário florestal, quando se tem uma amostra de “n” árvores de várias espécies, em operações de exploração de árvores onde o tempo de exploração varia com o diâmetro da árvore, em experimento em que se investiga o tipo de fertilização sobre o crescimento em diâmetro das árvores.

Para que alguma variável categórica possa ser introduzida no modelo, é necessário que sejam criadas uma ou mais variáveis assumindo valores numéricos, e que possam representar as categorias da variável nominal considerada. Essas variáveis – que devem ser criadas – são chamadas de variáveis fictícias ou dummy (Charnet et al., 1999).

Uma maneira de construírem-se essas variáveis fictícias que venham representar uma variável nominal – A com K categorias,  $A_1, A_2, \dots, A_K$  – é definindo (K - 1) variáveis,  $Z_1, Z_2, \dots, Z_{K-1}$ , assumindo apenas dois valores 0 e 1, de forma que para  $i = 1, 2, 3, \dots, K - 1$ , tenha-se:

$$Z_i = \begin{cases} 1, & \text{se a unidade amostral considerada pertence a categoria } A_i; \\ 0, & \text{se a unidade amostral pertence a outra categoria } A_j, j \neq i. \end{cases}$$

Da forma como a variável  $Z_i$  foi definida, se tivermos a seqüência (1, 0, 0, ..., 0), a unidade amostral em questão estará classificada na categoria  $A_1$ .

Analogamente, para as outras seqüências possíveis, teremos:

(0, 1, 0, 0, ..., 0) → categoria  $A_2$ ,

(0, 0, 0, 0, ..., 1) → categoria  $A_{K-1}$ ;

(0, 0, 0, 0, ..., 0) → categoria  $A_K$ .

É importante salientar que a forma escolhida para a construção das variáveis fictícias é totalmente arbitrária. Alguns pesquisadores recomendam que a categoria representada por (0, 0, 0, ..., 0) deva ser a menor freqüência, dentre todas as K categorias.

### 2.6.2 Análise de covariância

Os modelos de análise de covariância são, na verdade, uma mistura de modelos de regressão com modelos de análise de variância. A situação em que esses modelos são utilizados é, em essência, aquela em que as observações da variável dependente,  $Y$ , são obtidas sob  $K$  condições diferentes, de forma que, para cada uma dessas condições tem-se um grupo de observações. O interesse está em comparar esses grupos para verificar se existe diferença nas médias da variável  $Y$  nesses grupos, acrescentando-se que as possíveis variações podem ser influenciadas, por uma ou mais variáveis regressoras (Charnet et al., 1999).

Os grupos de observações de  $Y$  serão representadas no modelo de regressão, por variáveis fictícias, de forma análoga à variáveis dummy, ou seja, tem-se que  $K$  grupos para serem comparados, deve-se criar ( $K - 1$ ) variáveis fictícias,  $Z_1, Z_2, \dots, Z_{K-1}$ .

As variáveis regressoras que serão consideradas no modelo são denominadas covariáveis.

O modelo de covariância com  $K$  grupos e  $p$  regressoras é dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \beta_{p+1} Z_1 + \beta_{p+2} Z_2 + \dots + \beta_{p+k-1} Z_{k-1} + \ell$$

No qual tem-se que:

$$Z_j = \begin{cases} 1, & \text{se a observação pertence ao grupo } j; \\ 0, & \text{em caso contrário, para } j = 1, 2, 3, \dots, K - 1. \end{cases}$$

Como o objetivo principal dos modelos de covariância é comparar a média dos  $Y$ 's entre os grupos, vamos considerar o caso mais simples, em que apenas dois grupos devem ser comparados, tem-se somente uma covariável a ser considerada no modelo. Nessa situação o modelo será:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 Z + \ell$$

e para cada grupo o modelo será:

Grupo 1

$$Y = \beta_0 + \beta_2 + \beta_1 X + \ell$$

Grupo 2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \ell$$

Considerando que existem  $n_1$  observações para o grupo 1 e  $n_2$  para o grupo 2, os estimadores dos parâmetros do modelo serão dados, respectivamente, por:

$$\hat{\beta} = \frac{S_{xy}^1 + S_{xy}^2}{S_{xx}^1 + S_{xx}^2}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y}_2 - \hat{\beta}_1 \bar{X}_2$$

$$\hat{\beta}_2 = \bar{Y}_1 - \hat{\beta}_1 \bar{X}_1 - \hat{\beta}_0.$$

Onde tem-se que:

$S_{xy}^j$  = Soma dos produtos cruzados entre Y e X das observações do grupo j.

$S_{xx}^j$  = Soma dos quadrados dos desvios em torno da média amostral, das observações da regressora correspondente ao grupo j.

$\bar{y}_j$  = Média das observações da variável dependente do grupo j.

$\bar{x}_j$  = Média das observações da regressora correspondente ao grupo j.

A expressão obtida para o estimador do coeficiente  $\beta_2$  pode ser justificada, uma vez que  $\beta_2 + \beta_0$  é o intercepto do modelo correspondente ao grupo 1 e, portanto, estimado por:

$$\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_2 = \bar{y}_1 - \hat{\beta}_1 \bar{x}_1$$

Analogamente,  $\beta_1$  - a inclinação comum aos dois modelos - deve ser estimada combinando-se as observações dos dois grupos.

A diferença entre os grupos pode ser testada através do teste das hipóteses:

$$H_0 : \beta_2 = 0$$

$$H_1 : \beta_2 \neq 0,$$

usando-se a estatística F-parcial.

Lembrando que os modelos ajustados para cada um dos grupos são dados, respectivamente, por

$$\hat{y}_1 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_2 + \hat{\beta}_1 x$$

$$\hat{y}_2 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x,$$

e calculando-se a média dos Y's estimados para cada modelo, tem-se:

$$\bar{\hat{y}}_1 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_2 + \hat{\beta}_1 \bar{x} = \bar{y}_1 - \hat{\beta}_1 (\bar{x}_1 - \bar{x}) \quad (1)$$

$$\bar{\hat{y}}_2 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \bar{x} = \bar{y}_2 - \hat{\beta}_1 (\bar{x}_2 - \bar{x}) \quad (2)$$

Essas médias são consideradas as médias ajustadas dos Y's para cada grupo, ou seja, controladas pela regressora X.

Convém notar que, quando as médias amostrais da regressora para os dois grupos forem iguais, tem-se as médias ajustadas exatamente iguais as médias dos Y's observados para cada grupo, respectivamente. Esse fato indica que a variável X comporta-se de forma equivalente nos dois grupos, não devendo, portanto, influenciar na investigação das diferenças entre as médias.

Na construção de modelos de covariância, a suposição de paralelismo entre os modelos é fundamental. Se isso não acontece, as expressões (1) e (2) não serão verdadeiras e, nesse caso, as médias dos Y's estimados serão iguais às médias dos Y's observados, considerando-se um modelo para cada grupo (Charnet et al., 1999).

## 2.7 Crescimento baseado em processo fisiológico – Modelo 3-PG

O chamado modelo 3-PG (**Physiological Principles in Predicting Growth – Princípios Fisiológicos de Predição do Crescimento**) baseia-se no processo fisiológico do crescimento, desenvolvido como tentativa de superar as estimativas do crescimento convencional, oriundo de medições, e em modelos de equilíbrio amparados no processo de carbono, proposto por Landsberg e Waring (1997).

O modelo 3-PG prediz o curso de tempo para desenvolvimento do povoamento, uso da água, e avalia a água do solo. As variáveis primárias como "output" são redes de produção primária, a biomassa foliar do povoamento, fuste (isto é, o conjunto de biomassa da madeira acima do solo) e raízes, número de fustes, avaliação da água do solo e transpiração. Entretanto, o modelo também faz inferências de variáveis familiares para o manejo florestal ou usa-as como inputs dentro de programas de manejo, por exemplo, índice de área foliar, diâmetro médio dos fustes à altura do peito, volume médio e incremento anual médio (Landsberg & Sands, 2001).

O modelo 3-PG requer como "inputs" climáticos, m valores médios mensais da radiação solar, temperatura média do ar, déficit de pressão de vapor da atmosfera e precipitação. Outros inputs são fatores que descrevem as propriedades fisiológicas do sítio, latitude, taxa de fertilidade do sítio, avaliação máxima da água do solo e uma descrição geral da textura do solo.

"Output" para 3-PG podem ser valores mensais ou anuais. Eles constituem-se de biomassa do fuste, raiz e folhas, água do solo e transpiração do povoamento. No nível de povoamento output inclui índice de área foliar do dossel, volume médio por hectare, diâmetro médio, incremento médio anual (IMA) e número de árvores.

Apesar das simulações dos mecanismos de crescimento e uso de recursos sob condições ambientais diferentes, os modelos baseados em processos fisiológicos são raramente usados como ferramentas de manejo. A aplicação limitada destes modelos é provavelmente resultante da sua maior complexidade, número grande de extensivo ingresso de dados ambientais e de documentação de dados incompleta (Landsberg & Waring, 1997).

O grau de precisão e utilidade dos modelos de crescimento depende de uma grande extensão de valores realísticos de parâmetros. O problema comum no uso destes modelos inclui o fato de que alguns parâmetros não podem ser medidos diretamente, porque os valores determinados envolvem um elemento de subjetividade, como, também, do desempenho do modelo no local.

No entanto, de acordo com Dye (2001), este problema pode ser reduzido nos modelos 3-PG, com o uso de um número menor de parâmetros, muitos dos quais podem ser medidos diretamente.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

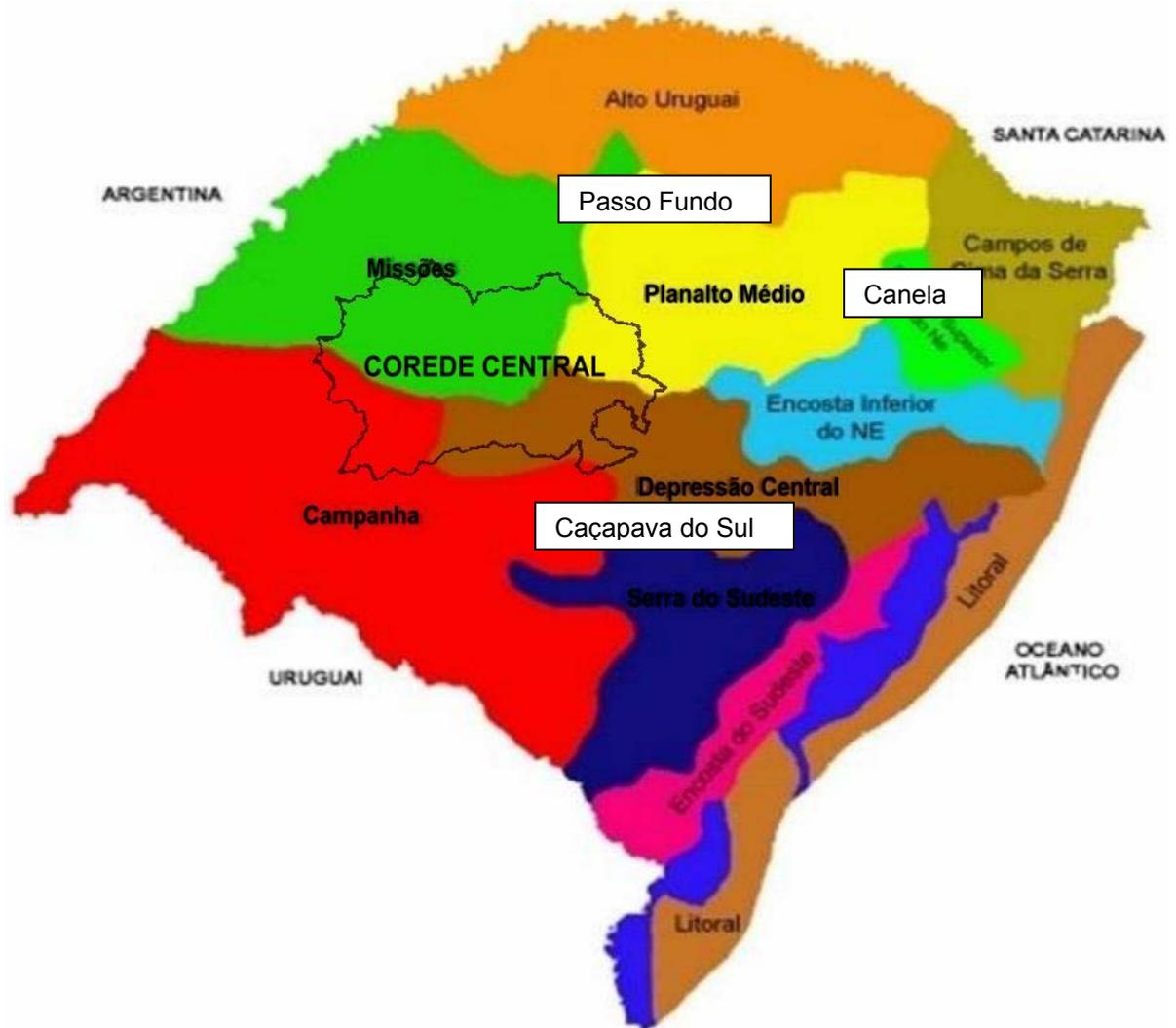
### 3.1 Caracterização das áreas de estudo

A área de estudo constitui-se de três locais do Rio Grande do Sul: Serra do Sudeste (município de Caçapava do Sul), Planalto Médio (município de Passo Fundo) e Encosta Superior do Nordeste (município de Canela), (Figura 4). As regiões foram escolhidas por se tratarem de locais de expressiva ocorrência de *Araucaria angustifolia* desde tempos antigos e, em especial a Serra do Sudeste, porque nesta região nunca realizaram-se estudos de crescimento da espécie, gerando dúvidas quanto ao seu padrão de desenvolvimento, capacidade de produção e a naturalidade de ocorrência.

#### 3.1.1 Região do Planalto do Médio – Município de Passo Fundo

Os dados da análise de tronco nesta região foram extraídos de povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia* pertencentes ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBAMA), na Floresta Nacional de Passo Fundo (FLONA). Foram utilizadas cinco árvores, apresentando diâmetro médio de 23,2 cm, altura média de 14,3 m, volume médio de 0,4118 m<sup>3</sup>sc, e idade média de 40 anos. A FLONA, está localizada no município de Mato Castelhano, à 22 km de Passo Fundo, Rio Grande do Sul.

A Floresta Nacional de Passo Fundo foi implantada em 1947. Inicialmente denominada Parque Florestal José Segadas Viana, era vinculada ao Instituto Nacional do Pinho – INP. Com a extinção desse órgão, em 1967, a área foi transferida para o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF. Posteriormente, em 22 de fevereiro de 1989, para o IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.



Fonte: UFSM/SEMA-RS (2001).

Figura 4 – Regiões Fitogeográficas do Rio Grande do Sul com as três áreas de estudo da espécie.

A área da FLONA abrange 1.328 ha, sendo coberta por floresta nativa, florestamento de *Araucaria angustifolia*, floresta exótica, *Pinus* sp. e demais ambientes florísticos, como: matas nativas, capoeirões, capoeirões com araucária, clareiras e banhados. A espécie mais notável da floresta é a Araucária.

Dentro da região inter-tropical, a Floresta Ombrófila Mista, (Floresta de Araucária) é encontrada somente no sul do Brasil, sendo a *Araucaria angustifolia* espécie praticamente restrita ao território nacional, com pequena expansão na Argentina e no Paraguai. A área da Floresta Nacional está em uma área de transição entre a Savana (Campos Gerais Planálticos e Campanha Gaúcha) e a Floresta Ombrófila Mista (Figura 5).

A Região da Savana, ora estudada, possui uma superfície de 94.749 km<sup>2</sup>, e está situada desde as mais altas altitudes, de até 1.800 m, no Planalto das

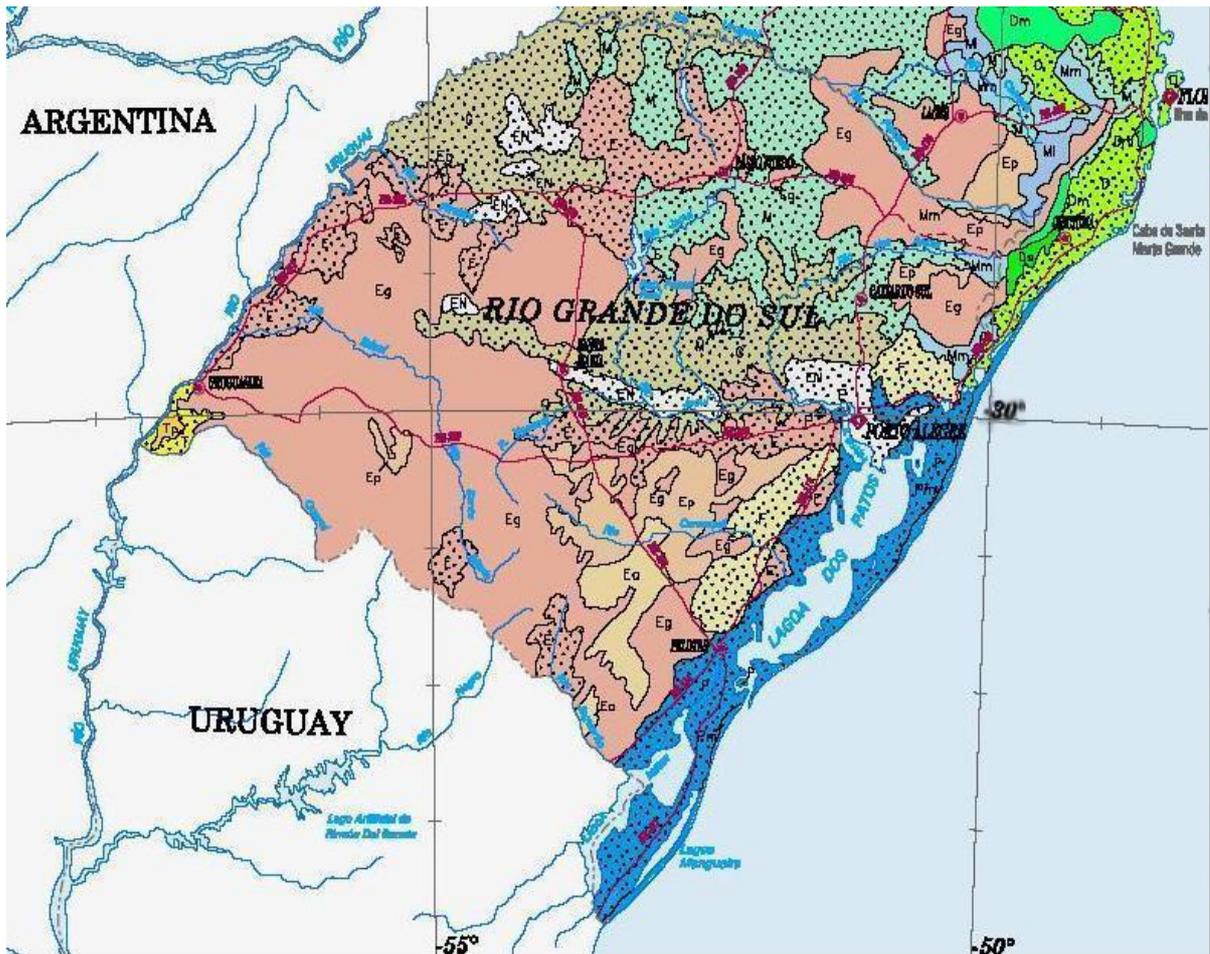
Araucárias, até as mais baixas, com menos de 100 m, na Depressão Gaúcha. Da superfície total citada, 21,07%, ou seja, 19.968 km<sup>2</sup>, são cobertos por cultivos agrícolas e pastagens plantadas (IBGE, 1986).

No Planalto das Araucárias esta região desenvolve-se tanto em áreas de relevo aplainado como dissecado, predominantemente sobre Cambissolos, Latossolos e Terra Bruna Estruturada, distróficos, derivados de rochas efusivas ácidas e básicas do Juracretáceo (IBGE, 1986).

No Planalto Médio, situa-se em áreas de relevo suave ondulado a ondulado, constituído por um conjunto de elevações longas, formando entre si depressões fechadas, onde ocorrem, em grande parte, Latossolos e Podzólicos, distróficos, profundos, desenvolvidos a partir de basalto e efusivas ácidas do Juracretáceo, e arenitos da formação Tupanciretã, pertencentes ao Terciário. A savana apresenta vasta distribuição geográfica, razão pela qual faz limite com todos os tipos de vegetação existentes na área estudada (IBGE, 1986).

A Região da Floresta Ombrófila Mista ocupa uma área de 21.213 km<sup>2</sup>, está descaracterizada devido a ação antrópica, desenvolvida desde 1874, quando se iniciou a colonização desta área, descaracterizando os limites originais da vegetação florestal que a ocupava (IBGE, 1986).

O elemento principal desta floresta é a *Araucaria angustifolia* que, pela sua relevante importância fitogeográfica e comercial, tem sido explorada e estudada. Esta região está dividida em três formações, determinadas por limites altimétricos: Floresta Submontana: até 400 m; Floresta Montana: de 400 a 1.000 m; e a Floresta Alto Montana: acima de 1.000 m. A Floresta Montana esta situada em parte no Planalto das Missões e no Planalto das Araucárias, tanto em áreas de relevo aplainado como dissecado, recobrimdo rochas basálticas e efusivas ácidas associadas do Juracretáceo (IBGE, 1986).



Vegetação do Rio Grande do Sul

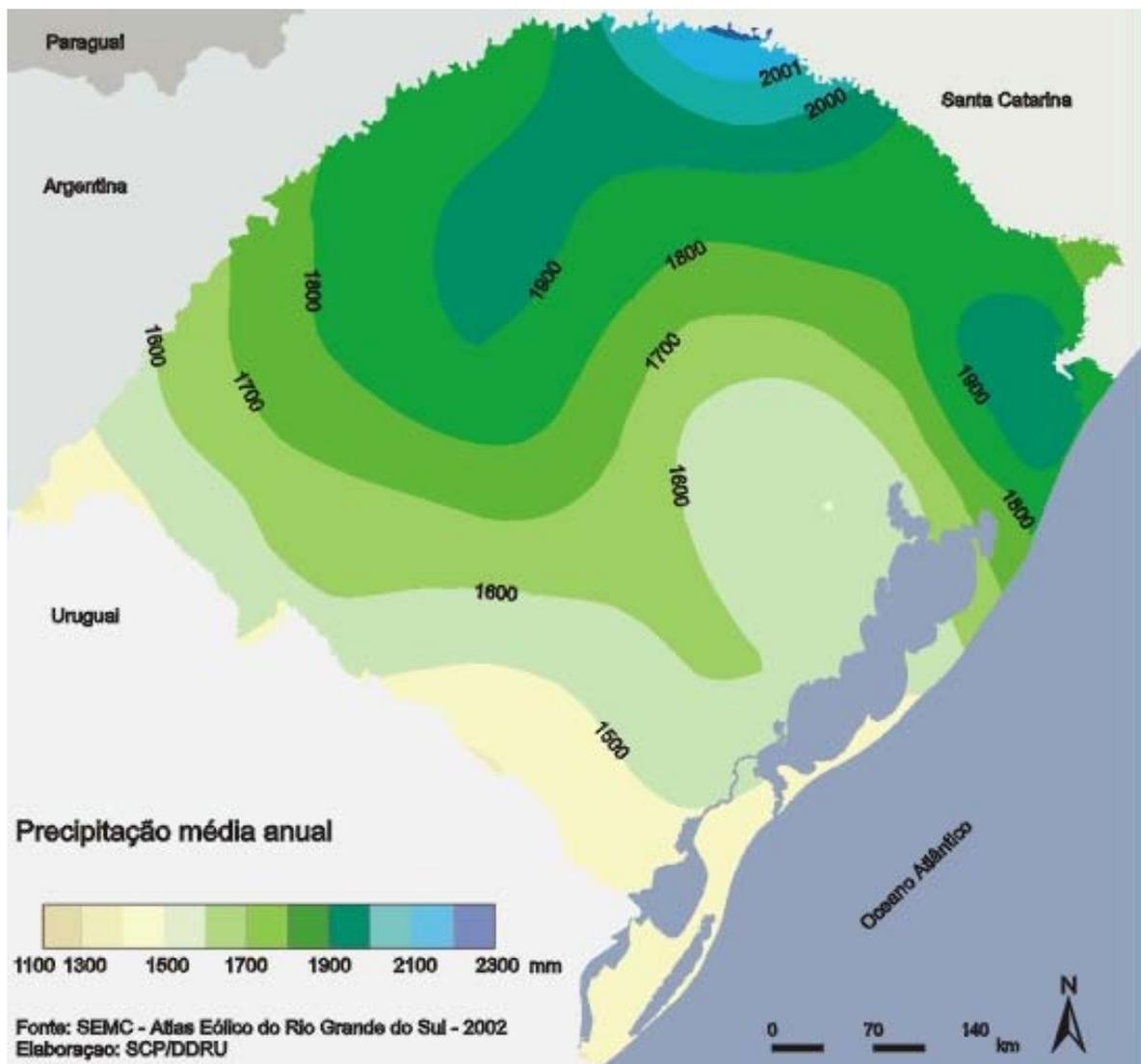


2004

Fonte: IBGE (2004).  
 Figura 5 – Vegetação do Estado do Rio Grande do Sul.

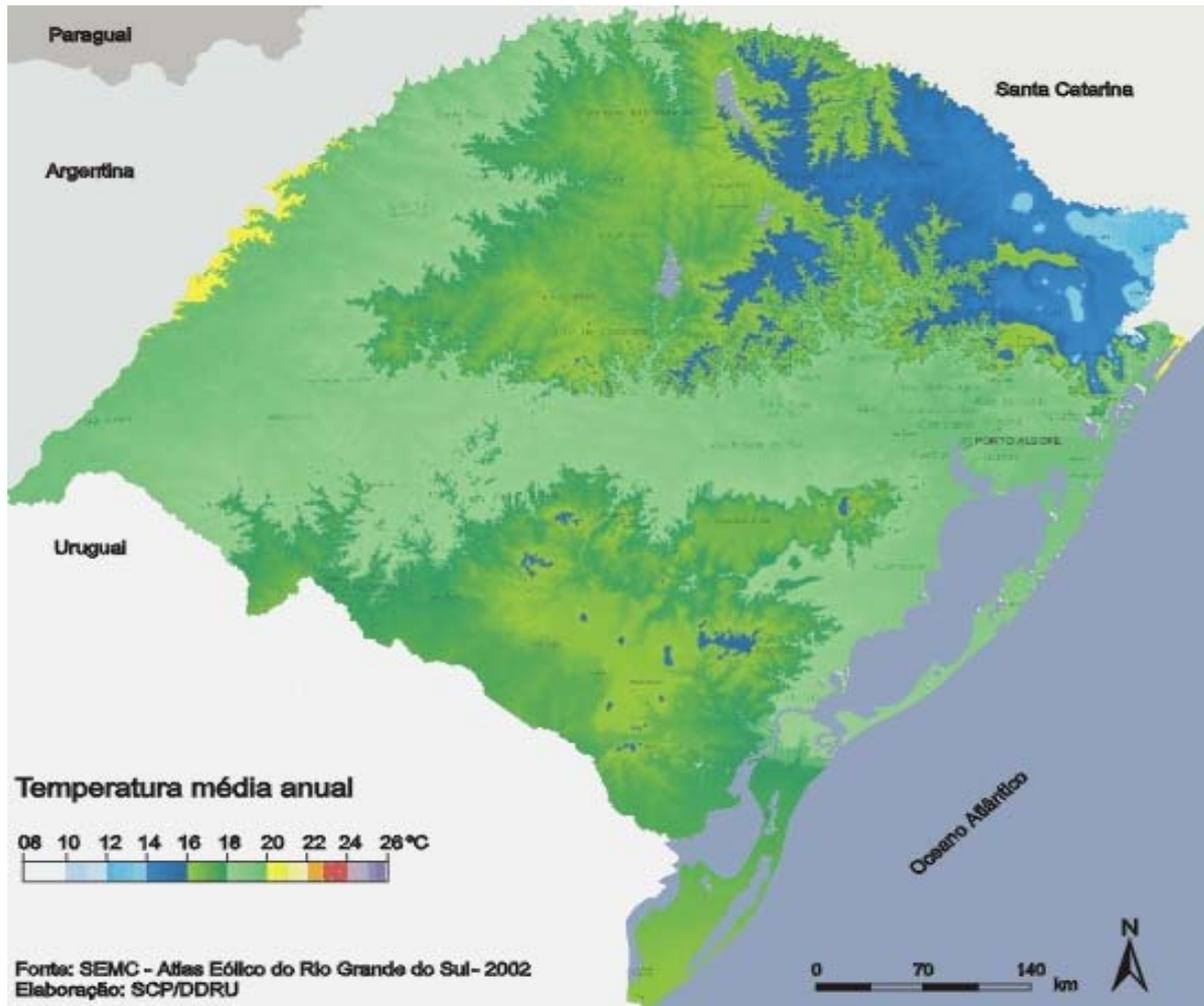
A região situa-se no Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul, com latitude de 28°00'00" a 28°30'00" S e longitude de 52°00'00" a 52°30'00" W e uma altitude de 780 metros acima do nível do mar.

A região, segundo classificação climática de Köppen, apresenta um clima subtropical do tipo Cfa (Figura 8), caracterizada por uma elevada umidade relativa do ar, temperatura média anual de 17,5° C e a precipitação de 1659 mm, ocorrendo chuvas também no inverno (Figuras 6 e 7).



Fonte: FEE (2005).

Figura 6 – Precipitação pluviométrica média anual no Rio Grande do Sul.



Fonte: FEE (2005).  
Figura 7 – Temperatura média anual.

O solo da área estudada pertence à unidade Passo Fundo. Na unidade de mapeamento Passo Fundo, o solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, que compreende solos contínuos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial (EMBRAPA, 1999)

Latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e tem capacidade de troca de cátions baixa. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram variedades que tem cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados, transicionais para condições de maior grau de gleização (EMBRAPA, 1999).

São normalmente mais profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro. Têm seqüência de horizonte A, B, C, com pouca diferenciação de horizontes, e transições usualmente difusas ou graduais. O incremento de argila do A para o B é pouco expressivo, e a relação textural B/A não satisfaz os requisitos para B textural. De um modo geral, os teores da fração argila no *solum* aumentam gradativamente com a profundidade, ou permanecem constantes ao longo do perfil. Tipicamente, é baixa a mobilidade das argilas no horizonte B, ressalvados comportamentos atípicos, de solos desenvolvidos de material arenoso quartzoso, de constituintes orgânicos ou com  $\Delta\text{pH}$  positivo ou nulo.

São, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, Distróficos ou Álicos. Ocorrem, todavia, solos com média e até mesmo alta saturação por bases, encontrados geralmente em zonas que apresentam estação seca pronunciada, semi-áridas ou não, como, também, em solos formados a partir de rochas básicas (EMBRAPA, 1999).

São típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave a ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas, sob condições de clima e tipos de vegetação os mais diversos.

Para Andrae & Krafpfenbauer (1983), grande parte dos solos da FLONA de Passo Fundo, são vermelhos, profundamente decompostos, argilosos, geralmente de estrutura estável e bem drenados, muitas vezes caracterizados pela tendência de apresentarem um horizonte de iluviação de argila, o causador da hodromorfia mais ou menos pronunciada.

### 3.1.2 Região da Encosta Superior do Nordeste – Município de Canela

Os dados desta região foram obtidos na Floresta Nacional de Canela (FLONA Canela – RS), localizada no município de Canela, Rio Grande do Sul, distante 6 km da área urbana de Canela e a 126 km da capital do Estado, Porto Alegre. A área de estudo situa-se entre as coordenadas geográficas 29°18' latitude sul e 50°53' longitude oeste. Os dados da análise de tronco foram obtidos do abate de seis

árvores com 47 anos de idade, o diâmetro médio foi de 25,7 cm, altura média de 16,3 m e o volume médio de 0,5853 m<sup>3</sup>sc.

A região onde está situada a FLONA é denominada de Encosta Superior do Nordeste, sendo zona de ocorrência de floresta natural de araucária (Figuras 4 e 5).

O clima dominante na região (Figura 8), segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cfb 1, temperado úmido (Moreno, 1961). De acordo com IPAGRO (1989), a região do município de Canela possui as seguintes médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar (Figuras 6 e 7): Temperatura mínima média de 10° C; Temperatura máxima média de 21,3° C; Temperatura média anual de 14,8° C; Precipitação média anual de 1281 mm; Umidade relativa do ar de 80%.

Segundo Mota et al. (1971), os ventos dominantes na região são alísios, ou seja, sopram na direção do mar para a terra. O sentido predominante do vento é Sudoeste (SW), embora ocorram ventos de Nordeste (NE), durante os meses de maio a agosto. Na região ocorre freqüentemente a formação de geadas, podendo, ocasionalmente, ocorrer precipitação de neve.

Segundo EMBRAPA (1999), a região enquadra-se no grupo de solo São Bento, que abrange as formações da Serra Geral, Botucatu e Rosário do Sul. Especificamente o local em estudo encontra-se na formação Serra Geral, caracterizada por derrames de lava basáltica. A profundidade do solo aumenta à medida que a declividade diminui, sendo esta relação parabólica, e não linear.

O solo da região enquadra-se na unidade de mapeamento Bom Jesus, sendo pouco desenvolvido e classificado como Cambissol Húmico Alumínico típico (EMBRAPA, 1999). Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial.

Devido a heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal.

O horizonte B incipiente (Bi) tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o *solum*, geralmente, apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do A para o Bi (EMBRAPA, 1999).

A estrutura do horizonte Bi pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos, também, de estruturas em grão simples ou maciça. Alguns solos

desta classe possuem características morfológicas similares às dos solos da classe dos Latossolos, mas distinguem-se destes por apresentar uma ou mais das características abaixo especificadas, não compatíveis com solos muito evoluídos (EMBRAPA, 1999):

- 4% ou mais de minerais primários alteráveis ou 6% ou mais de muscovita na fração areia total;
- Capacidade de troca de cátions, sem correção para carbono,  $\geq 17\text{cmol}_c/\text{kg}$  de argila;
- Relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Ki)  $> 2$ ;
- Teores elevados em silte, de modo que a relação silte/argila seja  $> 0,7$  nos solos de textura média ou  $> 0,6$  nos de textura argilosa, principalmente nos solos do cristalino; e
- 5% ou mais do volume do solo constando de fragmentos de rocha semi-intemperizada, saprólito ou restos de estrutura orientada da rocha que deu origem ao solo.

De acordo com as regiões fitogeográficas do Rio Grande do Sul (Figuras 4 e 5), a área em estudo localiza-se na Encosta Superior do Nordeste, entre a Encosta Inferior do Nordeste e os Campos de Cima da Serra. Esta região totaliza  $7.683\text{ km}^2$ , com formação geológica basáltica e apresentando um relevo montanhoso recortado profundamente por rios que formam vales consideráveis nos limites com o Planalto.

A Encosta Superior do Nordeste alonga-se no sentido leste-oeste por centenas de quilômetros, limitando-se com a Depressão Central. Nesta área as altitudes variam de 200 a 900 metros, com um relevo fortemente ondulado a montanhoso, bastante desgastado pela erosão progressiva causada pelos rios Taquari, Antas, Caí e Sinos.

A Floresta Nacional de Canela caracteriza-se por apresentar regiões abruptas, originando um relevo relativamente acentuado. Predominam grandes afloramentos rochosos, formando, freqüentemente, plataformas que impedem o desenvolvimento de determinadas espécies, principalmente *Araucaria angustifolia*.

A Floresta Nacional de Canela apresenta uma área total de  $517,7$  hectares, sendo  $128,8$  ha de florestas nativas (24,9%),  $280,5$  ha de florestas plantadas (54,2%) e  $108,3$  ha de áreas não-estocadas (20,9%).

A área plantada divide-se em 129,9 ha de *Araucaria angustifolia* (46,5%), 114,3 ha de *Pinus* sp (40,09%), 29,4 ha de floresta mista de *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii* (10,5%) e 6,0 ha de plantações de *Eucalyptus* sp. (2,1%).

Os espaçamentos utilizados inicialmente nos povoamentos eram reduzidos, apresentando, conseqüentemente, talhões com grande densidade inicial. No caso da *Araucaria angustifolia*, os plantios foram feitos diretamente no campo, utilizando duas ou três sementes por cova, em espaçamento reduzido.

Os replantios, em número de um ou mais, foram realizados nos casos de baixo índice de sobrevivência dos plantios. Alguns talhões apresentam partes em que a implantação inicial foi feita com *Araucaria angustifolia*, que não obteve êxito, sendo posteriormente substituídos por povoamentos de *Pinus* sp.

Os plantios iniciais da FLONA datam de 1948 e continuaram pela década de 50 voltados à *Araucaria angustifolia*. Na década de 60 foram realizados principalmente plantios de *Pinus elliottii* Engelm., época que coincide com a expansão de culturas de exportação como a soja e da fronteira agrícola como um todo.

Entretanto, reflorestamentos tiveram cuidados limitados, apenas no sentido de preservar o patrimônio florestal. Esses povoamentos foram depreciados pela falta de intervenções técnicas como desbastes, necessários em virtude dos reduzidos espaçamentos iniciais utilizados. Nestas áreas foi realizado apenas o que se denominou manejo moderado, com a colheita florestal feita sem objetivos claros ou definidos.

O histórico dos povoamentos de araucária mostra que estes sofreram intervenções silviculturais de baixa intensidade. Embora alguns talhões apresentem um número reduzido de indivíduos, este número baixo de indivíduos é uma conseqüência do baixo índice inicial de sobrevivência.

### 3.1.3 Região da Serra do Sudeste – Município de Caçapava do Sul

Os dados para o estudo nesta região foram coletados em um povoamento natural de *Araucaria angustifolia*, com distribuição aleatória, em uma propriedade particular no município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, situada na localidade do Salso, entre as coordenadas 26°14'39" E e 66°16'52"N e altitude de

338 m. Foram utilizadas três árvores, com diâmetro médio de 26,9 cm, altura média de 12,3 m e volume médio de 0,6384 m<sup>3</sup> sc, e idade média de 52 anos.

A propriedade possui 7,0833 hectares, permeados com fragmentos florestais, grande densidade de indivíduos de araucária, folhosas e campos naturais.

A vegetação no local pode ser descrita como Floresta Estacional Decidual (Veloso & Góes Filho, 1982 e Teixeira et al., 1986), (Figura 5). Devido à redução drástica da cobertura florestal do Estado, a região da Serra do Sudeste é apontada como uma das principais áreas com vistas à conservação da flora regional por abrigar um grande número de espécies endêmicas em formações abertas (Guadagnin et al., 2000).

Na região também encontra-se área de vegetação da Savana, que ocupa uma área de relevo aplainado e dissecado, em altitudes até pouco superiores a 400 m, caracterizado por solos litólicos, distróficos e eutróficos, rasos, bem como solos podzólicos, onde predominam granitos e gnaisses Pré-cambrianos, e elementos da Floresta Estacional Decidual e Semidecidual (IBGE, 1986).

A Savana Parque, com superfície de 14.810 km<sup>2</sup>, está situada na Serra do Sudeste ou Planalto Sul-rio-grandense, em áreas de relevo forte ondulado até montanhoso, onde predominam solos litólicos e podzólicos, distróficos, pouco profundos, com afloramentos rochosos, muito susceptíveis a erosão, face ao relevo e à textura superficial leve dos solos. A vegetação é caracterizada por um estrato herbáceo constituído, basicamente, por gramíneas cespitosas e, em menor escala, rizomatosas, sobre o qual encontram-se distribuídos, de forma isolada ou pouco agrupada, espécies arbóreas e grupos de arvoretas.

Esta fitofisionomia é consideravelmente desuniforme, ora predominando longos trechos com raros exemplares arbóreos ou grupos de arvoretas, ora trechos densamente povoados, junto a agrupamentos mais ou menos extensos de florestas, situados em encostas de morros e junto aos cursos de água, formando galerias.

O estrato herbáceo é formado por espécies rizomatosas com predomínio do gênero *Paspalum*, em muitos locais invadido por *Baccharis* spp., *Senecio brasiliensis*, *Eryngium horridum*, *Vernonia nudiflora*, que provavelmente aumentaram sua dispersão face a ação antrópica desenvolvida na região (IBGE, 1986).

A região fitoecológica da Floresta Estacional Semicidual possui uma superfície de 9.862 km<sup>2</sup> de extensão e está situada em parte vertente leste do Planalto Sul-rio-grandense em outra parte a leste da Depressão Central Gaúcha,

onde, também, avança sobre terrenos circunvizinhos a Serra Geral e seus patamares (IBGE, 1986).

A região está subdividida em quatro formações, utilizando-se basicamente, critérios altimétricos: Floresta Aluvial (ao longo dos cursos d'água); Florestas de Terras Baixas: até 30 m; Floresta Submontana: de 30 até 400 m; e Floresta Montana: de 400 até 1.000 m.

No Planalto Sul-rio-grandense há uma série de locais onde ainda são encontrados pequenos agrupamentos de Floresta Ombrófila Mista, bem como elementos a ela pertencentes, como a *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii*, e outros. A oeste, na localidade de Passo das Carretas, 10 km ao sul da cidade de Santana da Boa Vista (RS), pela RS-62, a cerca de 100 m de altitude, há uma comunidade florestal onde foram encontradas as seguintes espécies: *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Scutia buxifolia*, *Schinus polygamus* (IBGE, 1986).

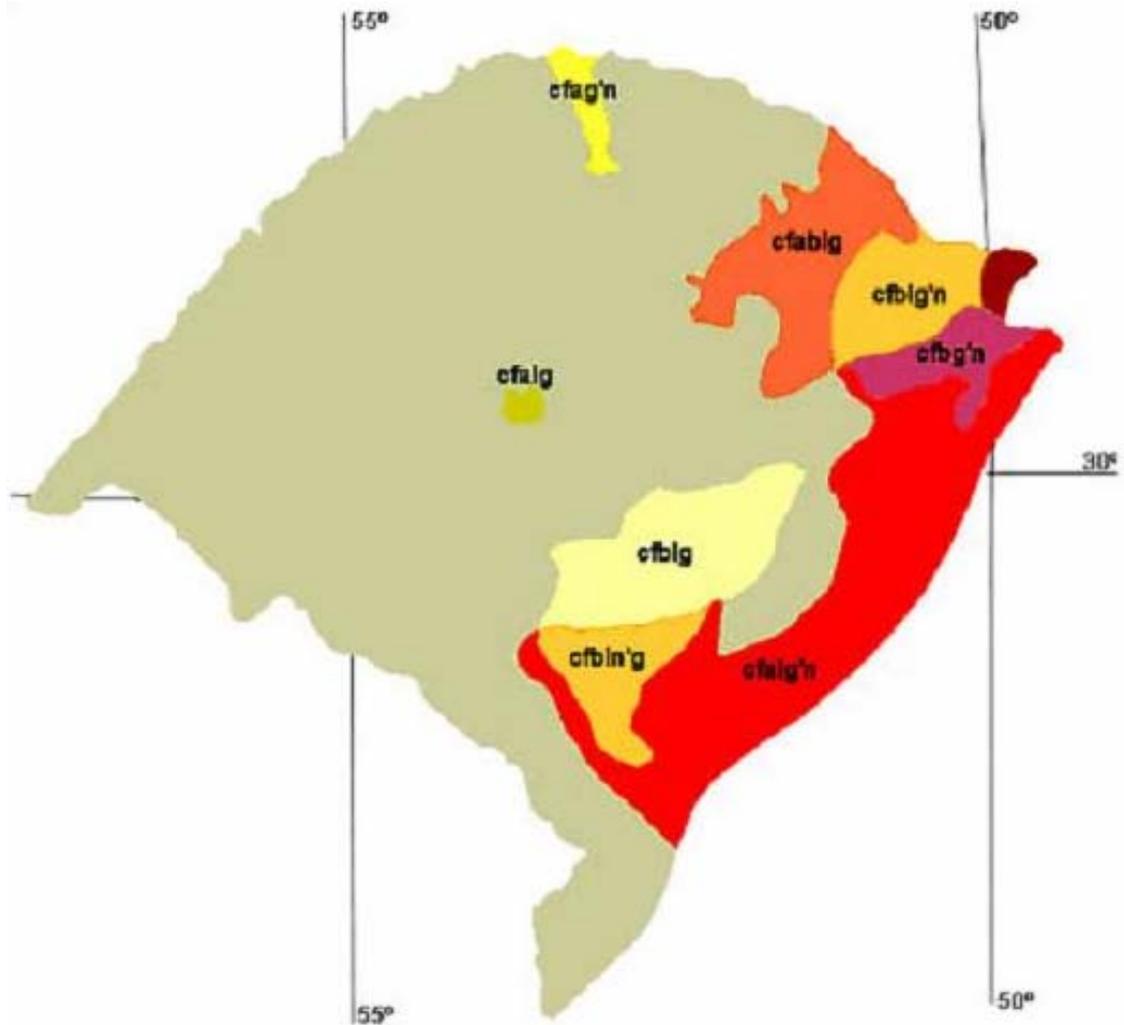
O solo da região pertence a unidade de mapeamento Carajá, classificado como Argissolo vermelho-amarelo eutrófico abrupto (EMBRAPA, 1999). Compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais, argila de atividade baixa e horizonte superficial.

Parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila, com ou sem decréscimo, do horizonte B para baixo no perfil. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual.

São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este (EMBRAPA, 1999).

São forte a moderadamente ácidos, com saturação de bases alta, ou baixa, predominantemente caulíníticos e com relação molecular Ki variando de 1,0 a 2,3, em correlação com baixa atividade das argilas.

O clima da região predominante é o Cfa1 de Köppen (Figura 8).



Fonte: SCP (2005).

Figura 8 – Climas do Rio Grande do Sul.

A temperatura média anual é ao redor de  $16,8^{\circ}\text{C}$ . A precipitação média anual é ao redor de 1.665 mm (Figuras 6 e 7). Pode ocorrer chuva torrencial de 119 mm em 24 horas e geadas de abril a novembro. Os períodos de secas mais freqüentes verificam-se entre os meses de novembro a março.

### 3.2 Método de amostragem

#### 3.2.1. Amostragem na Serra do Sudeste

Devido a Legislação Florestal vigente, e, obedecendo a critérios de distribuição aleatória dos indivíduos, reserva permanente, área de reserva legal, cursos d'água, aproveitamento de espécies florestais nativas, elaborou-se um

relatório para Retirada de Árvores Ameaçadas de Extinção, conforme formulário da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA/RS), obtendo-se a liberação de três árvores para derrubar e realizar a análise de tronco (ANATRO).

Assim, após percorrer a propriedade, escolheu-se os indivíduos que estavam em local plano, longe de reserva legal, cursos e nascentes d'água e que ao tombarem não danificariam espécies circunvizinhas.

### 3.2.2 Amostragem no Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste

Foram traçadas três linhas, com 150 metros de comprimento cada, sobre o mapa da classificação natural de sítios realizada no povoamento em 1989, de forma que cada linha ficou sobre uma das classes naturais de sítio em estudo. Sobre cada linha foram locadas quatro unidades amostrais, dispostas de maneira equidistante. Dessa forma têm-se doze unidades amostrais para as três classes naturais de sítio em estudo.

Nestes locais foram instaladas unidades amostrais temporárias, utilizadas somente para uma única coleta de dados. O método de Bitterlich foi utilizado para a locação das unidades amostrais, sendo as árvores selecionadas com probabilidade proporcional ao seu diâmetro (Amostra por Contagem Angular). Para o desenvolvimento deste método procede-se a partir de um ponto fixo, fazendo-se um giro de 360 graus comparando o ângulo selecionado com os indivíduos observados. No caso do diâmetro da árvore ser maior ou igual ao ângulo selecionado, esta é incluída na unidade amostral. Se o diâmetro da árvore for menor que o ângulo selecionado, esta não é incluída na unidade amostral. O ângulo selecionado para este levantamento foi de  $2^{\circ}17'32''$ , que corresponde ao Fator de Área Basal (FAB) quatro (4) e à banda quatro do relascópio de Bitterlich. Dessa forma, cada árvore selecionada em uma unidade amostral (ACA) representa uma área basal de  $4\text{m}^2/\text{ha}$ .

Cada árvore da ACA teve mensuradas as suas características dendrométricas. Os diâmetros de todas as árvores de cada ACA foram obtidos na altura de 1,30 m a partir do solo; a área basal por hectare (G) foi obtida utilizando-se fator de área basal 4 do relascópio de Bitterlich, multiplicado pelo número de árvores selecionadas em cada ACA. A obtenção relascópica do número de árvores por hectare segue o princípio da ACA, segundo o qual cada árvore contada representa

uma quantidade de área basal em metros quadrados por hectare (G), correspondente ao fator de área basal utilizado. O valor de (G) representa a área basal das árvores nesta unidade de área, existindo uma relação entre a área basal (g) de cada árvore contada e o respectivo fator de área basal (K) empregado. Considerando que em cada ACA foram contadas 'n árvores', o número de árvores por hectare (N), para cada ACA, é dado pela seguinte equação:

$$N = K \times \left[ \left( \frac{1}{g_1} \right) + \left( \frac{1}{g_2} \right) + \left( \frac{1}{g_3} \right) + \dots + \left( \frac{1}{g_n} \right) \right]$$

Onde: N= número de árvores por hectare;  
 n= número de árvores contada em cada ACA;  
 K= fator de área basal utilizado;  
 $g_{1,2,\dots,n}$ = área de seção transversal da árvore 'i'.

Outro elemento dendrométrico em cada ACA foi a árvore de altura dominante média, segundo o conceito de Pollanschütz ( $h_{Poll}$ ), onde, para um fator de área basal igual a quatro, a altura média das três árvores de maior diâmetro corresponde à árvore de altura dominante.

Para o Planalto Médio foram selecionadas cinco árvores para a análise de tronco e na Encosta Superior do Nordeste seis árvores.

### 3.2.3 Coleta de dados para estudo do crescimento

Os indivíduos selecionados foram abatidos e retirados discos de 5 cm de espessura, nas alturas de 0,40 m, 1,30 m e após de 2 em 2 metros. Escolheu-se este intervalo para a retirada dos discos para dar aproveitamento às toras (Figura 9), não ocorrendo o desperdício da madeira. Os discos retirados foram secos em estufa com ventilação, lixados e medidos os anéis de crescimento (Figura 10). Após a medição os dados foram rodados no programa ANATRO (análise de tronco).

Na presença de nós nas posições de retirada das fatias, a posição de retirada da fatia foi deslocada para os entre-nós. As posições de retirada das fatias no tronco, bem como a altura total da árvore foram anotadas em fichas próprias, segundo metodologia descrita por Schneider et al. (1988). As fatias foram etiquetadas com fita rotex, constando o número da árvore amostra e a posição de

retirada da fatia no tronco, e posteriormente transportada em sacos de estopa para o local de secagem.



Figura 9 – Derrubada para retirada dos discos e desdobramento das toras em tábuas.



Figura 10 – Discos retirados para Análise de Tronco, "*in natura*", e após secos e lixados para medição.

A medição dos anéis de crescimento foi feita sobre quatro raios perpendicularmente marcados sobre cada fatia, sendo o primeiro raio marcado com um ângulo de 45 graus no sentido anti-horário em relação ao maior raio da seção.

Em cada disco foram tomadas medidas em quatro raios, sendo o primeiro num ângulo de 45° a partir do maior raio da fatia e os demais a 90° um do outro. Os anéis de crescimento foram identificados com auxílio de lupa e, suas espessuras medidas com auxílio de mesa de medição micrométrica acoplada a um computador.

A identificação dos anéis de crescimento foi realizada de acordo com a orientação de Schweingruber (1996) que descreveu os problemas na identificação de anéis de crescimento anual em *Pinus*, citando que podem existir anéis muito tênues próximos à medula, de difícil identificação visual e falsos anéis causados por estresse, relacionando os fatores que influem na sua formação e algumas técnicas utilizadas para identificar anéis verdadeiros.

Após a medição dos anéis de crescimento, realizada no aparelho Lintab II, os dados foram processados no programa análise de tronco (ANATRO).

Da medição dos raios das fatias no aparelho Lintab II foram gerados arquivos de dados com informações de controle das árvores e das dimensões dos raios. Posteriormente, este arquivo de dados foi transformado, através do Programa ANARC.EXE, num arquivo do tipo NOME.DAT. Esse arquivo de dados transformado foi lido no Programa ANATRON.EXE que realiza os cálculos dendrométricos por idade, gerando: diâmetro, altura, área basal, volume os seus incrementos, além do fator de forma.

Os dados foram processados em programa de computador ANATRO, elaborado por Schneider (1984), de onde se obteve a idade das árvores, o diâmetro, altura, o volume, área basal, fator de forma, incremento corrente e médio anual. Com estes dados foram testados 10 modelos matemáticos para ajuste da equação que melhor expressasse o crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade, empregando-se modelos lineares e não-lineares.

#### 3.2.4 Amostragem do solo

Em cada região foi realizada a coleta de solo, retiradas com uma pá de 0 a 30 cm de profundidade. A retirada das amostras foi distribuída de forma equidistante

sobre a projeção da copa da árvore, homogeneizada e retirada uma amostra única de cada local.

A coleta totalizou três amostras de solo para a Serra do Sudeste, oito amostras para Canela e oito amostras para Passo Fundo. A partir dessas amostras foram determinadas as características químicas do solo para cada região.

As referidas amostras foram enviadas para o laboratório de solos do Centro de Ciências Rurais da UFSM para que fosse realizada a determinação quantitativa dos nutrientes (Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Alumínio, Zinco, Cobre e Manganês), segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

### 3.3 Equações testadas para o crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade

Para o estudo do crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade foram utilizados os dados da análise de tronco. Foram testados e selecionados os modelos de regressão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Equações testadas para crescimento do diâmetro em função da idade.

Equação	Modelo matemático	Autor
1	$\ln d = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t}$	Schumacker
2	$\ln d = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman
3	$\ln d = b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman modificada
4	$d = \frac{t^2}{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan
5	$d = \frac{t^2}{b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan modificada
6	$\ln d = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t} + b_2 \cdot \ln t$	Hoerl
7	$\ln d = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$	Moissev
8	$\ln d = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot t$	Gram
9	$d = b_0 \cdot \left[ 1 - \exp(-b_1 \cdot t) \right]^{b_2}$	Chapman-Richards
10	$d = b_0 \cdot \left[ 1 - \exp(-b_1 \cdot t) \right]$	Mitscherlich

Sendo: d: diâmetro a altura do peito (1,30 m); t: idade;  $b_0, b_1, \dots$  = coeficientes das equações; ln = logaritmo neperiano.

Fonte: Loetsch et al. (1973); Mitscherlich e Sonntag (1982); Richards (1959); Prodan (1968); Kiviste et al. (2002).

Tabela 2 - Equações testadas para crescimento da altura em função da idade.

Equação	Modelo matemático	Autor
1	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t}$	Schumacker
2	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman
3	$\ln h = b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman modificada
4	$h = \frac{t^2}{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan
5	$h = \frac{t^2}{b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan modificada
6	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t} + b_2 \cdot \ln t$	Hoerl
7	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$	Moissev
8	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot t$	Gram
9	$h = b_0 \cdot \left( 1 - \exp(-b_1 \cdot t) \right)^{b_2}$	Chapman-Richards
10	$h = b_0 \cdot \left( 1 - \exp(-b_1 \cdot t) \right)$	Mitscherlich

Sendo: h: altura em metros; t: idade;  $b_0, b_1, \dots$  = coeficientes das equações; ln = logaritmo neperiano.

Fonte: Loetsch et al. (1973); Mitscherlich e Sonntag (1982); Richards (1959); Prodan (1968); Kiviste et al. (2002).

Tabela 3 - Equações testadas para crescimento do volume em função da idade.

Equação	Modelo matemático	Autor
1	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t}$	Schumacker
2	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman
3	$\ln v = b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman modificada
4	$v = \frac{t^2}{e^{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}}$	Prodan
5	$v = \frac{t^2}{e^{b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}}$	Prodan modificada
6	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t} + b_2 \cdot \ln t$	Hoerl
7	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$	Moissev
8	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot t$	Gram
9	$v = b_0 \cdot 1 - \exp(-b_1 \cdot t)^{b_2}$	Chapman-Richards
10	$v = b_0 \cdot 1 - \exp(-b_1 \cdot t)$	Mitscherlich

Sendo: v: volume em metros cúbicos sem casca; t: idade;  $b_0, b_1, \dots$  = coeficientes das equações;  $\ln$  = logaritmo neperiano.

Fonte: Loetsch et al. (1973); Mitscherlich e Sonntag (1982); Richards (1959); Prodan (1968); Kiviste et al. (2002).

### 3.4 Crescimento do volume em função do diâmetro e altura

Para complemento da análise, foram ajustados os modelos de volume em função do diâmetro e altura, conforme estão representados na Tabela 5.

Tabela 4 - Equações testadas para ajuste do volume em função do diâmetro e altura.

Número da Equação	Modelo matemático	Autores
1	$v = b_0 + b_1.d + b_2.d^2 + b_3.dh + b_4.d^2.h + b_5.h$	Meyer
2	$v = b_0 + b_1.d + b_2.d^2 + b_3.dh^2 + b_4.d^2.h$	Meyer modificada
3	$v = b_0 + b_1.d^2 + b_2.d^2.h + b_3.dh^2 + b_4h^2$	Naslund modificada
4	$v = b_0 + b_1.d^2 + b_2.d^2h + b_3h$	Stoate
5	$v = b_0 + b_1.d^2h$	Spurr
6	$\log v = b_0 + b_1.\log d + b_2.\log^2 d + b_3.\log h + b_4.\log^2 h$	Prodan
7	$\log v = b_0 + b_1.\log d + b_2.\log h$	Schumacher-Hall
8	$\log v = b_0 + b_1.\log(d^2h)$	Spurr
9	$\log v = b_0 + b_1.\log d + b_2.d^{-1}$	Brenac

Sendo: v= volume sem casca em metros cúbicos; h= altura em metros; d= diâmetro à 1,30 m do nível do solo.

Fonte: Schneider, (1998).

### 3.5 Crescimento da altura em função do diâmetro

No estudo da altura em função do diâmetro foram usados os dados da amostragem da análise de tronco, os quais serviram para ajustar os modelos matemáticos da Tabela 6.

Tabela 5 - Equações testadas para ajuste da altura em função do diâmetro.

Equação	Modelo matemático	Autor
1	$h = b_0 + b_1.d + b_2.d^2$	Modelo Parabólico
2	$\ln h = b_0 + b_1.\ln d$	Stofells
3	$\ln h = b_0 + b_1.\left(\frac{1}{d}\right)$	Curtis
4	$h = b_0 + b_1.\left(\frac{1}{d}\right)$	Curtis
5	$h = b_0 + b_1.d + b_2.\left(\frac{1}{d}\right)$	-
6	$h = b_0 + b_1.\left(\frac{1}{d}\right) + b_2.d^2$	-
7	$h = b_0 + b_1.d + b_2.\left(\frac{1}{d}\right) + b_3.d^2$	-

Sendo: h= altura em metros; d= diâmetro à altura do peito em centímetros; ln= logaritmo neperiano.

Fonte: Schneider, (1998).

### 3.6 Critérios de seleção dos modelos matemáticos, análise estatística

Com o objetivo de selecionar o melhor modelo de regressão analisou-se o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos definidos pelo: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, coeficiente de variação, valor de F, valor ponderado dos escores estatísticos e a distribuição gráfica dos resíduos.

#### 3.6.1 Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj.}$ )

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão. Como o coeficiente de determinação cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, foi utilizado o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{Aj.}$ ) para número de coeficientes da equação, como critério de seleção do modelo, obtido pela expressão:

$$R^2_{Aj.} = R^2 - \left[ \frac{K-1}{N-K} \right] \cdot (1 - R^2)$$

Sendo:  $R^2$  = coeficiente de determinação;  $K$  = número de coeficientes da equação;  $N$  = número de observações.

Quanto mais próximo de 1 forem os valores dos coeficientes de determinação melhor será o ajuste da linha de regressão. Sendo assim, por este critério, selecionado o modelo matemático que apresentou o maior valor de  $R^2_{Aj.}$ .

#### 3.6.2 Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa indica a precisão do ajuste do modelo matemático e somente deve ser utilizado como comparador quando as variáveis dependentes apresentarem mesma unidade de medida.

O Erro Padrão da Estimativa ( $S_{yx}$ ) é obtido através da fórmula:

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res.}}$$

Sendo  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa;  $QM_{res.}$  = quadrado médio do resíduo, obtido na análise de variância.

Assim, quanto menor for o erro padrão da estimativa melhor são as estimativas obtidas na equação, portanto deveria ser selecionada.

### 3.6.3 Coeficiente de variação

O Coeficiente de Variação (CV%) é obtido pela fórmula:

$$CV\% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100$$

Sendo:  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em percentagem;  $\bar{y}$  = média aritmética da variável dependente.

Dessa forma, foi selecionado o modelo matemático que apresentou o menor valor de CV%.

### 3.6.4 Valor de F

O valor de F calculado na análise de variância das equações foi utilizado como um dos parâmetros estatísticos na determinação do Valor Ponderado, para a seleção do melhor modelo matemático.

### 3.6.5 Valor Ponderado (VP)

Esse critério de seleção de equações levou em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas. Esta estatística foi utilizada com o objetivo de sintetizar os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático.

O Valor Ponderado (VP) foi determinado atribuindo-se valores ou pesos às estatísticas calculadas. Nesse processo, as estatísticas foram ordenadas de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente e pesos crescentes para as demais equações (ranking).

O valor ponderado de uma equação foi obtido pela multiplicação do número de vezes quantificado para cada colocação pelo seu respectivo peso, sendo expressa por:

$$VP = \sum_{i=1}^n Nr_i * P_i$$

Sendo  $P_i$  = peso da  $i$ ésima colocação;  $Nr_i$  = números de registros que obtiveram a  $i$ ésima colocação;  $VP$  = valor ponderado da equação.

A equação selecionada foi a que apresentou o menor valor ponderado dos escores estatísticos determinados.

### 3.6.6 Distribuição gráfica dos resíduos

Na seleção dos modelos matemáticos considerou-se também a distribuição gráfica dos resíduos, sendo selecionado o modelo que apresentou a menor variação de resíduos, com menor tendência de superestimar ou subestimar os valores.

Neste método, os desvios foram graficamente distribuídos em um sistema de eixos ortogonais, sendo que no eixo da ordenada os desvios foram centrados em zero e o eixo da abscissa pela variável dependente observada.

### 3.7 Análise de regressão com variável dummy

Após a seleção da melhor equação para estimar o crescimento em diâmetro, altura e volume por idade, para os dados obtidos na análise de tronco, foram criadas variáveis dummy que assumiram valores de 0 a 1 conforme a região em que se localizavam as araucárias amostradas, da seguinte forma:

$D_i=1$ , se a árvore estiver presente na região/local  $i$ ;

$D_i=0$ , se a árvore estiver ausente nessa região/local  $i$ .

Com isso foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para as três ( $n$ ) regiões/locais que tem  $R^n$  funções lineares múltiplas, conforme Schneider (1998):

$$R^1 : \hat{Y}_1 = b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1m}x_m$$

$$R^2 : \hat{Y}_2 = b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2m}x_m$$

$$R^3 : \hat{Y}_3 = b_{31}x_3 + b_{32}x_2 + \dots + b_{3m}x_m$$

Assim, todas as funções de regressão individuais foram expressas em função de uma regressão linear múltipla, chamada de modelo máximo, representada por:

$$R: \hat{Y} = b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + \dots + b_{1m}x_{1m} + b_{21}x_{21} + b_{22}x_{22} + \dots + b_{2m}x_{2m} + \dots + b_{s1}x_{s1} + b_{s2}x_{s2} + \dots + b_{sm}x_{sm}$$

Sendo:

$$\begin{aligned} X_{11} &= D_1X_1, X_{12} = D_1X_2, \dots, X_{1m} = D_1X_m; \\ X_{21} &= D_2X_1, X_{22} = D_2X_2, \dots, X_{2m} = D_2X_m; \\ X_{31} &= D_3X_1, X_{32} = D_3X_2, \dots, X_{3m} = D_3X_m. \end{aligned}$$

Após a determinação do modelo máximo com as variáveis dummy, foi realizado o teste de condicionante de regressões parciais considerando cada região/local. A avaliação da significância do modelo foi realizada pelos parâmetros estatísticos, coeficiente de determinação, coeficiente de variação e erro padrão da estimativa.

A análise da existência de diferença no crescimento do diâmetro, altura e volume em função da idade entre as regiões, foram realizados pelo valor do F determinado na análise de variância, obtido pelo programa estatístico SAS. Através dessa análise será possível verificar a necessidade ou não de ajustar equações de crescimento diferenciadas para cada região.

A denominação de cada região ficou da seguinte forma:

D1= dummy 1, Serra do Sudeste;

D2= dummy 2, Planalto Médio;

D3= dummy 3, Encosta Superior do Nordeste.

### 3.8 Análise de covariância

Na análise de covariância padrão, primeiramente, testa-se as hipóteses da não diferença de inclinação. Se não existir evidência da diferença de inclinação a hipótese da não diferença em níveis é testada. Se a diferença for não significativa para a inclinação ou grupos, uma regressão única pode ser ajustada, ignorando a diferença em grupos.

Foi realizada análise de covariância para verificar as diferenças do crescimento nas diferentes regiões fitogeográficas, conforme os procedimentos

descritos por Schneider (1998). Segundo Storck & Lopes (1998), no cálculo da covariância é possível verificar a pressuposição da homogeneidade dos coeficientes da regressão linear estimados ( $\hat{\beta}$ ), calculando-se separadamente um coeficiente para cada tratamento e, então testando-se a igualdade dos mesmos.

Schneider (1998) utiliza o valor de “F” da interação da covariável com a variável dependente estimada ( $\hat{y}$ ) para cada tratamento, calculada pela soma de quadrados de produtos corrigidos, para comparar as diferenças entre as inclinações e utiliza o valor de “F” calculado para a covariável através da soma de quadrados de produtos corrigidos do modelo sem interação para comparar a diferença entre níveis quando não há diferença entre inclinações. No SAS System, as somas de quadrados de produtos corrigidos são obtidas através da opção SS3 da declaração MODEL do procedimento GLM (Sas Institute, 1993). Os tratamentos foram definidos como sendo a covariável na verificação da necessidade de equações de regressão individuais por tratamento.

Em uma definição prática, a análise de covariância pode ser entendida como um modelo contendo variáveis contínuas e indicadores de grupo (variáveis Class), onde o modelo mais simples é descrito como:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_{ij} + \beta(x_{ij} - x_{..}) + \varepsilon_{ij}$$

Uma covariável independente  $X_{ij}$ , associada a um parâmetro  $\beta$ , é combinada à estrutura de tratamentos com parâmetros  $\tau_i$ , resultando no modelo equivalente:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \tau_i + \beta x_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde  $\beta_0 = (\mu - \beta x_{..})$  revela se as estimativas representam um modelo de grupo de linhas paralelas; a inclinação comum é indicada por B e o intercepto por  $(\beta_0 + \tau_i)$ .

Regressões que diferem entre grupos de tratamentos refletem uma interação entre os grupos de tratamentos e a variável independente ou covariável. No GLM (General Linear Models) do SAS (Statistical Analysis System), este fenômeno é especificado e analisado como uma interação, onde o fator X\*A produz a estatística apropriada para estimar diferentes regressões de Y em X, para diferentes valores ou classes especificados por A. Nesta aplicação, a soma de quadrados do tipo I fornece a informação mais útil.

A análise de covariância permite a comparação das curvas de crescimento em relação ao seu paralelismo, podendo indicar a existência de diferentes padrões de crescimento. A hipótese de igualdade de inclinação e nível das curvas de crescimento foi verificada através do teste F, para 1% de erro, sendo os dados processados no SAS.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Serra do Sudeste

No estudo do crescimento da *Araucaria angustifolia* na região, foram testados os modelos matemáticos de crescimento, conforme Tabelas 1, 2 e 3, utilizando-se como variável dependente o diâmetro, a altura e o volume. E a idade como variável independente. Deste estudo foram obtidos os coeficientes e os parâmetros estatísticos das equações, bem como as idades de maximização do crescimento em diâmetro, altura e volume.

#### 4.1.1 Crescimento do diâmetro em função da idade

Os dados utilizados permitiram ajustar os modelos de crescimento e analisar a precisão estatística de cada equação. Na Tabela 6, encontram-se os parâmetros estatísticos das equações constantes da Tabela 1.

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento de diâmetro em função da idade.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	4,0521	-21,154	-	-	0,8641	0,3342	11,19	903,55
2	-4,1402	3,2907	-0,321	-	0,9118	0,2692	9,02	734,55
3	-	0,4387	0,1497	-	0,9886	0,3326	11,14	6216,76
4	19,8812	-0,1821	0,0189	-	0,7331	7,8195	23,09	196,02
5	-	1,2676	-0,0035	-	0,9402	9,0599	26,76	1126,0
6	0,5166	-8,1618	0,8997	-	0,9062	0,2776	9,30	686,64
7	-0,8000	0,3097	-0,0076	0,00006	0,9138	0,2661	8,91	502,92
8	-2,9086	2,1505	-0,0346	-	0,9142	0,2655	8,89	757,15
9	57,6457	0,0452	2,2504	-	0,9578	6,17	23,99	1104,44

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

Os resultados mostram que, de forma geral, as equações apresentaram altos coeficientes de determinação ajustado, com valores superiores a 0,73 e coeficientes de variação baixos, variando entre 8,89% a 26,76%.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se as seguintes equações, a de número 3, definida pelo modelo de crescimento de Backman modificado que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado, de 0,9886; bem como um baixo coeficiente de variação, de 11,14%; o modelo de Chapman-Richards (equação 9), com um valor de coeficiente de determinação ajustado de 0,9578 e coeficiente de variação de 23,99% e, o modelo de Prodan modificado (equação 5) com coeficiente de determinação ajustado de 0,9402 e coeficiente de variação de 26,76%.

Assim, devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo foi determinado o método do Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP) para selecionar o modelo para descrever o crescimento do diâmetro em função da idade, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{YX}$	Cv%	F	
1	8	6	6	4	24
2	6	3	3	6	18
3	1	5	5	1	12
4	9	8	7	9	33
5	3	9	9	2	23
6	7	4	4	8	23
7	5	2	2	7	16
8	4	1	1	5	11
9	2	7	8	3	20

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{YX}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

O critério do (VP) das equações levou em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas. Esta estatística foi utilizada com o objetivo de sintetizar os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático. Assim, a melhor equação do crescimento em diâmetro pelo critério do VP, foi a de número 8, definido pelo modelo de Gram, pois apresentou o menor valor, igual a 11 pontos.

Com este modelo de Gram (equação 8), estimou-se o crescimento médio em diâmetro em função da idade. Pela diferença entre os valores estimados e observados obteve-se a Figura 11, que representa a distribuição dos resíduos. Nota-se que a equação tende a uma maior dispersão de resíduos de diâmetro nas maiores classes de idade.

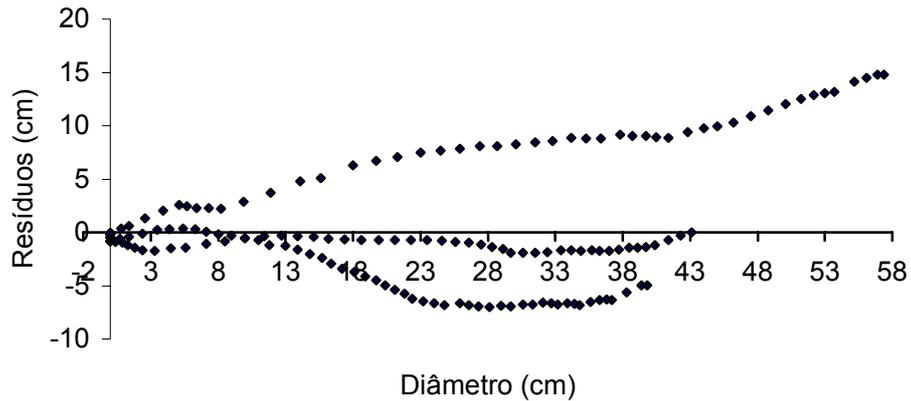


Figura 11 - Distribuição dos resíduos da equação de diâmetro de Gram.

Na Figura 12, observa-se o padrão sigmoidal do crescimento em diâmetro, o qual aumenta lentamente no início, depois rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Nota-se que a curva tende ao início da assíntota, aos 60 anos, indicando a maturidade, que segundo Odum (1988), é o limite superior de crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento importante. Essa assíntota superior é chamada de **capacidade máxima de suporte**.

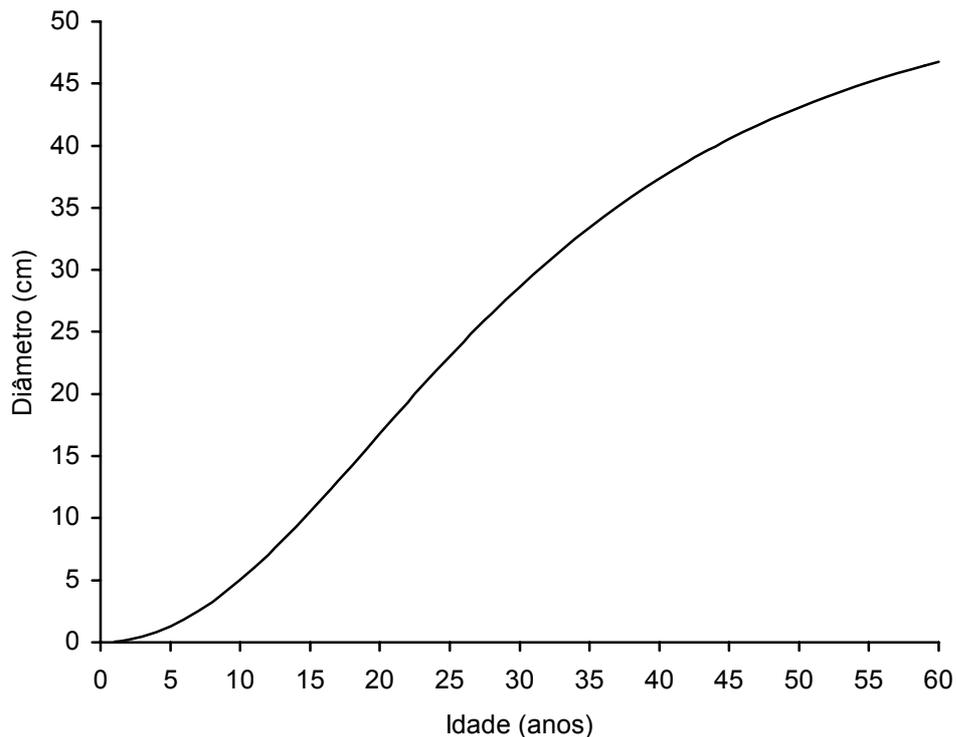


Figura 12 - Crescimento em diâmetro em função da idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Esta curva de crescimento tem origem em zero, um ponto de inflexão e uma assíntota em formação aos 60 anos de idade, referindo-se a um típico padrão de crescimento.

Para completar a análise do crescimento, foram calculados o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) em diâmetro para a espécie, representado na Tabela 8.

Tabela 8 - Estimativas do crescimento em diâmetro por idade para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Idade (anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
1	0,05	0,0507	0,0507
2	0,20	0,1021	0,1534
3	0,46	0,1538	0,2573
4	0,82	0,2056	0,3610
5	1,29	0,2572	0,4634
6	1,85	0,3082	0,5633
7	2,51	0,3584	0,6595
8	3,26	0,4075	0,7510
9	4,10	0,4552	0,8368
10	5,01	0,5012	0,9160
11	6,00	0,5455	0,9880

Tabela 8 - Estimativas do crescimento em diâmetro por idade para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste. Continuação...

Idade (anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
12	7,05	0,5877	1,0522
13	8,16	0,6278	1,1084
14	9,32	0,6655	1,1562
15	10,51	0,7009	1,1957
16	11,74	0,7337	1,2270
17	12,99	0,7641	1,2503
18	14,26	0,7920	1,2660
19	15,53	0,8174	1,2746
20	16,81	0,8404	1,2765
21	18,08	0,8609	1,2724
22	19,34	0,8792	1,2628
23	20,59	0,8953	1,2484
24	21,82	0,9092	1,2296
25	23,03	0,9211	1,2072
26	24,21	0,9311	1,1817
27	25,36	0,9394	1,1536
28	26,49	0,9459	1,1234
29	27,58	0,9510	1,0916
30	28,64	0,9546	1,0586
31	29,66	0,9568	1,0247
32	30,65	0,9579	0,9903
33	31,61	0,9578	0,9557
34	32,53	0,9567	0,9210
35	33,41	0,9547	0,8866
36	34,27	0,9519	0,8526
37	35,09	0,9483	0,8191
38	35,87	0,9440	0,7864
39	36,63	0,9392	0,7544
40	37,35	0,9338	0,7232
41	38,04	0,9279	0,6930
42	38,71	0,9216	0,6637
43	39,34	0,9150	0,6355
44	39,95	0,9080	0,6082
45	40,53	0,9007	0,5819
46	41,09	0,8933	0,5567
47	41,62	0,8856	0,5325
48	42,13	0,8777	0,5092
49	42,62	0,8698	0,4869
50	43,08	0,8617	0,4656
51	43,53	0,8535	0,4452
52	43,95	0,8453	0,4257
53	44,36	0,8370	0,4071
54	44,75	0,8287	0,3893
55	45,12	0,8204	0,3723
56	45,48	0,8121	0,3561
57	45,82	0,8039	0,3406
58	46,15	0,7956	0,3258
59	46,46	0,7874	0,3118

Tabela 8 - Estimativas do crescimento em diâmetro por idade para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste. Continuação...

Idade (anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
60	46,76	0,7793	0,2984

Sendo: dap= diâmetro à altura do peito em centímetro; IMA= incremento médio anual em centímetros por ano; ICA= incremento corrente anual em centímetros por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade, foi gerada a Figura 13, onde observa-se que o máximo incremento médio anual em diâmetro ocorre aos 33 anos, quando interceptou a curva de incremento corrente anual, indicando ser esta a idade aproximada de maximização do crescimento em diâmetro.

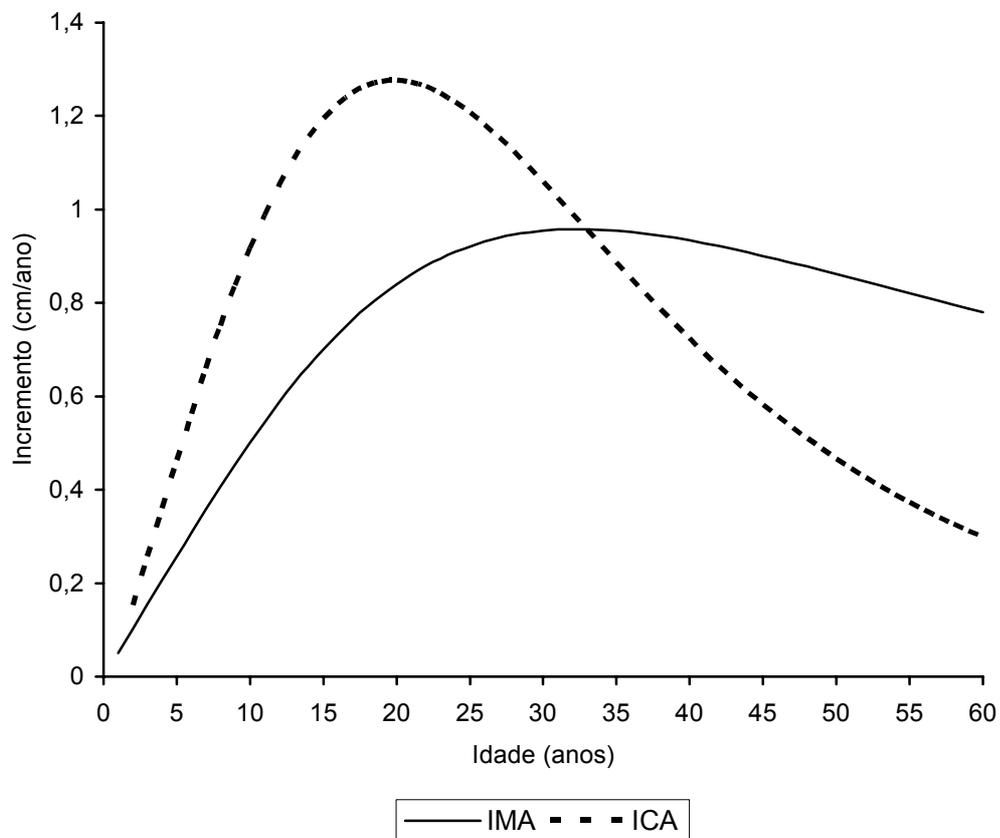


Figura 13 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro por idade, para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

#### 4.1.2 Crescimento em altura em função da idade

Na análise do crescimento em altura no tempo, foram empregados os modelos matemáticos conforme Tabela 2. Os parâmetros estatísticos e os coeficientes dos modelos encontram-se discriminados na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento da altura em função da idade.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	3,0347	-13,371	-	-	0,9237	0,1872	8,15	1768,7
2	-2,6409	2,3445	-0,2366	-	0,9731	0,1111	4,83	2645,8
3	-	0,4652	0,0807	-	0,9936	0,1916	8,34	11406,5
4	16,7226	0,1714	0,0474	-	0,9813	5,7063	8,35	3822,3
5	-	1,4111	0,0280	-	0,9921	7,1238	10,43	9182,4
6	0,7152	-5,6983	0,6009	-	0,9669	0,1233	5,37	2131,4
7	-0,3460	0,2189	-0,0052	0,00004	0,9773	0,1022	4,45	2093,4
8	-1,8361	1,5553	-0,0276	-	0,9776	0,1014	4,41	3188,6
9	18,5443	0,0734	2,3375	-	0,9945	0,9575	3,73	8836,0
10	23,6237	0,0231	-	-	0,9902	1,2809	10,76	7376,0

Sendo:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

Os resultados da Tabela 9 demonstram que todas as equações testadas tiveram excelente coeficientes de determinação ajustado, com valores superiores a 0,92, coeficientes de variação entre 3,73% a 10,76% e erros padrões da estimativa pequenos, com exceção dos modelos 4, 5 e 10. O modelo não-linear de Chapman-Richards (equação 9) apresentou coeficiente de determinação ajustado de 0,9945 e valor de coeficiente de variação de 3,73%, o modelo número 3, Backman modificado, com coeficiente de determinação ajustado de 0,9936 e coeficiente de variação de 8,34%; e, o modelo número 5, Prodan modificado, com coeficiente de determinação ajustado de 0,9921 e coeficiente de variação de 10,43%.

Assim, devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo de crescimento em altura foi determinado o método do Valor Ponderado dos Escores Estatísticos para seleção da melhor equação, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{YX}$	Cv%	F	
1	10	5	6	10	31
2	8	3	4	7	22
3	2	6	7	1	16
4	5	9	8	5	27
5	3	10	9	2	24
6	9	4	5	8	26
7	7	2	3	9	21
8	6	1	2	6	15
9	1	7	1	3	12
10	4	8	10	4	26

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{YX}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP, foi escolhida a equação 9, definida pelo modelo de Chapman-Richards, pois apresentou menor valor do VP, igual a 12. Com esta equação foi realizado o cálculo dos valores estimados, que subtraídos dos valores observados obteve-se a distribuição dos resíduos, conforme Figura 14.

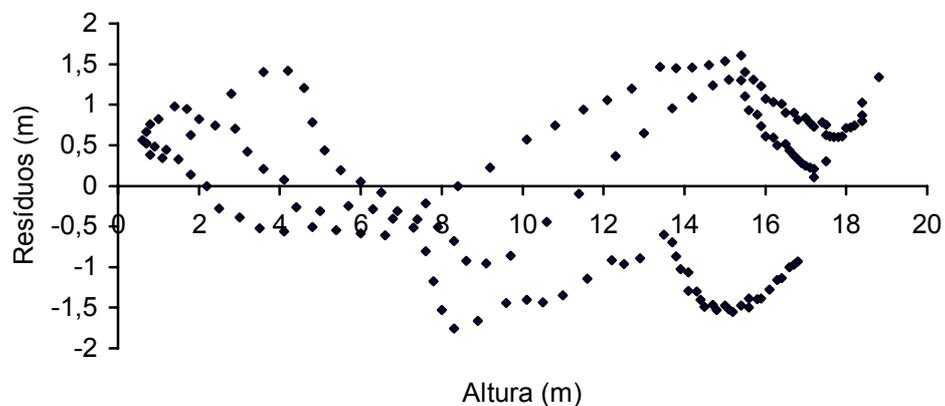


Figura 14 - Distribuição dos resíduos da equação de altura de Chapman-Richards.

Com esta equação de Chapman-Richards (equação 9), estimou-se o crescimento médio em altura em função da idade, específica para a região de estudo, representada na Figura 15. Observa-se um padrão de crescimento sigmoidal, o qual aumenta lentamente no início, depois rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Nota-se que a curva tende ao início da assíntota,

indicando a maturidade, isto é, limite superior do crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento importante.

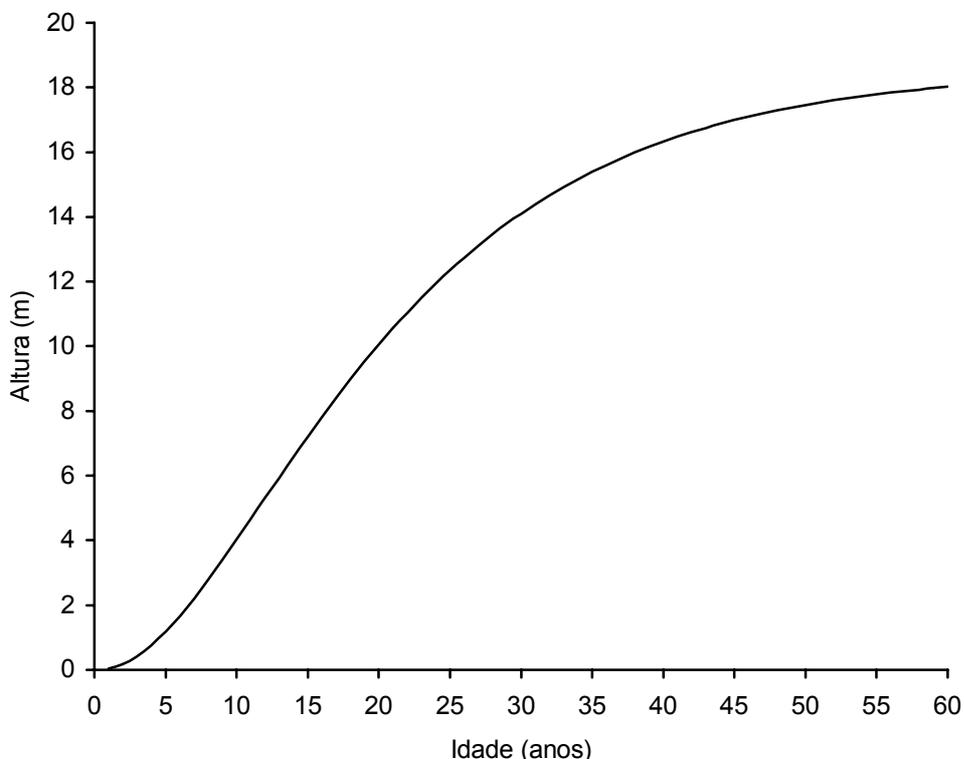


Figura 15 - Crescimento em altura em função da idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Na Figura 15, pode-se observar o ponto de culmínio do crescimento em altura, a formação da assíntota aos 55 anos, isto é, a espécie ainda continua com incremento em altura, porém, menos expressivo.

Como complemento da análise de crescimento, foram calculados o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente (ICA) para as árvores analisadas, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Estimativas do crescimento em altura por idade para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Idade (ano)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
1	0,04	0,038	0,038
2	0,18	0,088	0,139
3	0,42	0,140	0,243
4	0,76	0,189	0,337
5	1,17	0,235	0,419

Tabela 11 - Estimativas do crescimento em altura por idade para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste. Continuação...

Idade (ano)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
6	1,66	0,277	0,486
7	2,20	0,314	0,540
8	2,78	0,348	0,581
9	3,39	0,377	0,610
10	4,02	0,402	0,630
11	4,66	0,424	0,641
12	5,31	0,442	0,645
13	5,95	0,458	0,642
14	6,58	0,470	0,635
15	7,21	0,481	0,623
16	7,82	0,488	0,608
17	8,41	0,494	0,590
18	8,98	0,499	0,571
19	9,53	0,501	0,550
20	10,05	0,503	0,528
21	10,56	0,503	0,505
22	11,04	0,502	0,482
23	11,50	0,500	0,459
24	11,94	0,497	0,436
25	12,35	0,494	0,414
26	12,74	0,490	0,392
27	13,11	0,486	0,370
28	13,46	0,481	0,349
29	13,79	0,476	0,329
30	14,10	0,470	0,310
31	14,39	0,464	0,292
32	14,67	0,458	0,274
33	14,92	0,452	0,257
34	15,17	0,446	0,241
35	15,39	0,440	0,226
36	15,60	0,433	0,212
37	15,80	0,427	0,199
38	15,99	0,421	0,186
39	16,16	0,414	0,174
40	16,32	0,408	0,162
41	16,48	0,402	0,152
42	16,62	0,396	0,142
43	16,75	0,390	0,132
44	16,87	0,384	0,124
45	16,99	0,378	0,115
46	17,10	0,372	0,107
47	17,20	0,366	0,100
48	17,29	0,360	0,093
49	17,38	0,355	0,087
50	17,46	0,349	0,081
51	17,53	0,344	0,076
52	17,60	0,339	0,070
53	17,67	0,333	0,066
54	17,73	0,328	0,061

Tabela 11 - Estimativas do crescimento em altura por idade para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste. Continuação...

Idade (ano)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
55	17,79	0,323	0,057
56	17,84	0,319	0,053
57	17,89	0,314	0,049
58	17,94	0,309	0,046
59	17,98	0,305	0,043
60	18,02	0,300	0,040

Sendo: h: altura em metros; IMA= incremento médio anual em metros por ano; ICA: incremento corrente anual em metros por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade, foi gerada a Figura 16, onde observa-se que o máximo incremento médio anual em altura ocorreu aos 22 anos, quando interceptou a curva de incremento corrente anual, indicando ser esta a idade aproximada de maximização do crescimento em altura.

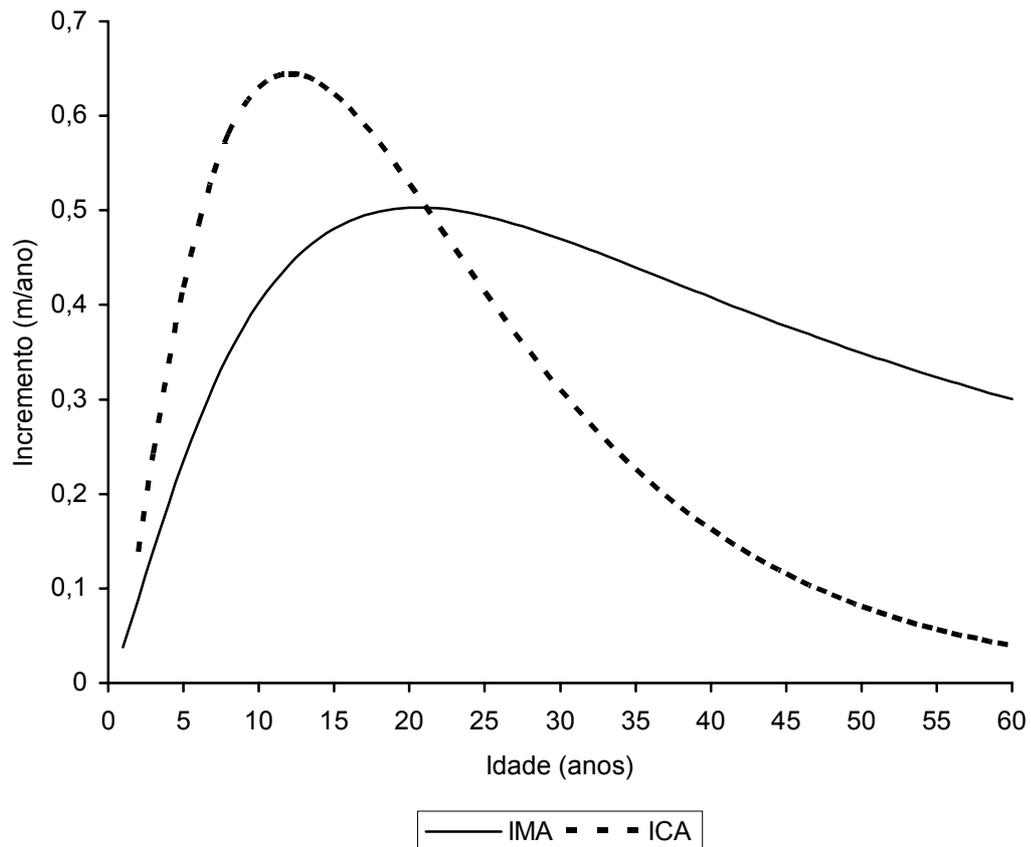


Figura 16 - Incremento médio e corrente anual em altura por idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

#### 4.1.3 Crescimento em volume em função da idade

Para a modelagem do crescimento foram testados os modelos matemáticos de crescimento do volume em função da idade, os quais podem ser observados na Tabela 4. O método utilizado na determinação da capacidade produtiva das araucárias baseia-se no incremento do volume em função do tempo.

Os dados de volume por idade da análise de tronco, utilizados para o ajuste dos modelos de crescimento, permitiram ajustar cada equação da Tabela 3, conforme mostram os resultados da Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento do volume em função da idade.

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	1,5029	-65,839	-	-	0,9080	0,5328	-41,32	1304,1
2	-19,9227	8,3685	-0,8062	-	0,9347	0,4490	-34,82	945,31
3	-	-4,5281	1,2264	-	0,8934	0,7098	-55,04	558,28
4	11,1625	-0,1967	0,0025	-	0,7167	0,4447	5,64	167,99
5	-	0,5785	-0,0092	-	0,9321	2,0678	26,21	913,51
6	-6,6850	-27,680	1,9905	-	0,9313	0,4605	-35,71	895,78
7	-9,6360	0,5802	-0,012	0,00008	0,9383	0,4365	-33,85	669,73
8	-16,1326	5,1819	-0,0745	-	0,9369	0,4415	-34,23	980,21
9	2,4694	0,0588	7,9904	-	0,8399	0,3689	59,38	251,93

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

Os dados mostram que de uma forma geral, as equações de volume apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,71, coeficientes de variação entre -55,04% a 59,38 % e erro padrão da estimativa muito pequeno, o que indica pouca dispersão dos dados ao redor da reta de regressão.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se as equações de número 7, definida pelo modelo de Moissev, que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9383, bem como baixo erro padrão da estimativa de 0,4365, coeficiente de variação de -33,85% e alto valor de F de 669,73; o modelo de Gram (equação 8), com valor de coeficiente de determinação ajustado de 0,9369; valor do erro padrão da estimativa de 0,4415, coeficiente de variação de -34,23%; e,

o modelo de Backman (equação 2), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9347, valor de F de 945,3, coeficiente de variação de -34,82%; e, erro padrão da estimativa de 0,4490.

Assim, para a escolha do melhor modelo de crescimento em volume foi determinado o Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP), conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj.}$	$S_{YX}$	Cv%	F	
1	6	7	7	1	21
2	3	5	5	3	16
3	8	8	8	7	31
4	9	4	1	9	23
5	4	9	2	4	19
6	5	6	6	5	22
7	1	2	3	6	12
8	2	3	4	2	11
9	7	1	9	8	25

Sendo:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{YX}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP, a equação 8, definida pelo modelo de Gram, foi a melhor, pois apresentou o menor valor ponderado, igual a 11 pontos.

Com esta equação de Gram, equação 8, estimou-se os valores do volume, e pela diferença entre valores estimados e observados, obteve-se a Figura 17, referente a distribuição dos resíduos. Na Figura 17, pode-se observar que o modelo subestimou os valores para as maiores idades.

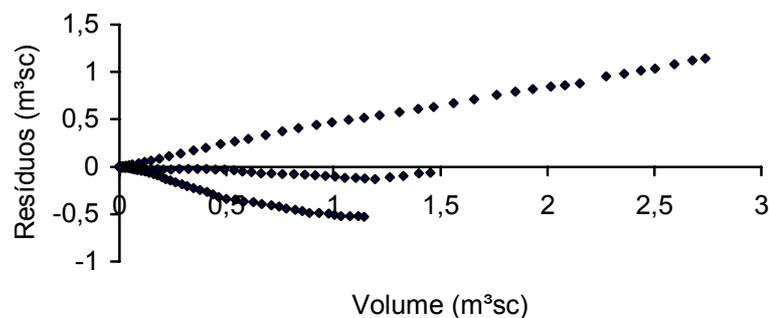


Figura 17 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Gram.

Com este modelo de Gram (equação 8), estimou-se o crescimento médio em volume sem casca em função da idade, representados na Figura 18, onde observa-se um padrão de crescimento sigmoidal, o qual aumenta lentamente no início, depois mais rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Nota-se que a curva tende ao início da assíntota, indicando a maturidade, que é o limite superior de crescimento, além do qual não ocorrerá nenhum aumento significativo de crescimento.

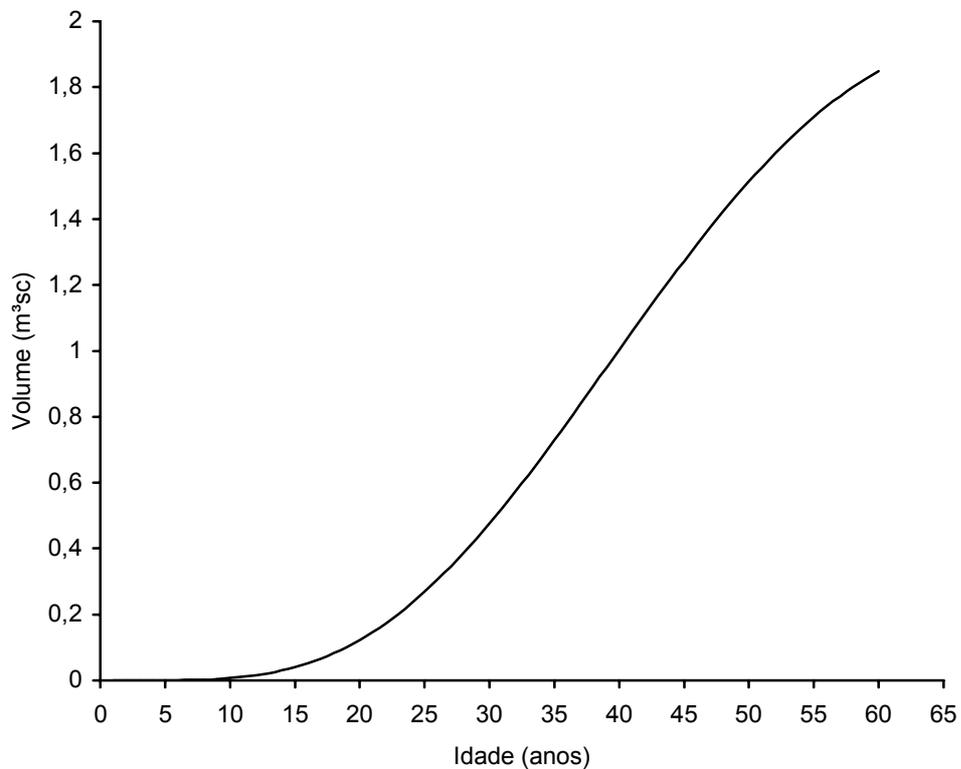


Figura 18 - Crescimento em volume em função da idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Esta curva de crescimento tem origem em zero, um ponto de inflexão e uma assíntota em formação, referindo-se a um típico padrão de crescimento.

Para completar a análise de crescimento, foi calculado o incremento médio anual em volume sem casca (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) para a espécie, apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Incremento médio e corrente anual em volume por idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Idade(anos)	Volume (m³sc)	IMA (m³sc/ano)	ICA (m³sc/ano)
1	0,00000009	0,00000009	0,00000009
2	0,00000308	0,00000154	0,00000299
3	0,00002339	0,00000780	0,00002031
4	0,0001	0,00002	0,0001
5	0,0003	0,0001	0,0002
6	0,0007	0,0001	0,0004
7	0,0014	0,0002	0,0007
8	0,0026	0,0003	0,0012
9	0,0044	0,0005	0,0018
10	0,0071	0,0007	0,0027
11	0,0108	0,0010	0,0037
12	0,0158	0,0013	0,0049
13	0,0222	0,0017	0,0064
14	0,0302	0,0022	0,0080
15	0,0401	0,0027	0,0099
16	0,0520	0,0032	0,0119
17	0,0660	0,0039	0,0141
18	0,0824	0,0046	0,0164
19	0,1013	0,0053	0,0188
20	0,1226	0,0061	0,0214
21	0,1466	0,0070	0,0239
22	0,1731	0,0079	0,0266
23	0,2023	0,0088	0,0292
24	0,2341	0,0098	0,0318
25	0,2685	0,0107	0,0344
26	0,3054	0,0117	0,0369
27	0,3447	0,0128	0,0393
28	0,3863	0,0138	0,0416
29	0,4301	0,0148	0,0438
30	0,4759	0,0159	0,0458
31	0,5236	0,0169	0,0477
32	0,5729	0,0179	0,0493
33	0,6237	0,0189	0,0508
34	0,6758	0,0199	0,0521
35	0,7289	0,0208	0,0532
36	0,7830	0,0217	0,0540
37	0,8376	0,0226	0,0547
38	0,8927	0,0235	0,0551
39	0,9480	0,0243	0,0553
40	1,0034	0,0251	0,0553
41	1,0585	0,0258	0,0551
42	1,1131	0,0265	0,0547
43	1,1672	0,0271	0,0541
44	1,2205	0,0277	0,0533
45	1,2728	0,0283	0,0523
46	1,3240	0,0288	0,0512
47	1,3738	0,0292	0,0498
48	1,4222	0,0296	0,0484
49	1,4690	0,0300	0,0468

Tabela 14 – Incremento médio e corrente anual em volume por idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste. Continuação...

Idade(anos)	Volume (m <sup>3</sup> sc)	IMA (m <sup>3</sup> sc/ano)	ICA (m <sup>3</sup> sc/ano)
50	1,5140	0,0303	0,0450
51	1,5572	0,0305	0,0432
52	1,5984	0,0307	0,0412
53	1,6376	0,0309	0,0392
54	1,6747	0,0310	0,0370
55	1,7095	0,0311	0,0348
56	1,7421	0,0311	0,0326
57	1,7724	0,0311	0,0303
58	1,8003	0,0310	0,0279
59	1,8258	0,0309	0,0255
60	1,8490	0,0308	0,0232

Sendo: V= volume em metros cúbicos sem casca; IMA= incremento médio anual sem casca em metros cúbicos por ano; ICA= incremento corrente anual sem casca em metros cúbicos por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade foi gerada a Figura 19, onde se observa que o máximo incremento médio anual em volume sem casca ocorreu aos 58 anos, quando interceptou a curva do incremento corrente anual, indicando ser esta a idade aproximada de maximização da produção volumétrica, sendo indicada para exploração da espécie.

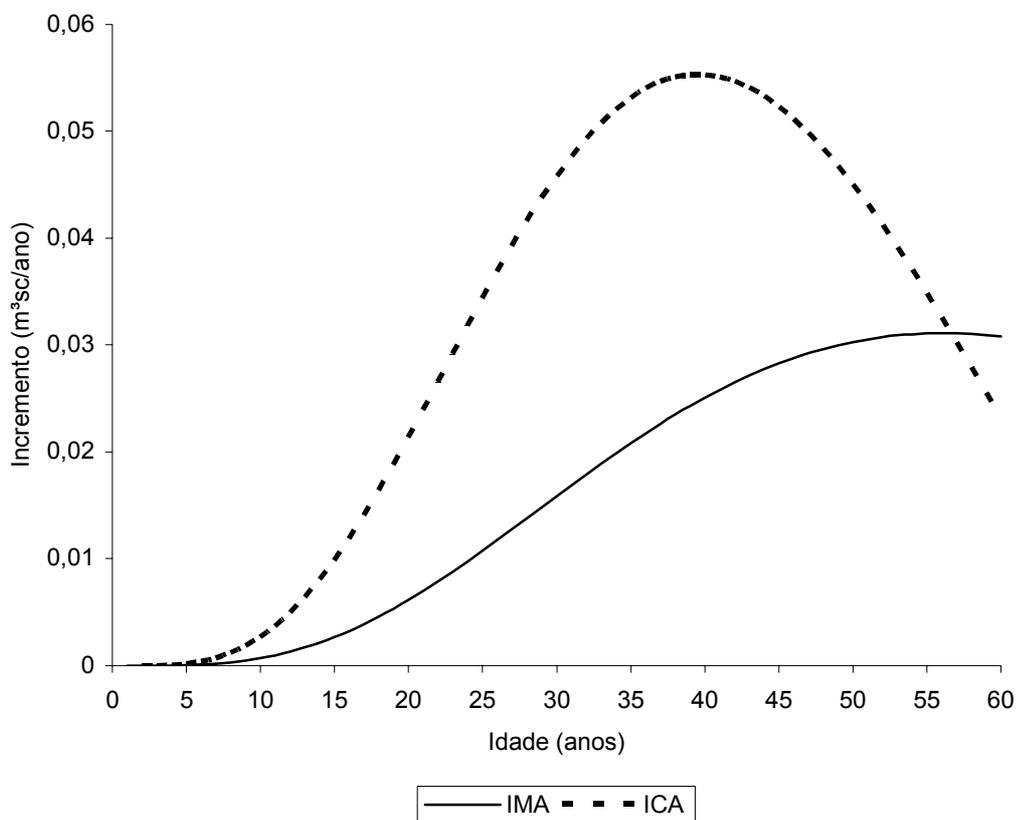


Figura 19 - Incremento médio e corrente anual em volume por idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

#### 4.1.4 Crescimento em volume em função do diâmetro e altura

Na Tabela 15, são apresentados os resultados estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 4, para ajustar o volume sem casca em função do diâmetro e da altura de *Araucaria angustifolia*, na região fitogeográfica da Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul.

Tabela 15 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função do diâmetro e altura.

Eq.	Coeficientes						R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>				
1	0,0217	0,0015	-0,0001	0,0004	0,00004	-0,0091	0,9986	0,0258	4,23	20316
2	0,0089	-0,0029	0,0001	0,00002	0,00004	-	0,9985	0,0261	4,27	24877,9
3	0,0071	0,00005	0,00003	0,00004	-0,0006	-	0,9986	0,0254	4,16	26277,8
4	-0,0091	-0,00006	0,00005	0,0019	-	-	0,9984	0,0271	4,44	30684
5	0,00009	0,00004	-	-	-	-	0,9984	0,0273	4,48	90458,1
6	-9,2862	1,5925	0,0381	0,7471	0,1167	-	0,9987	0,0712	-4,80	26867,3
7	-9,9710	1,857	1,1467	-	-	-	0,9980	0,0892	-6,01	34231,3
8	-9,9205	0,9839	-	-	-	-	0,9979	0,0915	-6,17	65006,9
9	-10,117	2,7666	1,5863	-	-	-	0,9926	0,1713	-11,25	9227,7

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub>= coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa; CV%= coeficiente de variação em %; F= valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>= coeficientes.

Os resultados mostram que de forma geral, as equações de volume testadas apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,99 e coeficientes de variação baixos, com variação entre -11,25% e 4,48%. As equações também apresentaram baixos valores para o erro padrão da estimativa, indicando pouca dispersão relativa entre os valores observados e os estimados nas equações.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se o modelo de Prodan (equação 6), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9987, bem como baixo erro padrão da estimativa de 0,0712, baixo coeficiente de variação de -4,80% e valor de F de 26867,3, altamente significativo. O modelo de Meyer (equação 1), apresentou um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9986, erro padrão da estimativa de 0,0258, coeficiente de variação de 4,23% e valor de F de 20316, altamente significativo. Já o modelo de Naslund modificado (equação 3), apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9986, erro padrão da estimativa de 0,0254, coeficiente de variação de 4,16% e valor de F de 26277,8, altamente significativo.

Devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP) para selecionar a melhor equação para descrever o crescimento em volume em função do diâmetro e altura, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	3	2	2	8	15
2	4	3	3	7	17
3	2	1	1	6	10
4	6	5	4	4	19
5	5	4	5	1	15
6	1	6	6	5	18
7	7	7	7	3	24
8	8	8	8	2	26
9	9	9	9	9	36

Sendo:  $R^2_{Aj}$ = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ = erro padrão da estimativa; CV%= coeficiente de variação em %; F= valor de F da análise de variância.

O Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP) das equações testadas levou em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas. Esta estatística foi utilizada com o objetivo de sintetizar os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático. Dentre estas equações, a de número 3 de Naslund modificada foi a escolhida, pois apresentou menor VP, igual a 10. Isto não exclui qualquer outra equação testada, pois todas apresentaram ótimo ajuste. Na Figura 20, pode-se observar a distribuição dos resíduos desta equação de Naslund, que apresenta uma pequena dispersão dos resíduos, indicando bom ajuste.

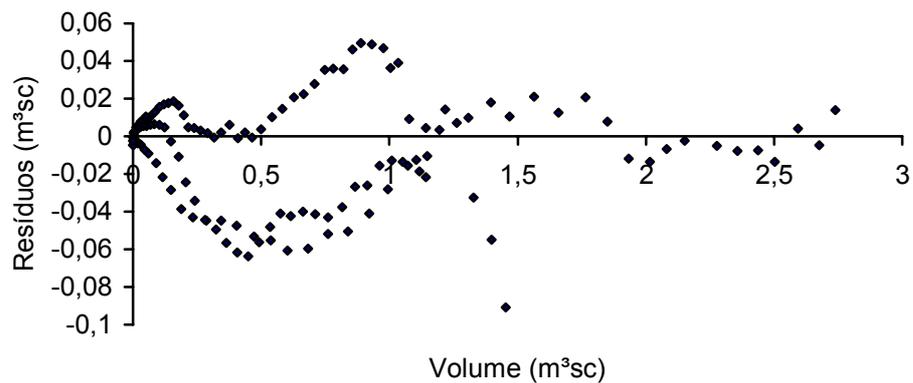


Figura 20 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Naslund modificada.

#### 4.1.5 Crescimento em altura em função do diâmetro

Na Tabela 17, são apresentados o resultados estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 5, para ajustar a altura em função do diâmetro para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Tabela 17 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função do diâmetro.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	0,9057	0,6273	-0,0058	-	0,9620	0,9675	7,94	1762,8
2	0,4706	0,6311	-	-	0,9415	0,1366	5,76	2238,5
3	2,6317	-3,0516	-	-	0,5962	0,3597	15,15	206,25
4	14,0782	-22,45	-	-	0,4172	3,7913	31,11	100,51
5	5,3780	0,2746	-5,8444	-	0,8948	1,6108	13,21	592,15
6	9,8179	-13,0116	0,0037	-	0,7767	2,3466	19,25	242,79
7	0,2658	0,6619	1,7169	-0,0062	0,9629	0,9563	7,85	124,17

Sendo:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

As equações testadas tiveram um valor do coeficiente de determinação ajustado superior a 0,41, coeficientes de variação entre 5,76% a 31,11% e erro padrão da estimativa muito pequeno. De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se a equação 1, com coeficiente de determinação ajustado de 0,9620, erro padrão da estimativa de 0,9675; coeficiente de variação de 7,94%; a equação 7, com coeficiente de determinação ajustado de 0,9629, erro padrão da estimativa de 0,9563; coeficiente de variação de 7,85%; e, o modelo de Stofells (equação 2), com

coeficiente de determinação ajustado de 0,9415, erro padrão da estimativa de 0,1366 e coeficiente de variação de 5,76%.

A escolha do modelo para ajuste dos dados amostrados foi realizada com base no coeficiente de determinação ajustado, melhor distribuição dos resíduos, menor erro padrão da estimativa, menor valor do coeficiente de variação e o maior valor de F. Este modelo foi o de Stofells (equação 2). Com este modelo obtiveram-se os valores estimados da altura em função do diâmetro, representados na Figura 21, que representa o valor da altura com aumento do diâmetro.

Nesta Figura 21 pode-se observar uma curva de crescimento em altura ascendente com o aumento do diâmetro, sendo que a curva ainda não demonstra assíntota em início de formação.

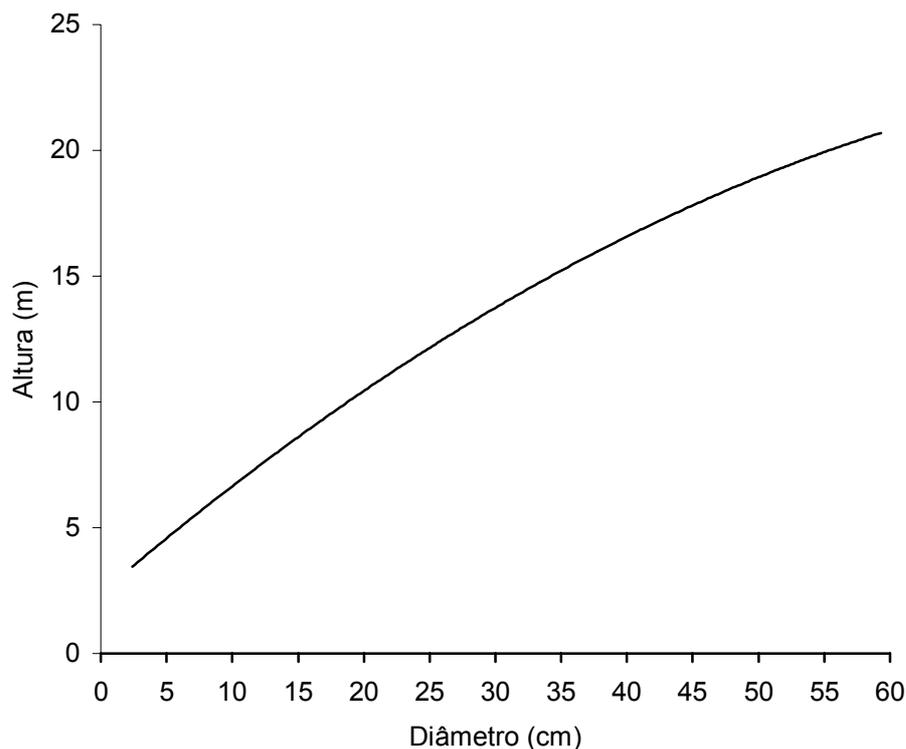


Figura 21 - Crescimento em altura em função do diâmetro, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste.

Na Figura 22, pode-se observar a distribuição dos resíduos desta equação de Stofells, que apresenta uma pequena dispersão dos resíduos, indicando bom ajuste do modelo.

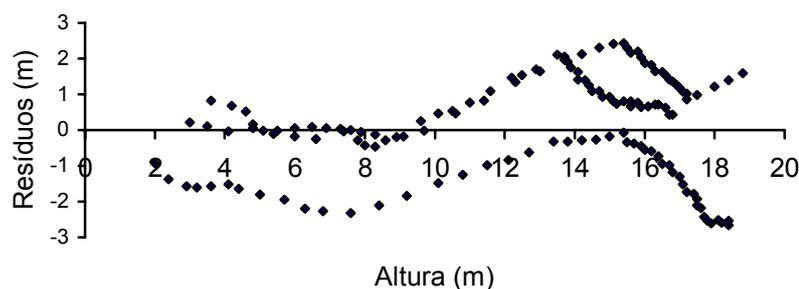


Figura 22 – Distribuição dos resíduos da equação de altura de Stofells.

## 4.2 Crescimento de *Araucaria angustifolia* no Planalto Médio

Para estudo do crescimento de *Araucaria angustifolia* na região do Planalto Médio foram testados os modelos matemáticos de crescimento, conforme Tabelas 1, 2 e 3, sendo utilizado como variável dependente o diâmetro, a altura e o volume. E, a idade como variável independente. Desta análise, obtiveram-se os índices de crescimento da espécie, característico para o local.

### 4.2.1 Crescimento do diâmetro em função da idade

Os dados utilizados permitiram ajustar os modelos de crescimento e analisar a precisão estatística de cada equação. Na Tabela 18, encontram-se os parâmetros estatísticos das equações, constantes da Tabela 1, testadas para descrever o crescimento do diâmetro à altura do peito em função da idade.

Tabela 18 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento do diâmetro em função da idade.

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	3,8725	-18,5389	-	-	0,8504	0,1223	3,95	842,63
2	-3,2995	3,2150	-0,3784	-	0,8529	0,1213	3,91	429,9
3	-	1,1159	-0,0487	-	0,9983	0,1274	4,11	44473,4
4	13,6264	-0,2729	0,0321	-	0,9194	3,8999	12,10	844,8
5	-	0,7702	0,0139	-	0,9861	4,1332	12,83	5270,6
6	3,3281	-15,6571	0,1309	-	0,8501	0,1224	3,95	420,5
7	1,2977	0,1118	-0,0013	0,000004	0,8579	0,1192	3,85	298,8
8	1,3151	1,6399	-0,0333	-	0,8553	0,1203	3,88	438,3
9	48,9836	0,0238	0,0458	-	0,9811	3,3331	13,33	3763,9
10	52,0864	0,0226	-	-	0,9833	3,04	12,14	4552,7

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

Os parâmetros estatísticos mostram que de forma geral, as equações de diâmetro em função da idade apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,85 e coeficientes de variação entre 3,85% a 13,33% e erro padrão da estimativa baixo.

Os parâmetros estatísticos obtidos destacam as equações de Backman modificada (equação 3), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9983, erro padrão da estimativa baixo de 0,1274, coeficiente de variação de 4,11% e alto valor de F de 44473,4; o modelo de Prodan modificado (equação 5), com valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9861; valor do erro padrão da estimativa de 4,1332, coeficiente de variação de 12,83% e valor de F de 5270,6; e, o modelo de Mitscherlich (equação 10), com coeficiente de determinação de 0,9833, erro padrão da estimativa de 3,04, coeficiente de variação de 12,14% e valor de F de 4552,7 altamente significativo.

Para escolha do melhor modelo de crescimento em diâmetro em função da idade, foi determinado o Valor dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP), conforme a Tabela 19.

Tabela 19 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	9	4	4	6	23
2	8	3	3	8	22
3	1	6	6	1	14
4	5	9	7	5	26
5	2	10	9	2	23
6	10	5	5	9	29
7	6	1	1	10	18
8	7	2	2	7	18
9	4	8	10	4	26
10	3	7	8	3	21

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP o modelo de Backman modificado (equação 3) foi a melhor, pois apresentou o menor valor, igual a 14 pontos. Com esta equação de Backman modificada (equação 3), obteve-se a Figura 23, referente à distribuição dos resíduos, onde observa-se uma dispersão dos resíduos proporcional a idade, indicando a adequação da equação.

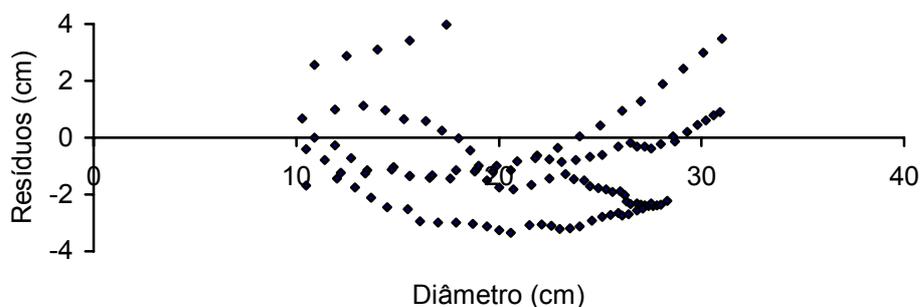


Figura 23 - Distribuição dos resíduos da equação do diâmetro de Backman modificada.

Com a equação estimou-se o crescimento médio em diâmetro em função da idade, específico para a região do Planalto Médio, representado na Figura 24. Observa-se um padrão de crescimento sigmoidal, o qual aumenta lentamente no início, depois rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Nota-se que após os 60 anos, o crescimento tende ao início da assíntota, indicando o início da

maturidade, isto é, o limite superior de crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento significativo.

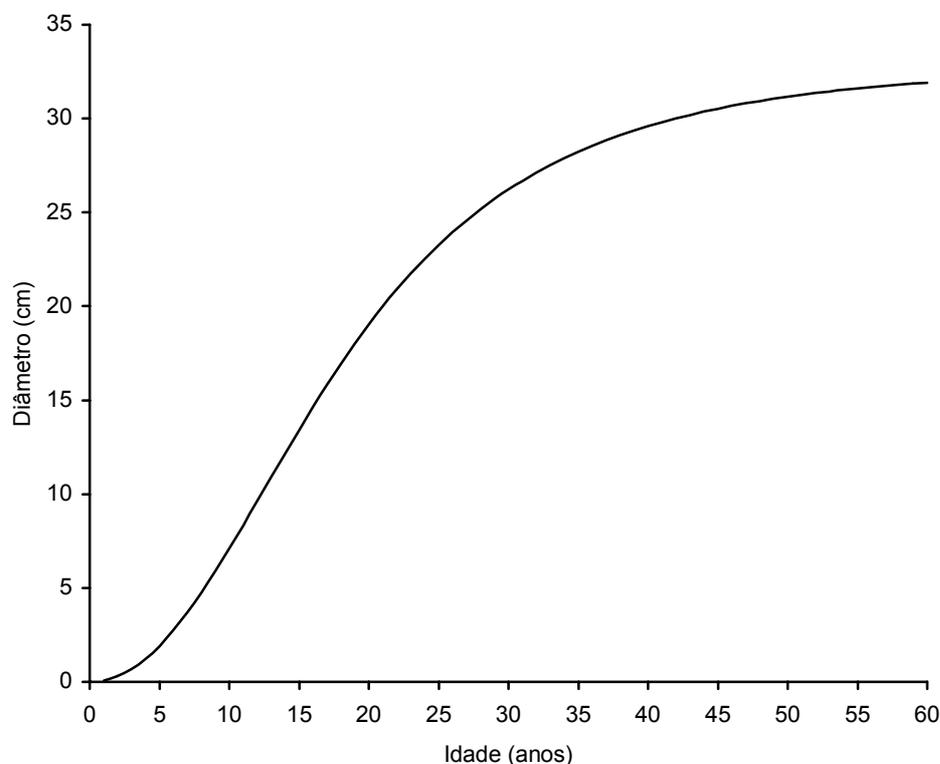


Figura 24 - Crescimento em diâmetro em função da idade, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

Para completar a análise de crescimento em diâmetro, foram calculados o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) em diâmetro para a espécie, apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

Idade(anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
1	0,07	0,0747	0,0747
2	0,30	0,1514	0,2281
3	0,69	0,2291	0,3844
4	1,23	0,3066	0,5390
5	1,91	0,3827	0,6874
6	2,74	0,4565	0,8252
7	3,69	0,5268	0,9485
8	4,74	0,5927	1,0543
9	5,88	0,6536	1,1406
10	7,09	0,7088	1,2063

Tabela 20 – Incremento médio e corrente anual em diâmetro, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio. Continuação...

Idade(anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
11	8,34	0,7582	1,2514
12	9,62	0,8014	1,2768
13	10,90	0,8385	1,2840
14	12,18	0,8697	1,2752
15	13,43	0,8952	1,2526
16	14,65	0,9155	1,2188
17	15,82	0,9308	1,1762
18	16,95	0,9417	1,1269
19	18,02	0,9486	1,0731
20	19,04	0,9520	1,0165
21	20,00	0,9523	0,9585
22	20,90	0,9500	0,9005
23	21,74	0,9453	0,8432
24	22,53	0,9387	0,7874
25	23,26	0,9305	0,7337
26	23,95	0,9210	0,6824
27	24,58	0,9103	0,6337
28	25,17	0,8988	0,5879
29	25,71	0,8866	0,5448
30	26,22	0,8739	0,5045
31	26,68	0,8608	0,4670
32	27,12	0,8474	0,4321
33	27,52	0,8338	0,3998
34	27,89	0,8202	0,3698
35	28,23	0,8065	0,3421
36	28,54	0,7929	0,3165
37	28,84	0,7794	0,2928
38	29,11	0,7660	0,2710
39	29,36	0,7528	0,2509
40	29,59	0,7398	0,2323
41	29,81	0,7270	0,2152
42	30,01	0,7144	0,1994
43	30,19	0,7021	0,1848
44	30,36	0,6900	0,1714
45	30,52	0,6782	0,1589
46	30,67	0,6667	0,1475
47	30,81	0,6554	0,1369
48	30,93	0,6444	0,1271
49	31,05	0,6337	0,1180
50	31,16	0,6232	0,1097
51	31,26	0,6130	0,1019
52	31,36	0,6030	0,0947
53	31,44	0,5933	0,0881
54	31,53	0,5838	0,0819
55	31,60	0,5746	0,0762
56	31,67	0,5656	0,0709
57	31,74	0,5568	0,0660
58	31,80	0,5483	0,0614

Tabela 20 – Incremento médio e corrente anual em diâmetro, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio. Continuação...

Idade(anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
59	31,86	0,5400	0,0571
60	31,91	0,5319	0,0532

Sendo: Dap= diâmetro à altura do peito em centímetros; IMA= incremento médio anual, em centímetros por ano; ICA= incremento corrente anual, em centímetros por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade foi gerada a Figura 25 onde se observa que o máximo incremento médio anual em diâmetro ocorreu aos 22 anos, quando interceptou a curva de incremento corrente anual, indicando ser esta a idade de maximização do incremento em diâmetro.

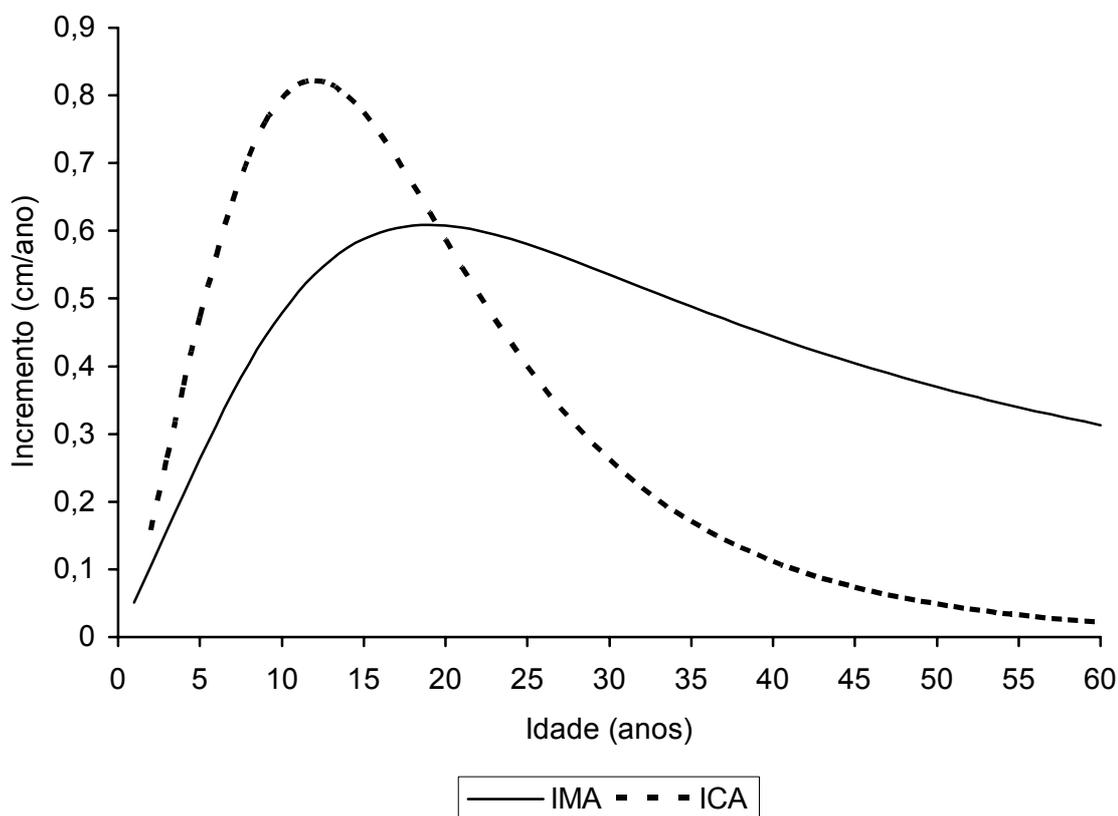


Figura 25 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro por idade, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

#### 4.2.2 Crescimento em altura em função da idade

Na análise do crescimento em altura em função da idade foram empregados os modelos matemáticos da Tabela 2. Os parâmetros estatísticos e os coeficientes dos modelos são apresentados na Tabela 22.

Tabela 21 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função da idade.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	3,3139	-16,5161	-	-	0,8810	0,0955	3,64	1096,4
2	-3,1824	2,9336	-0,3482	-	0,8831	0,0946	3,61	560,1
3	-	0,9090	-0,0302	-	0,9985	0,1019	3,89	49821,8
4	19,8734	-0,4516	0,0552	-	0,9351	6,00	11,48	1067,4
5	-	1,0698	0,0286	-	0,9878	6,33	12,09	6049,1
6	2,9512	-14,5962	0,0872	-	0,8805	0,0957	3,65	546,4
7	1,1425	0,0836	-0,0008	-0,000005	0,8898	0,0919	3,50	399,4
8	-1,3517	1,4821	-0,0305	-	0,8856	0,0936	3,57	573,8
9	25,7813	0,0327	0,045	-	0,9889	1,5551	11,68	6507,7
10	26,6797	0,0297	-	-	0,9888	1,5625	12,02	6444,9

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

Os resultados mostram que de forma geral, as equações de altura testadas apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,88 e coeficientes de variação baixos, variando entre 3,50% a 12,09%. As equações também apresentaram baixos valores para o erro padrão da estimativa, com exceção das equações 4 e 5, o que indica pouca dispersão relativa entre os valores observados e estimados.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se as equações de Backman modificada (equação 3), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9985, baixo erro padrão da estimativa de 0,1019, baixo coeficiente de variação de 3,89% e valor de F de 49821,8 altamente significativo. O modelo de Chapman-Richards (equação 9), com um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9889; erro padrão da estimativa de 1,5551, coeficiente de variação de 11,68% e valor de F de 6507,7. Já o modelo de Mitscherlich (equação 10), apresentou coeficiente de determinação ajustado de 0,9888, erro

padrão da estimativa de 1,5625, coeficiente de variação de 12,02% e valor de F de 6444,9, altamente significativo.

Devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP) para selecionar o melhor modelo para descrever o crescimento em altura em função da idade, conforme a Tabela 22.

Tabela 22 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	9	4	4	5	22
2	8	3	3	8	22
3	1	6	6	1	14
4	5	9	7	6	27
5	4	10	10	4	28
6	10	5	5	9	29
7	6	1	1	10	18
8	7	2	2	7	18
9	2	8	8	2	20
10	3	7	9	3	22

Sendo:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP o modelo de Backman modificado (equação 3), foi a melhor, pois apresentou o menor valor, igual a 14 pontos. Com esta equação obteve-se os valores estimados e pela diferença entre os valores estimados e observados gerou-se a Figura 26, referente a distribuição dos resíduos, observando-se pouca dispersão dos valores, indicando uma adequação da equação.

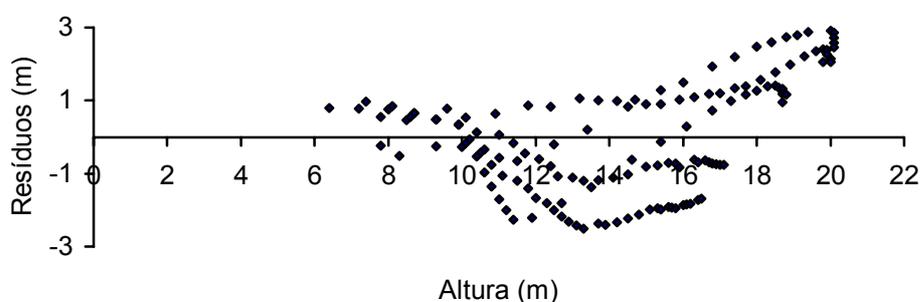


Figura 26 - Distribuição dos resíduos da equação de altura de Backman modificada.

Com esta equação de Backman modificada (equação 3), também estimou-se o crescimento médio em altura em função da idade, específico para a região de estudo, representado na Figura 27. Observa-se um padrão de crescimento sigmoidal, o qual aumenta lentamente no início, depois mais rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Nota-se que o crescimento tende ao início da assíntota, indicando o início da maturidade.

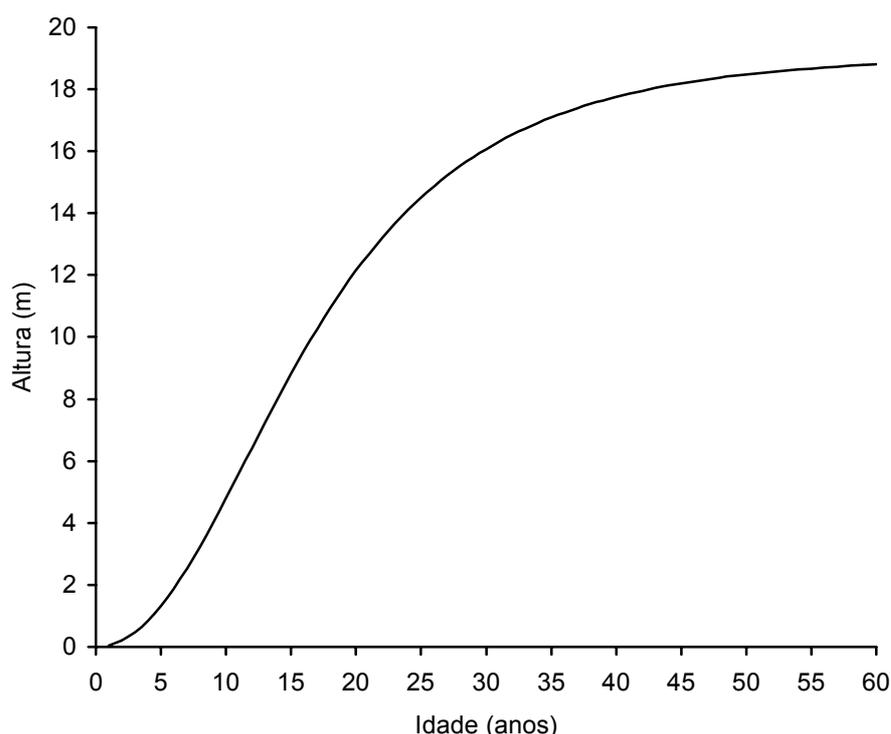


Figura 27 - Crescimento em altura em função da idade, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

Esta curva de crescimento tem origem em zero, um ponto de inflexão e uma assíntota em formação aos 60 anos, demonstrando um típico padrão de crescimento.

Como complemento da análise do crescimento, foram calculados o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) em altura, apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 - Incremento médio e corrente anual em altura, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

Idade (anos)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
1	0,05	0,0513	0,0513
2	0,21	0,1042	0,1571

Tabela 23 – Incremento médio e corrente anual em altura, *Araucária angustifolia*, no Planalto Médio. Continuação...

Idade (anos)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
3	0,47	0,1578	0,2649
4	0,84	0,2111	0,3710
5	1,32	0,2632	0,4718
6	1,88	0,3133	0,5637
7	2,52	0,3605	0,6438
8	3,23	0,4042	0,7098
9	3,99	0,4438	0,7606
10	4,79	0,4790	0,7958
11	5,61	0,5096	0,8159
12	6,43	0,5356	0,8220
13	7,24	0,5572	0,8157
14	8,04	0,5745	0,7992
15	8,82	0,5878	0,7742
16	9,56	0,5975	0,7429
17	10,27	0,6039	0,7071
18	10,94	0,6075	0,6683
19	11,56	0,6086	0,6279
20	12,15	0,6075	0,5871
21	12,70	0,6046	0,5467
22	13,20	0,6002	0,5073
23	13,67	0,5945	0,4695
24	14,11	0,5878	0,4335
25	14,51	0,5803	0,3995
26	14,87	0,5721	0,3677
27	15,21	0,5634	0,3381
28	15,52	0,5544	0,3106
29	15,81	0,5451	0,2851
30	16,07	0,5357	0,2617
31	16,31	0,5261	0,2401
32	16,53	0,5166	0,2203
33	16,73	0,5070	0,2021
34	16,92	0,4976	0,1855
35	17,09	0,4882	0,1702
36	17,24	0,4790	0,1563
37	17,39	0,4699	0,1435
38	17,52	0,4610	0,1318
39	17,64	0,4523	0,1212
40	17,75	0,4438	0,1114
41	17,85	0,4355	0,1024
42	17,95	0,4274	0,0942
43	18,04	0,4194	0,0867
44	18,12	0,4117	0,0798
45	18,19	0,4042	0,0735
46	18,26	0,3969	0,0677
47	18,32	0,3898	0,0624
48	18,38	0,3828	0,0575
49	18,43	0,3761	0,0530
50	18,48	0,3696	0,0489
51	18,52	0,3632	0,0450

Tabela 23 – Incremento médio e corrente anual em altura, *Araucária angustifolia*, no Planalto Médio. Continuação...

Idade (anos)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
52	18,56	0,3570	0,0415
53	18,60	0,3510	0,0383
54	18,64	0,3452	0,0353
55	18,67	0,3395	0,0325
56	18,70	0,3339	0,0300
57	18,73	0,3286	0,0276
58	18,75	0,3233	0,0255
59	18,78	0,3183	0,0235
60	18,80	0,3133	0,0216

Sendo: h= altura, em metros; IMA= incremento médio anual, em metros por ano; ICA= incremento corrente anual, em metros por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade foi gerada a Figura 28, onde se observa que o máximo incremento médio anual em altura ocorreu aos 20 anos, quando interceptou a curva do incremento corrente anual, indicando ser esta a idade aproximada de maximização da altura.

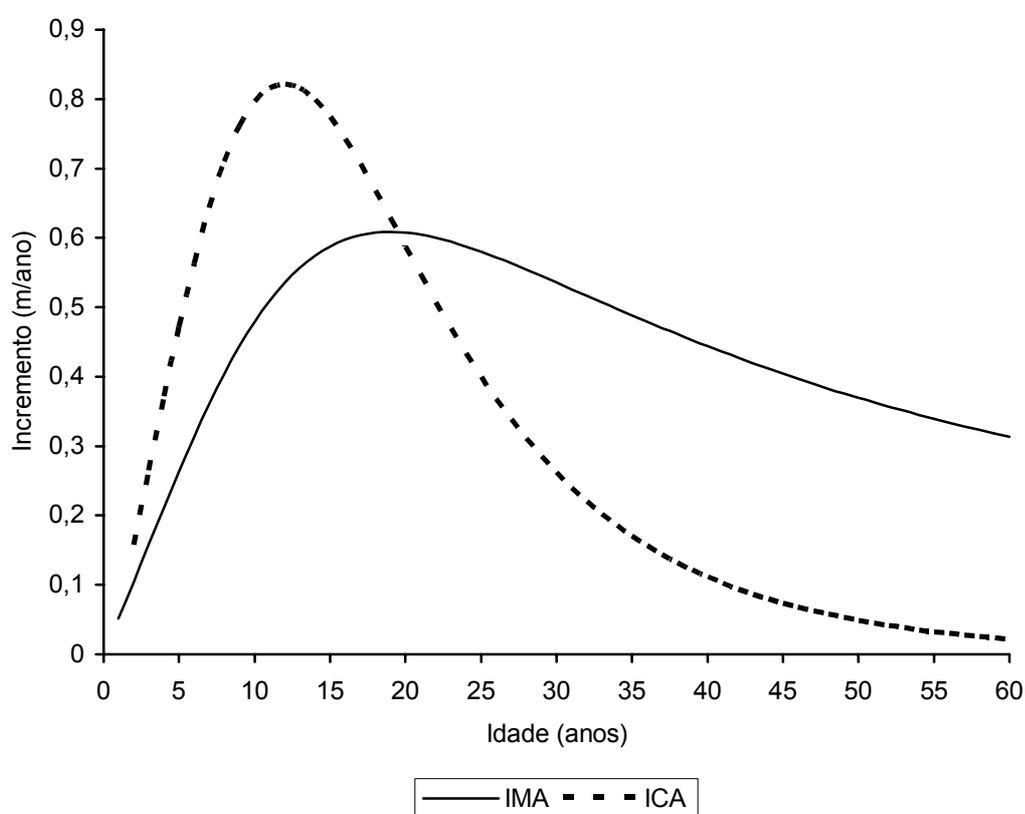


Figura 28 - Incremento médio e corrente anual em altura por idade para *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

#### 4.2.3 Crescimento em volume em função da idade

Na Tabela 24, são apresentados os resultados dos parâmetros estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 3, para ajustar o crescimento em volume sem casca em função da idade.

Tabela 24 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função da idade.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	1,0936	-55,2107	-	-	0,9147	0,2652	-21,85	1588,7
2	-19,4181	9,0275	-1,0397	-	0,9177	0,2605	-21,50	826,3
3	-	-3,3259	0,9008	-	0,9461	0,3512	-28,98	1308,3
4	9,5921	-0,5371	0,0022	-	0,4036	0,2534	3,29	51,07
5	-	0,5972	-0,0106	-	0,9824	1,0216	13,28	4157,5
6	-1,1342	-43,4171	0,5356	-	0,9154	0,2641	-21,79	802,2
7	-6,5875	0,3392	-0,0053	0,00002	0,9216	0,2543	-20,99	580,7
8	-13,9347	4,6853	-0,0908	-	0,9196	0,2575	-21,25	847,6
9	2,2859	0,0116	0,045	-	0,7926	0,2289	1,9076	277,4
10	10,5153	0,0014	-	-	0,8637	0,1855	1,4267	460,4

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

Os resultados mostram que de uma forma geral, as equações de volume apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,40 e coeficientes de variação entre -28,98% a 13,28% e erros padrões da estimativa baixos.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se a equação de Prodan modificada (equação 5), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9824, bem como, um baixo erro padrão da estimativa de 1,0216, coeficiente de variação de 13,28% e alto valor de F de 4.157,5; altamente significativo, o modelo de Backman modificado (equação 3), com valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9461, valor do erro padrão da estimativa de 0,3512, coeficiente de variação de -28,98% e valor de F de 1308,3; e, o modelo de Moissev (equação 7), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9216, erro padrão da estimativa de 0,2543, coeficiente de variação de -20,99% e valor de F de 580,7.

Para a escolha do melhor modelo de crescimento em volume em função da idade, foi determinado do Valor Ponderado do Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP), conforme a Tabela 25.

Tabela 25 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{A_i}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	7	8	8	2	25
2	5	6	7	5	23
3	2	9	10	3	24
4	10	5	3	10	28
5	1	10	4	1	16
6	6	7	9	6	28
7	3	3	5	7	18
8	4	4	6	4	18
9	9	2	2	9	22
10	8	1	1	8	18

Sendo:  $R^2_{A_i}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP, o modelo de Prodan modificado (equação 5) foi o melhor, pois apresentou o menor valor ponderado, igual a 16 pontos. Com o ajuste desta equação estimou-se os valores de volume, e, pela diferença entre os valores estimados e valores observados gerou-se a Figura 29, referente à distribuição dos resíduos. Nota-se uma dispersão dos resíduos proporcional a idade, o que denota um bom ajuste da equação.

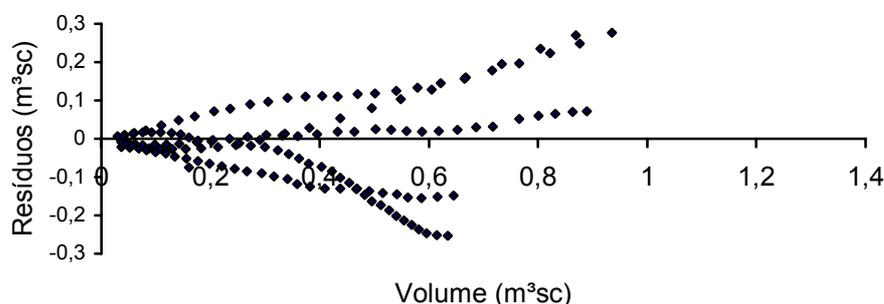


Figura 29 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Prodan modificada.

Com esta equação de Prodan modificada (equação 5), estimou-se o crescimento médio em volume sem casca em função da idade, específico para a região de estudo, representado na Figura 30. Observa-se um padrão de crescimento

sigmoidal, o qual aumenta lentamente, depois aumenta mais rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Nota-se que o crescimento tende ao início da assíntota, indicando a maturidade, que é o limite superior de crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento importante.

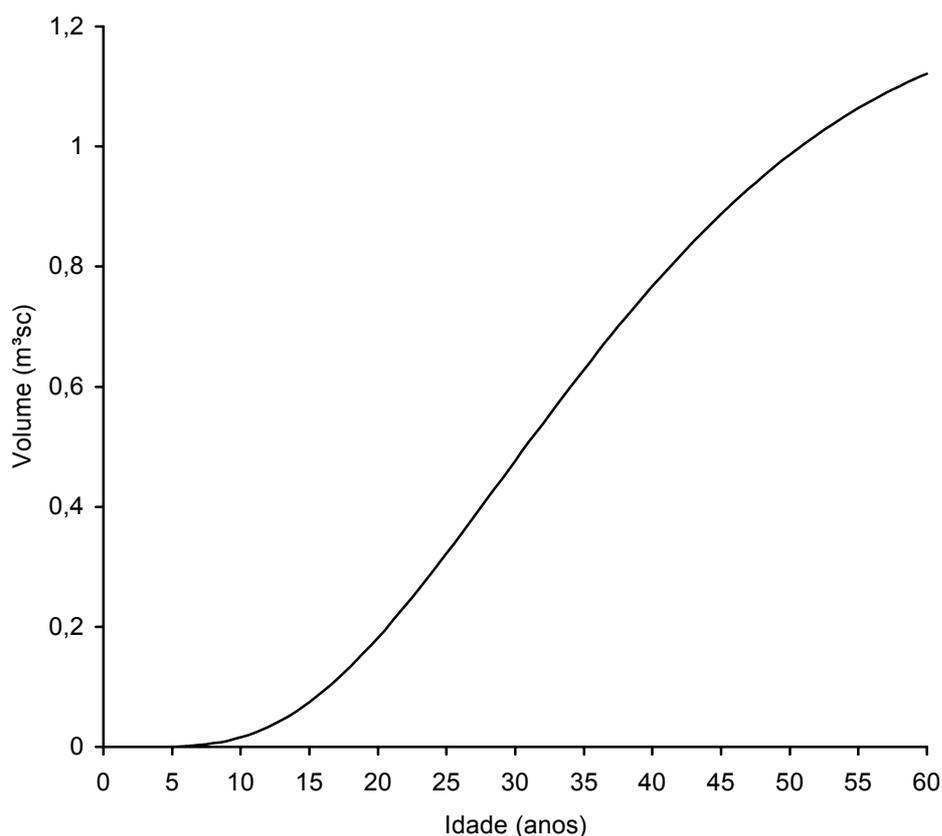


Figura 30 - Crescimento em volume em função da idade, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

Esta curva de crescimento tem origem em zero, um ponto de inflexão e uma assíntota em formação, caracterizando um típico padrão de crescimento.

Para completar a análise de crescimento, foi calculado o incremento médio anual em volume sem casca (IMA) e o incremento corrente anual sem casca (ICA), apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 - Incremento médio e corrente anual em volume, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

Idade (anos)	V(m³sc)	IMA (m³sc/ano)	ICA(m³sc/ano)
1	3,6883E-09	3,6883E-09	3,6889E-09
2	1,16797E-06	5,83986E-07	1,16428E-06
3	2,13333E-05	7,11109E-06	2,01653E-05
4	0,0001	3,40483E-05	0,0001
5	0,0005	0,0001	0,0004
6	0,0014	0,0002	0,0009
7	0,0031	0,0004	0,0017
8	0,0058	0,0007	0,0028
9	0,0100	0,0011	0,0042
10	0,0159	0,0016	0,0058
11	0,0235	0,0021	0,0077
12	0,0332	0,0028	0,0097
13	0,0449	0,0035	0,0117
14	0,0587	0,0042	0,0138
15	0,0746	0,0050	0,0159
16	0,0925	0,0058	0,0179
17	0,1122	0,0066	0,0198
18	0,1338	0,0074	0,0216
19	0,1571	0,0083	0,0232
20	0,1818	0,0091	0,0247
21	0,2079	0,0099	0,0261
22	0,2351	0,0107	0,0273
23	0,2634	0,0115	0,0283
24	0,2925	0,0122	0,0291
25	0,3223	0,0129	0,0298
26	0,3527	0,0136	0,0303
27	0,3834	0,0142	0,0307
28	0,4144	0,0148	0,0310
29	0,4455	0,0154	0,0311
30	0,4765	0,0159	0,0311
31	0,5075	0,0164	0,0310
32	0,5383	0,0168	0,0308
33	0,5688	0,0172	0,0305
34	0,5988	0,0176	0,0301
35	0,6284	0,0180	0,0296
36	0,6575	0,0183	0,0291
37	0,6860	0,0185	0,0285
38	0,7138	0,0188	0,0278
39	0,7410	0,0190	0,0271
40	0,7674	0,0192	0,0264
41	0,7930	0,0193	0,0256
42	0,8178	0,0195	0,0248
43	0,8419	0,0196	0,0240
44	0,8651	0,0197	0,0232
45	0,8874	0,0197	0,0224
46	0,9089	0,0198	0,0215
47	0,9296	0,0198	0,0206
48	0,9493	0,0198	0,0198
49	0,9683	0,0198	0,0189

Tabela 26 – Incremento médio e corrente anual em volume, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio. Continuação...

Idade (anos)	V(m <sup>3</sup> sc)	IMA (m <sup>3</sup> sc/ano)	ICA(m <sup>3</sup> sc/ano)
50	0,9863	0,0197	0,0180
51	1,0035	0,0197	0,0172
52	1,0198	0,0196	0,0163
53	1,0353	0,0195	0,0155
54	1,0500	0,0194	0,0147
55	1,0638	0,0193	0,0138
56	1,0768	0,0192	0,0130
57	1,0891	0,0191	0,0122
58	1,1006	0,0190	0,0115
59	1,1113	0,0188	0,0107
60	1,1212	0,0187	0,0100

Sendo V= volume, em metros cúbicos sem casca; IMA= incremento médio anual em metros cúbicos sem casca por ano; ICA= incremento corrente anual, em metros cúbicos sem casca por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade foi gerada a Figura 31, onde se observa que o máximo incremento médio anual em volume sem casca ocorreu aos 49 anos, quando interceptou a curva de incremento corrente anual, indicando ser esta a idade aproximada de maximização volumétrica.

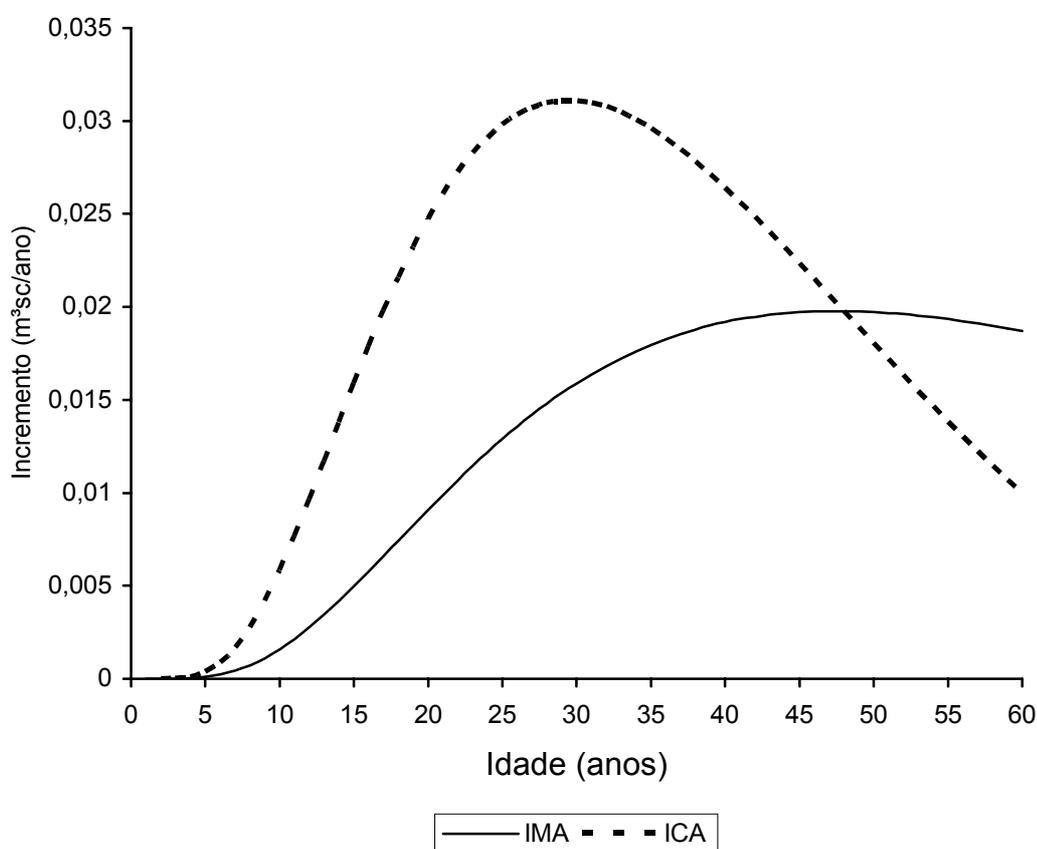


Figura 31 - Incremento médio e corrente anual em volume sem casca por idade para *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

#### 4.2.4 Crescimento em volume em função do diâmetro e altura

Na Tabela 27, são apresentados os resultados estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 4, para ajustar o volume sem casca em função do diâmetro e da altura de *Araucaria angustifolia*, na região fitogeográfica do Planalto Médio.

Tabela 27 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função do diâmetro e altura.

Eq.	Coeficientes						R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>				
1	-0,0421	0,0072	-0,0001	-0,0001	0,00005	-0,003	0,9907	0,0278	6,75	3148,4
2	-0,1202	0,0157	-0,0006	-0,00003	0,00007	-	0,9909	0,0274	6,65	4045,5
3	-0,0097	0,00008	0,00004	-0,000004	0,00002	-	0,9907	0,0277	6,73	3951,2
4	-0,0076	0,00009	0,00004	-0,0005	-	-	0,9908	0,0277	6,71	5295,5
5	0,0025	0,00004	-	-	-	-	0,9905	0,0281	6,83	15361,8
6	-11,177	1,6209	0,0800	2,3015	-0,2689	-	0,9940	0,0706	-5,82	6083,5
7	-10,168	2,1197	0,9103	-	-	-	0,9937	0,0719	-5,93	11713,8
8	-10,169	1,0155	-	-	-	-	0,9936	0,0727	-6,00	22950,1
9	-9,3312	2,6715	-3,3156	-	-	-	0,9803	0,1275	10,52	3681,1

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

Os resultados mostram que de forma geral, as equações de volume testadas apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,98 e coeficientes de variação baixos, entre -6,00% a 10,52%. As equações também apresentaram baixos valores para o erro padrão da estimativa, o que indica pouca dispersão relativa entre os valores observados e os estimados nas equações.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se o modelo de Prodan (equação 6), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9940, bem como baixo erro padrão da estimativa de 0,0706, baixo coeficiente de variação de -5,82% e valor de F de 6083,5, altamente significativo. O modelo de Schumacher-Hall (equação 7), apresentou um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9937, um erro padrão da estimativa de 0,0719, coeficiente de variação de -5,93% e valor de F de 11713,8. Já o modelo de Spurr (equação 8), apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9936, um erro padrão da estimativa de 0,0727, coeficiente de variação de -6,00% e valor de F de 22950,1.

Devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP) para selecionar o melhor modelo para descrever o crescimento em volume em função do diâmetro e altura, conforme a Tabela 28.

Tabela 28 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{A_i}$	$S_{y_x}$	CV%	F	
1	7	4	7	9	27
2	4	1	4	6	15
3	6	3	6	7	22
4	5	2	5	5	17
5	8	5	8	2	23
6	1	6	1	4	12
7	2	7	2	3	14
8	3	8	3	1	15
9	9	9	9	8	35

Sendo:  $R^2_{A_i}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{y_x}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

O Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP) das equações testadas levou em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas. Esta estatística foi utilizada com o objetivo de sintetizar os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático. Dentre estas equações, o modelo de Prodan (equação 6) foi a escolhida, pois apresentou menor VP, igual a 12. Isto não exclui que qualquer outra equação testada não possa ser utilizada, pois todas apresentaram ótimo ajuste.

Na Figura 32, pode-se observar a distribuição dos resíduos, que apresentaram pouca dispersão indicando bom ajuste desta equação de volume selecionada.

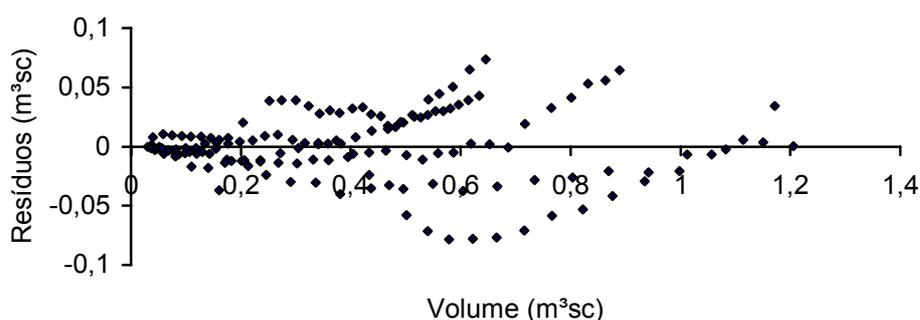


Figura 32 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Prodan.

#### 4.2.5 Crescimento em altura em função do diâmetro

Na Tabela 29, são apresentados os resultados estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 5, para ajustar o crescimento da altura em função do diâmetro de *Araucaria angustifolia*, na região fitogeográfica do Planalto Médio.

Tabela 29 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função do diâmetro.

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	0,6236	0,7032	-0,0045	-	0,8066	1,6131	11,28	309,7
2	0,1585	0,7958	-	-	0,8252	0,1157	4,41	699,6
3	3,3320	-14,8782	-	-	0,8046	0,1224	4,66	610,4
4	23,33	-189,852	-	-	0,7454	1,8511	12,95	434,2
5	6,1763	0,4177	-33,0173	-	0,8054	1,6182	11,32	307,3
6	14,9755	-89,7459	0,0062	-	0,8024	1,6309	11,40	301,4
7	-6,5149	1,0393	46,5793	-0,0095	0,8050	1,6164	11,30	205,8

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

Pelos resultados da Tabela 30, pode-se inferir que os modelos testados tiveram coeficientes de determinação ajustado maiores que 0,74, erro padrão da estimativa pequenos e coeficientes de variação entre 4,41% a 12,95%. De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se as equações de número 2, definida pelo modelo de Stofells, que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,8252, bem como baixo erro padrão da estimativa de 0,1157, baixo coeficiente de variação de 4,41% e valor de F de 699,6, altamente significativo. A equação 1, com coeficiente de determinação ajustado de 0,8066, erro padrão da estimativa de 1,6131; coeficiente de variação de 11,28% e valor de F de 309,7. E a equação 5, com coeficiente de determinação de 0,8054, erro padrão da estimativa de 1,6182, coeficiente de variação de 11,32% e valor de F de 307,3.

Na escolha do melhor modelo utilizou-se o critério de melhor distribuição dos resíduos, maior coeficiente de determinação ajustado, menor erro padrão da estimativa, baixo coeficiente de variação e valor de F mais significativo. Dentre estes critérios, optou-se pelo modelo de Stofells (equação 2), pois apresentou ótimos resultados para os parâmetros estatísticos.

Com esta equação obteve-se a Figura 33, que representa a curva de crescimento em altura em função do diâmetro. Observa-se um padrão de crescimento ascendente da altura com aumento do diâmetro.

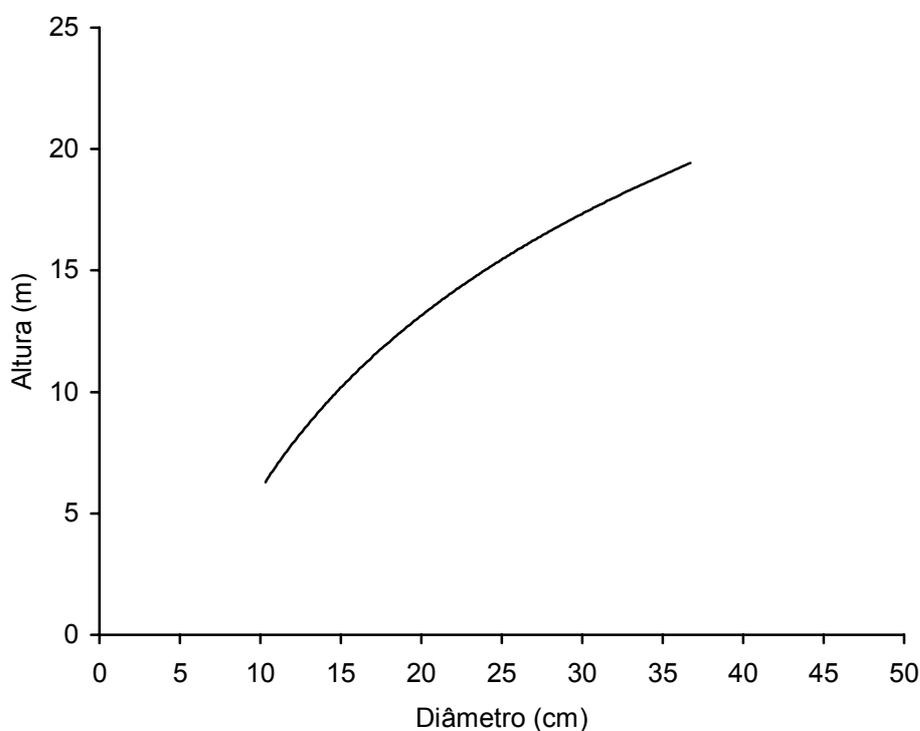


Figura 33 - Crescimento em altura em função do diâmetro, *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio.

Na Figura 34, pode-se observar a distribuição dos resíduos da equação de Stofells, que apresentaram pouca dispersão, indicando bom ajuste da equação selecionada.

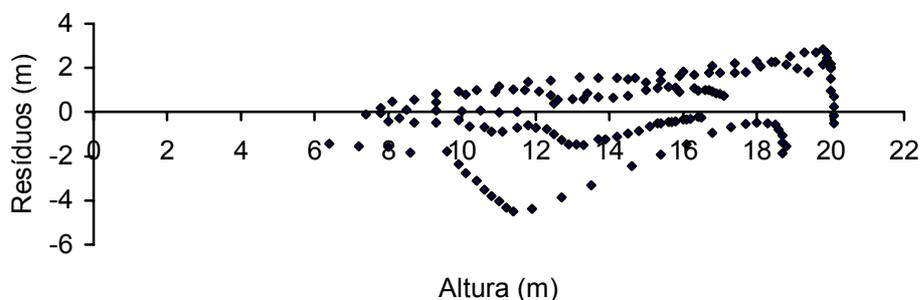


Figura 34 – Distribuição dos resíduos da equação de Stofells.

### 4.3 Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Encosta Superior do Nordeste

Estudou-se o crescimento de *Araucaria angustifolia* na região testando-se os modelos matemáticos de crescimento, conforme Tabelas 1, 2 e 3, utilizando-se como variável dependente o diâmetro, a altura e o volume. E, a idade como variável independente. Deste estudo, foram obtidos os parâmetros estatísticos das equações, os coeficientes dos modelos e o padrão de crescimento da espécie na região.

#### 4.3.1 Crescimento do diâmetro em função da idade

Na Tabela 30, são apresentados os resultados estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 1, para ajustar o diâmetro em função da idade na região em estudo.

Tabela 30 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em diâmetro em função da idade.

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	3,9127	-17,2511			0,9078	0,1012	3,16	2118,5
2	-1,5654	2,2017	-0,2245	-	0,9156	0,0968	3,02	1166,9
3	-	1,2074	-0,0692	-	0,9990	0,0999	3,12	112281
4	4,1511	0,4417	0,0166	-	0,9652	2,8089	8,68	2982,7
5	-	0,7452	0,0117	-	0,9936	2,8537	8,82	16769,6
6	3,0486	-14,5025	0,2380	-	0,9825	0,0441	1,38	6036,2
7	1,2543	0,1395	-0,0031	0,000025	0,9157	0,0968	3,02	779,3
8	-0,3516	1,2471	-0,0186	-	0,9159	0,0967	3,02	1171,6
9	47,2542	0,030	0,0329	-	0,9903	2,6284	10,51	11530,3
10	48,7406	0,0277	-	-	0,9904	2,6353	10,59	11468,9

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

Os resultados mostram que de forma geral, as equações de diâmetro testadas apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,90 e coeficientes de variação baixos, variando entre 1,38% a 10,59%. As equações também apresentaram baixos valores para o erro padrão da

estimativa, o que indica pouca dispersão relativa entre os valores observados e os estimados nas equações.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se o modelo de Backman modificado (equação 3), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9990, baixo erro padrão da estimativa de 0,0999, baixo coeficiente de variação 3,12% e valor de F de 112.281, altamente significativo. O modelo de Prodan modificado (equação 5), apresentou um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9936; um erro padrão da estimativa de 2,8537, coeficiente de variação de 8,82% e valor de F de 16769,6. Já o modelo de Mitscherlich (equação 10), apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9904, um erro padrão da estimativa de 2,6353, coeficiente de variação de 10,59% e valor de F de 11468,9.

Devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP) para selecionar o modelo para descrever o crescimento em diâmetro em função da idade, conforme a Tabela 31.

Tabela 31 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	10	6	6	7	29
2	9	4	4	9	26
3	1	5	5	1	12
4	6	9	7	6	28
5	2	10	8	2	22
6	5	1	1	5	12
7	8	3	3	10	24
8	7	2	2	8	19
9	4	7	10	3	24
10	3	8	9	4	24

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP, o modelo de Hoerl (equação 6) e o modelo de Backman modificado (equação 3) foram os melhores, pois apresentaram os menores valores ponderados, igual a 12 pontos. Devido ao empate, utilizou-se o modelo que obteve o menor coeficiente de variação, menor erro padrão da estimativa e melhor ajuste dos resíduos. Este modelo foi o modelo de Hoerl (equação 6), com esta equação, estimou-se o crescimento médio em diâmetro em função da idade, específico para

esta região de estudo, representado na Figura 35. Observa-se um padrão de crescimento sigmoidal, o qual aumenta lentamente no início, depois mais rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Nota-se que o crescimento tende ao início da assíntota, indicando a maturidade, que é o limite superior de crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento importante.

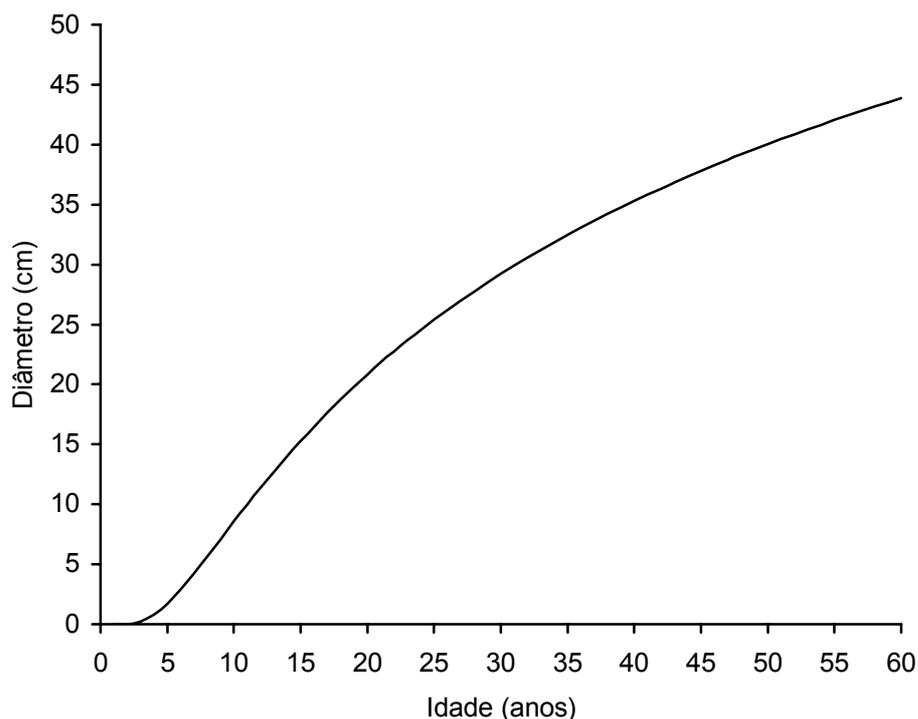


Figura 35 - Crescimento do diâmetro em função da idade, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

Na Figura 36, pode-se observar a distribuição dos resíduos, que apresentaram pouca dispersão, indicando bom ajuste da equação de diâmetro em função da idade.

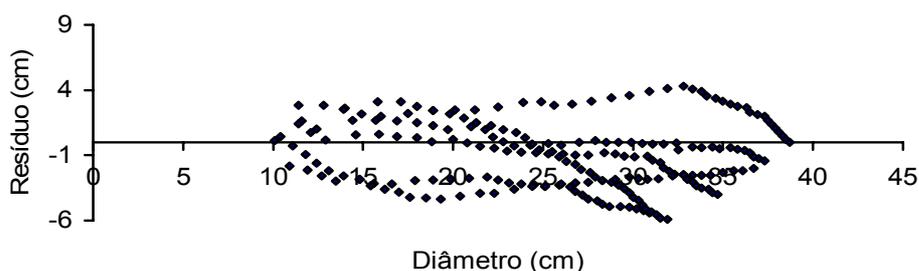


Figura 36 - Distribuição dos resíduos da equação de diâmetro de Hoerl.

Para completar a análise de crescimento em diâmetro, foram calculados o incremento médio anual em diâmetro (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

Idade (anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
1	1,0608E-05	1,0608E-05	1,0608E-05
2	0,02	0,0088	0,0176
3	0,22	0,0726	0,2002
4	0,78	0,1953	0,5633
5	1,70	0,3402	0,9198
6	2,88	0,4801	1,1796
7	4,22	0,6029	1,3400
8	5,64	0,7056	1,4241
9	7,10	0,7889	1,4558
10	8,55	0,8554	1,4533
11	9,98	0,9076	1,4294
12	11,38	0,9480	1,3925
13	12,72	0,9788	1,3483
14	14,02	1,0017	1,3006
15	15,28	1,0184	1,2515
16	16,48	1,0299	1,2027
17	17,63	1,0373	1,1551
18	18,74	1,0413	1,1091
19	19,81	1,0425	1,0651
20	20,83	1,0416	1,0233
21	21,82	1,0388	0,9837
22	22,76	1,0346	0,9463
23	23,67	1,0292	0,9109
24	24,55	1,0229	0,8776
25	25,40	1,0158	0,8462
26	26,21	1,0082	0,8165
27	27,00	1,0000	0,7886
28	27,76	0,9915	0,7622
29	28,50	0,9828	0,7374
30	29,21	0,9738	0,7138
31	29,91	0,9647	0,6916
32	30,58	0,9555	0,6706
33	31,23	0,9463	0,6507
34	31,86	0,9370	0,6318
35	32,47	0,9278	0,6139
36	33,07	0,9186	0,5969
37	33,65	0,9095	0,5807
38	34,22	0,9004	0,5654
39	34,77	0,8915	0,5507
40	35,30	0,8826	0,5368
41	35,83	0,8738	0,5235
42	36,34	0,8652	0,5108
43	36,84	0,8567	0,4987
44	37,32	0,8483	0,4871
45	37,80	0,8400	0,4760
46	38,27	0,8319	0,4654
47	38,72	0,8238	0,4552
48	39,17	0,8160	0,4455

Tabela 32 – Incremento médio e corrente anual em diâmetro, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste. Continuação...

Idade (anos)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)	ICA (cm/ano)
49	39,60	0,8082	0,4361
50	40,03	0,8006	0,4271
51	40,45	0,7931	0,4185
52	40,86	0,7857	0,4102
53	41,26	0,7785	0,4022
54	41,65	0,7714	0,3945
55	42,04	0,7644	0,3871
56	42,42	0,7575	0,3800
57	42,79	0,7508	0,3731
58	43,16	0,7442	0,3664
59	43,52	0,7376	0,3600
60	43,88	0,7313	0,3538

Sendo: DAP= diâmetro a altura do peito, em centímetros, á 1,30 m; IMA= incremento médio anual, em centímetros por ano, ICA= incremento corrente anual, em centímetros por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade foi gerada a Figura 37, onde se observa que o máximo incremento médio anual em diâmetro ocorreu aos 20 anos, quando interceptou a curva de incremento corrente anual, indicando ser esta a idade aproximada de maximização do crescimento em diâmetro.

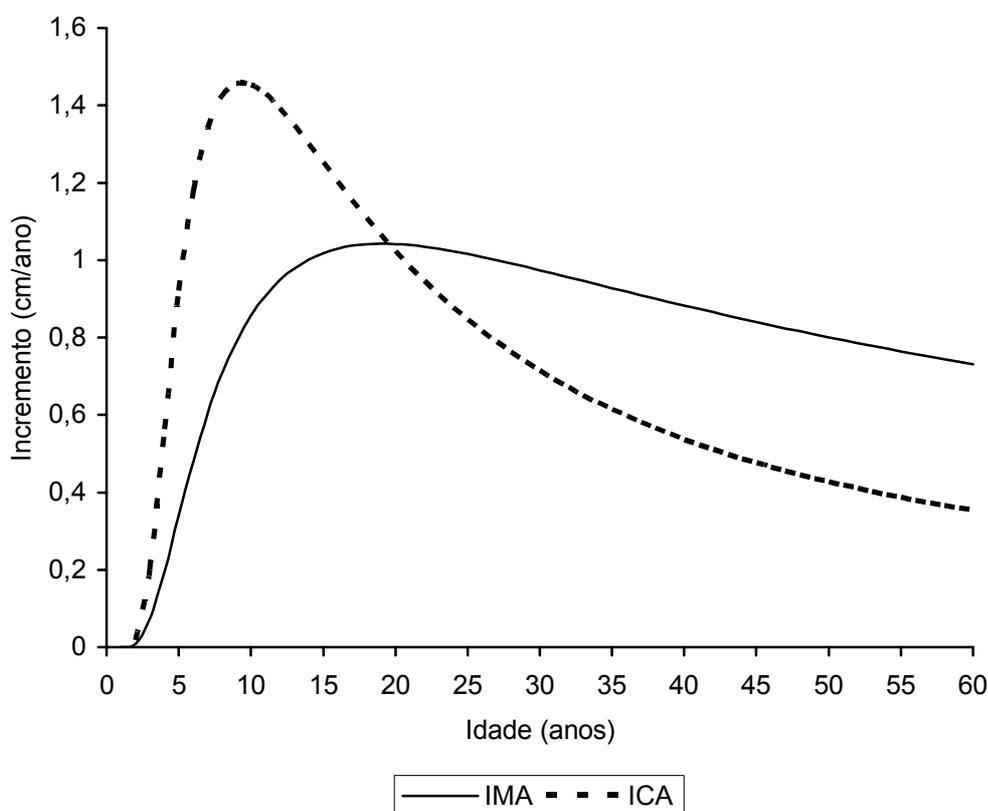


Figura 37 - Incremento médio e corrente anual em diâmetro por idade para *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

#### 4.3.2 Crescimento em altura em função da idade

Na Tabela 33, são apresentados os resultados dos parâmetros estatísticos das equações testadas, conforme a Tabela 2, para ajustar o crescimento em altura em função da idade.

Tabela 33 – Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função da idade.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	3,3387	-13,7635			0,9473	0,0597	2,15	3868,81
2	-1,9573	2,3581	-0,2749	-	0,9493	0,0586	2,11	2012,88
3	-	1,1149	-0,0808	-	0,9994	0,0665	2,39	189297
4	6,4538	0,3628	0,0369	-	0,9864	3,0977	6,04	7794,24
5	-	0,8347	0,0292	-	0,9969	3,2019	6,24	34998,1
6	2,8352	-9,9231	0,1771	-	0,9916	0,0239	0,86	12644,1
7	0,9738	0,1394	-0,0034	0,000029	0,9503	0,0580	2,09	1371,47
8	-0,4559	1,1819	-0,0226	-	0,9493	0,0586	2,11	2015,49
9	23,3414	0,0444	0,03	-	0,9942	1,2761	7,98	19033,1
10	23,5996	0,044	-	-	0,9946	1,2225	7,64	20750,5

Sendo:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

Os resultados mostram que de forma geral, as equações de altura apresentaram altos coeficientes de determinação ajustado, com valores superiores a 0,94 e coeficientes de variação entre 0,86% a 7,98% e erros padrões da estimativa pequenos.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se a equação de Backman modificada (equação 3), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9994, bem como um baixo erro padrão da estimativa de 0,0665, coeficiente de variação baixo de 2,39% e alto valor de F de 189297; o modelo de Prodan modificado (equação 5), com um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9969, valor do erro padrão da estimativa de 3,2019, coeficiente de variação de 6,24% e valor de F de 34998,1; e, o modelo de Mitscherlich (equação 10), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9946, erro padrão da estimativa de 1,2225, coeficiente de variação de 7,64% e valor de F de 20750,5, altamente significativo.

Para a escolha do melhor modelo de crescimento da altura em função da idade, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP), conforme a Tabela 34.

Tabela 34 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	10	5	5	7	27
2	9	4	4	9	26
3	1	6	6	1	14
4	6	7	7	6	26
5	2	8	8	2	20
6	5	1	1	5	12
7	7	2	2	10	21
8	8	3	3	8	22
9	4	10	10	4	28
10	3	9	9	3	24

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP) o modelo de Hoerl (equação 6) foi o melhor, pois apresentou o menor VP, igual a 12 pontos. Com este modelo de Hoerl (equação 6), estimou-se o crescimento médio em altura em função da idade, representado na Figura 38. Observa-se que as árvores tiveram um padrão de crescimento sigmoidal, o qual aumenta lentamente no início, depois mais rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Este crescimento em altura tende ao início da assíntota aos 60 anos, indicando a maturidade, que é o limite superior além do qual não ocorre aumento significativo.

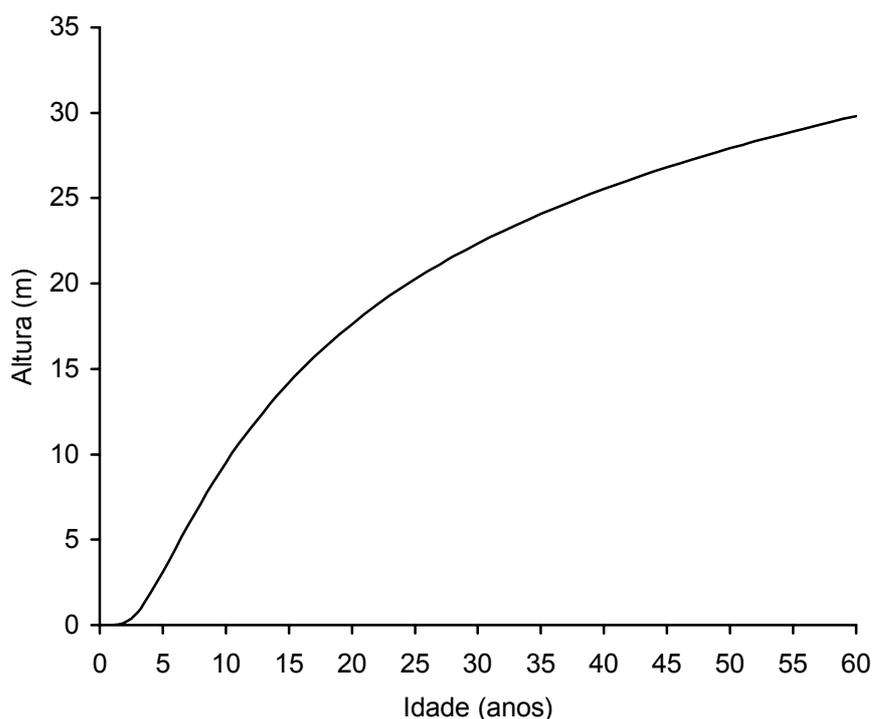


Figura 38 - Crescimento em altura em função da idade, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

Na Figura 39, pode-se observar a distribuição dos resíduos, que apresentaram pouca dispersão, indicando bom ajuste da equação de altura em função da idade.

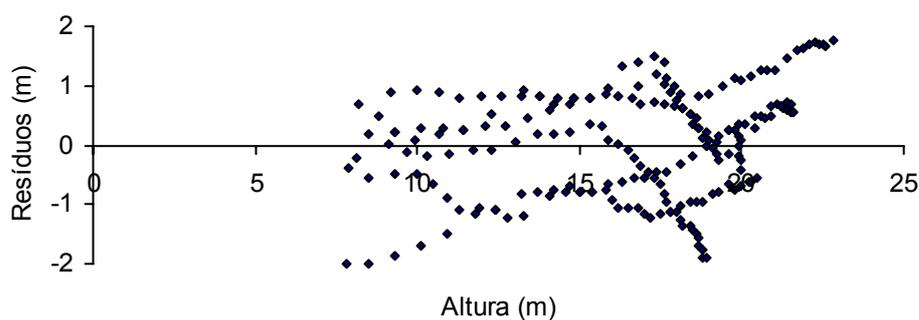


Figura 39 - Distribuição dos resíduos da equação de altura de Hoerl.

Para complementar a análise de crescimento, foram calculados o incremento médio anual em altura (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) para a espécie, na região fitogeográfica em estudo, apresentado na Tabela 35.

Tabela 35 - Incremento médio e corrente anual em altura, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

Idade (anos)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
1	0,00	0,0008	0,0008
2	0,13	0,0674	0,1340
3	0,76	0,2524	0,6225
4	1,82	0,4555	1,0647
5	3,11	0,6226	1,2911
6	4,48	0,7460	1,3627
7	5,83	0,8322	1,3497
8	7,12	0,8902	1,2958
9	8,35	0,9273	1,2246
10	9,49	0,9494	1,1483
11	10,57	0,9607	1,0732
12	11,57	0,9641	1,0019
13	12,51	0,9619	0,9358
14	13,38	0,9557	0,8752
15	14,20	0,9467	0,8199
16	14,97	0,9356	0,7696
17	15,69	0,9232	0,7238
18	16,38	0,9098	0,6822
19	17,02	0,8958	0,6443
20	17,63	0,8815	0,6097
21	18,21	0,8670	0,5781
22	18,76	0,8526	0,5492
23	19,28	0,8383	0,5227
24	19,78	0,8241	0,4982
25	20,25	0,8101	0,4757
26	20,71	0,7965	0,4549
27	21,14	0,7831	0,4357
28	21,56	0,7701	0,4178
29	21,96	0,7574	0,4012
30	22,35	0,7450	0,3857
31	22,72	0,7329	0,3713
32	23,08	0,7212	0,3578
33	23,42	0,7098	0,3452
34	23,76	0,6987	0,3333
35	24,08	0,6880	0,3222
36	24,39	0,6775	0,3118
37	24,69	0,6674	0,3019
38	24,99	0,6575	0,2926
39	25,27	0,6479	0,2838
40	25,54	0,6386	0,2755
41	25,81	0,6296	0,2677
42	26,07	0,6208	0,2602
43	26,33	0,6122	0,2531
44	26,57	0,6039	0,2464
45	26,81	0,5958	0,2400
46	27,05	0,5880	0,2339
47	27,27	0,5803	0,2281
48	27,50	0,5728	0,2226
49	27,71	0,5656	0,2173

Tabela 35 – Incremento médio e corrente anual em altura, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste. Continuação...

Idade (anos)	h (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
50	27,93	0,5585	0,2122
51	28,13	0,5516	0,2074
52	28,34	0,5449	0,2027
53	28,53	0,5384	0,1983
54	28,73	0,5320	0,1941
55	28,92	0,5258	0,1900
56	29,10	0,5197	0,1860
57	29,29	0,5138	0,1823
58	29,47	0,5080	0,1787
59	29,64	0,5024	0,1752
60	29,81	0,4969	0,1718

Sendo: h= altura, em metros; IMA= incremento médio anual em altura, em metros por ano; ICA = incremento corrente anual, em altura, em metros por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade foi gerada a Figura 40, onde se observa que o máximo incremento médio anual em altura ocorreu aos 13 anos, quando interceptou a curva do incremento corrente anual, indicando ser esta a idade de maximização do crescimento em altura.

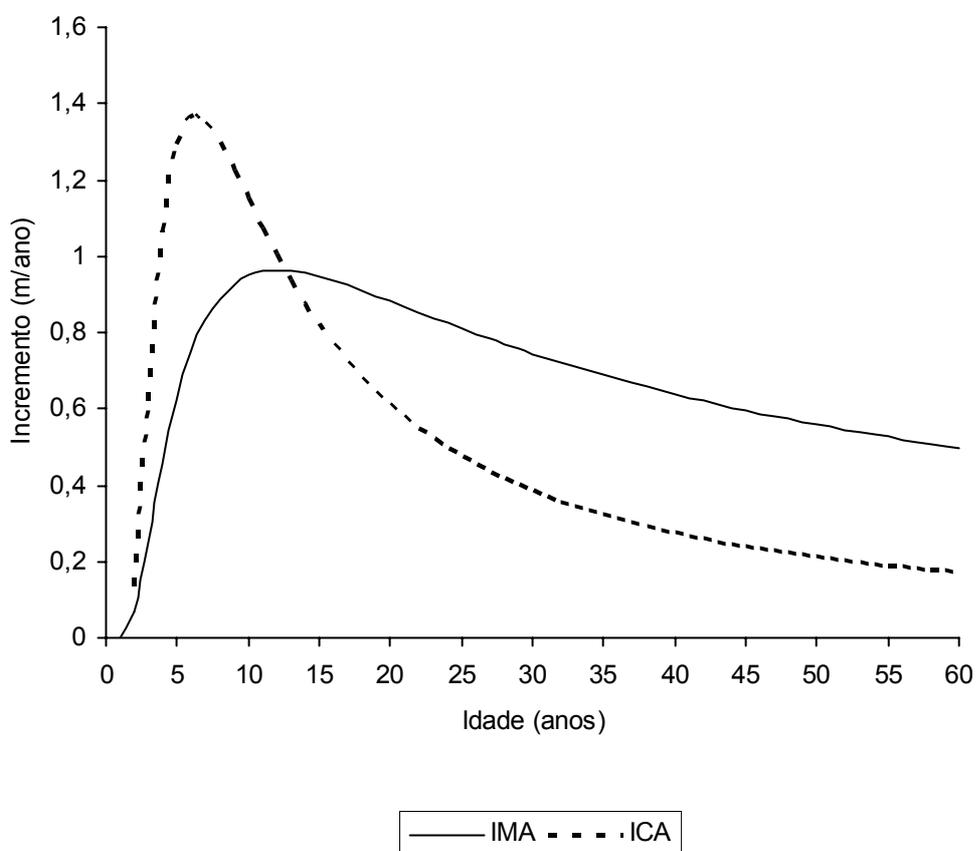


Figura 40 - Incremento médio e corrente anual em altura por idade para *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

#### 4.3.3 Crescimento em volume em função da idade

Na Tabela 36, encontram-se os resultados dos parâmetros estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 3, para ajustar o crescimento em volume sem casca em função da idade.

Tabela 36 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função da idade.

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	1,1777	-49,1151	-	-	0,9287	0,2506	-29,87	2799,3
2	-14,6345	6,4079	-0,6612	-	0,9365	0,2364	-28,18	1587,3
3	-	-2,8875	0,7904	-	0,9293	0,3343	-39,85	1420,2
4	8,4367	-0,0753	0,0012	-	0,2440	0,2365	3,19	35,69
5	-	0,5415	-0,0089	-	0,9771	1,1195	15,13	4617,6
6	-2,8806	-27,9695	0,9724	-	0,9354	0,2384	-28,42	1558,4
7	-6,3883	0,3954	-0,0087	0,000069	0,9374	0,2348	-27,99	1073,8
8	-11,0834	3,6073	-0,0554	-	0,9371	0,2353	-28,05	1602,3
9	2,3607	0,0124	0,03	-	0,9038	0,2161	1,66	1044,7
10	6,6348	0,0027	-	-	0,8802	0,2427	1,86	816,4

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

Os resultados mostram que de forma geral, as equações de volume apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,24 e coeficientes de variação entre -39,85% a 15,13% e erros padrões da estimativa pequenos.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se a equação de Prodan modificada (equação 5), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9771, bem como, baixo erro padrão da estimativa de 1,1195, coeficiente de variação de 15,13% e valor de F de 4617,6; altamente significativo. O modelo de Moissev (equação 7), com valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9374; valor do erro padrão da estimativa de 0,2348, coeficiente de variação de -27,99%, valor de F de 1073,8; e, o modelo de Gram (equação 8), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9371, erro padrão da estimativa de 0,2353, coeficiente de variação de -28,05% e valor de F de 1602,3, altamente significativo.

Para escolha do melhor modelo de crescimento em volume em função da idade foi determinado o Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP), conforme a Tabela 37.

Tabela 37 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	6	8	9	2	25
2	4	4	7	4	19
3	7	9	10	6	32
4	10	5	3	10	28
5	1	10	4	1	16
6	5	6	8	5	24
7	2	2	5	7	16
8	3	3	6	3	15
9	8	1	1	8	18
10	9	7	2	9	27

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP o modelo de Gram (equação 8), foi o melhor, pois apresentou o menor VP, igual a 15 pontos. Com esta equação de Gram (equação 8), estimou-se o crescimento médio em volume sem casca em função da idade, específico para a região de estudo, representado na Figura 41. Observa-se um padrão de crescimento sigmoidal, o qual aumenta lentamente no início, depois mais rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Este crescimento tende ao início da assíntota aos 58 anos, indicando a maturidade, que é o limite superior de crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento significativo.

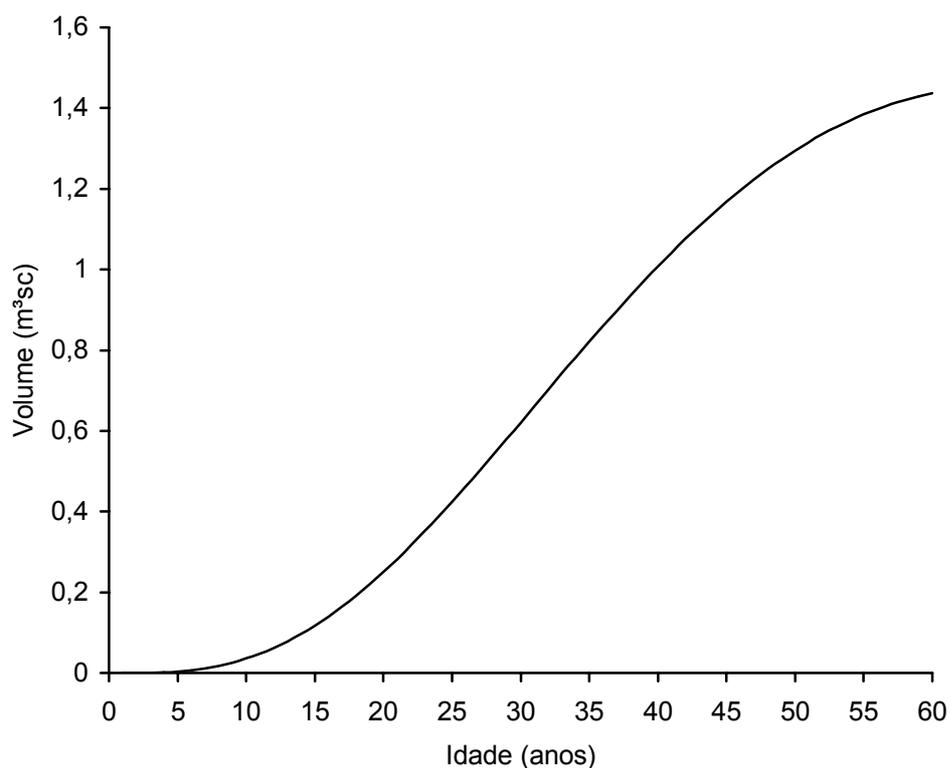


Figura 41 - Crescimento em volume em função da idade para *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

Na Figura 42, pode-se observar a distribuição dos resíduos, que apresentaram pouca dispersão, indicando bom ajuste da equação de volume em função da idade.

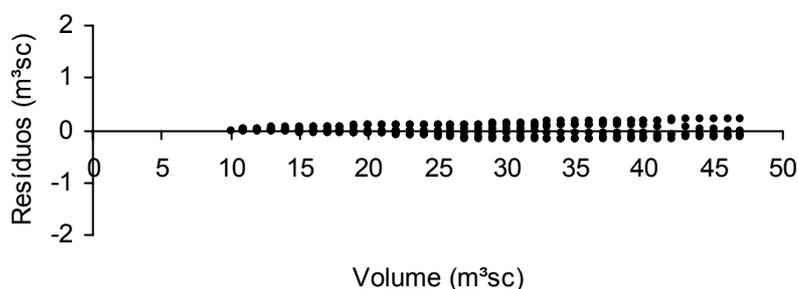


Figura 42 - Dispersão dos resíduos para a equação de volume de Gram.

Para completar a análise de crescimento, foi calculado o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) em volume para a espécie na região em estudo, apresentado na Tabela 38.

Tabela 38 - Incremento médio e corrente anual em volume, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

Idade (anos)	V (m³sc)	IMA (m³sc/ano)	ICA (m³sc/ano)
1	1,45372E-05	1,45372E-05	1,45372E-05
2	0,0002	8,38101E-05	0,0002
3	0,0007	0,0002	0,0005
4	0,0018	0,0005	0,0011
5	0,0039	0,0008	0,0020
6	0,0071	0,0012	0,0032
7	0,0117	0,0017	0,0046
8	0,0179	0,0022	0,0062
9	0,0258	0,0029	0,0080
10	0,0357	0,0036	0,0099
11	0,0477	0,0043	0,0120
12	0,0618	0,0051	0,0141
13	0,0780	0,0060	0,0162
14	0,0964	0,0069	0,0184
15	0,1170	0,0078	0,0206
16	0,1397	0,0087	0,0227
17	0,1645	0,0097	0,0248
18	0,1913	0,0106	0,0268
19	0,2199	0,0116	0,0287
20	0,2504	0,0125	0,0304
21	0,2824	0,0134	0,0321
22	0,3160	0,0144	0,0336
23	0,3510	0,0153	0,0350
24	0,3872	0,0161	0,0362
25	0,4245	0,0170	0,0373
26	0,4626	0,0178	0,0382
27	0,5015	0,0186	0,0389
28	0,5410	0,0193	0,0395
29	0,5809	0,0200	0,0399
30	0,6211	0,0207	0,0402
31	0,6614	0,0213	0,0403
32	0,7017	0,0219	0,0403
33	0,7418	0,0225	0,0401
34	0,7816	0,0230	0,0398
35	0,8210	0,0235	0,0394
36	0,8599	0,0239	0,0388
37	0,8980	0,0243	0,0382
38	0,9354	0,0246	0,0374
39	0,9720	0,0249	0,0365
40	1,0075	0,0252	0,0356
41	1,0420	0,0254	0,0345
42	1,0754	0,0256	0,0334
43	1,1076	0,0258	0,0322
44	1,1385	0,0259	0,0309
45	1,1681	0,0260	0,0296
46	1,1963	0,0260	0,0282
47	1,2232	0,0260	0,0268
48	1,2486	0,0260	0,0254

Tabela 38 – Incremento médio e corrente anual em volume, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste. Continuação...

Idade (anos)	V (m <sup>3</sup> sc)	IMA (m <sup>3</sup> sc/ano)	ICA (m <sup>3</sup> sc/ano)
49	1,2725	0,0260	0,0239
50	1,2949	0,0259	0,0224
51	1,3158	0,0258	0,0209
52	1,3353	0,0257	0,0194
53	1,3531	0,0255	0,0179
54	1,3695	0,0254	0,0164
55	1,3844	0,0252	0,0149
56	1,3977	0,0250	0,0134
57	1,4096	0,0247	0,0119
58	1,4200	0,0245	0,0104
59	1,4289	0,0242	0,0089
60	1,4364	0,0239	0,0075

Sendo: v= volume, sem casca em metros cúbicos; IMA= incremento médio anual sem casca, em metros cúbicos por ano; ICA= incremento corrente anual sem casca, em metros cúbicos por ano.

Com os incrementos médio e corrente anual por idade foi gerada a Figura 43, onde se observa que o máximo incremento médio anual em volume sem casca ocorreu aos 48 anos, quando interceptou a curva do incremento corrente anual, indicando ser esta a idade aproximada de maximização da produção volumétrica, sendo indicada para exploração da espécie na região.

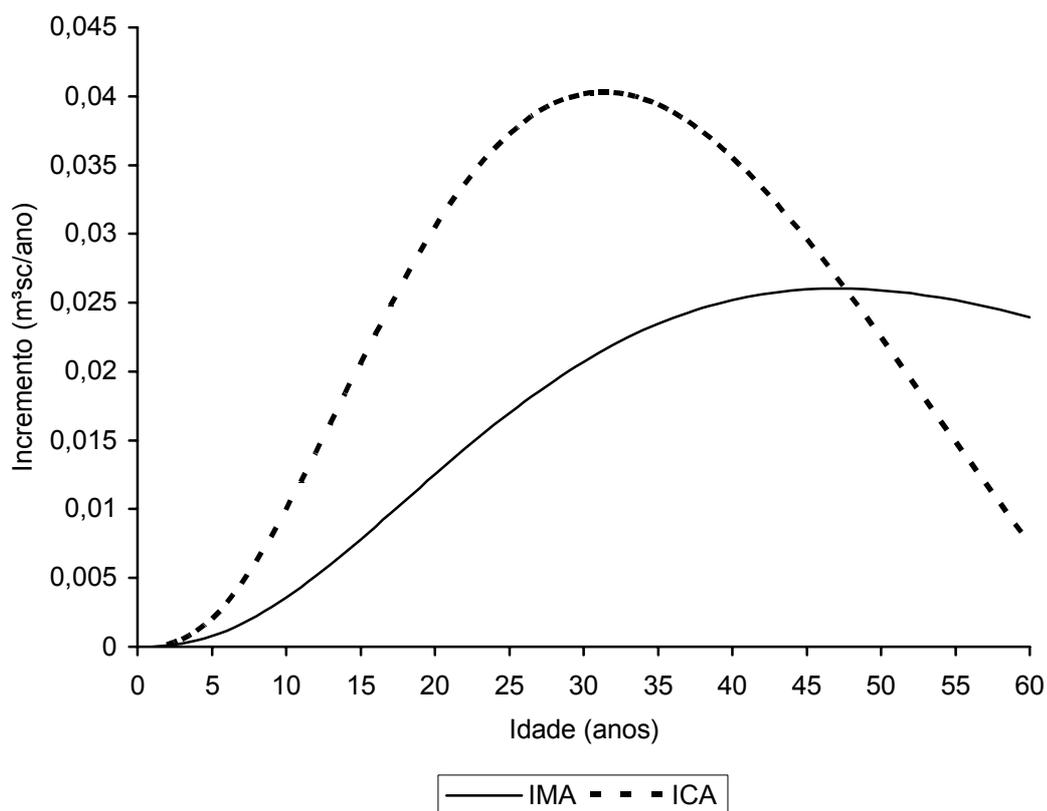


Figura 43 - Incremento médio e corrente anual em volume por idade, *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

#### 4.3.4 Crescimento em volume em função do diâmetro e altura

Na Tabela 39, são apresentados os resultados estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 4, para ajustar o volume sem casca em função do diâmetro e da altura.

Os resultados mostram que de forma geral, as equações de volume testadas apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,94 e coeficientes de variação baixos, entre -17,78% a 15,67%. As equações também apresentaram baixos valores para o erro padrão da estimativa, o que indica pouca dispersão relativa entre os valores observados e os estimados nas equações.

Tabela 39 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função do diâmetro e altura.

Eq.	Coeficientes						R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>				
1	0,3759	-0,0631	0,0016	0,002	-0,00002	0,003	0,9437	0,0934	15,57	722,31
2	0,1883	-0,0282	0,0012	0,00005	-0,00001	-	0,9430	0,0940	15,67	890,53
3	-0,0552	-0,0005	0,0001	-0,0001	-	-	0,9434	0,0938	15,63	896,19
4	-0,0350	-0,0000004	0,00004	0,0028	-	-	0,9431	0,0939	15,66	1188,45
5	-0,0045	0,00005	-	-	-	-	0,9435	0,0936	15,61	3590,77
6	-9,7349	-2,6449	0,6735	6,0077	-0,8094	-	0,9861	0,1104	-13,16	3827,0
7	-10,229	1,8157	1,2879	-	-	-	0,9850	0,1148	-13,68	7079,1
8	-10,14	1,0132	-	-	-	-	0,9846	0,1163	-13,87	13766,9
9	-8,4899	2,4724	-6,3075	-	-	-	0,9747	0,1492	-17,78	4146,8

Sendo: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub>= coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa; CV%= coeficiente de variação em %; F= valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>= coeficientes.

De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se o modelo de Prodan (equação 6), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9861, bem como baixo erro padrão da estimativa de 0,1104, baixo coeficiente de variação de -13,16% e valor de F de 3827,0, altamente significativo. O modelo de Schumacher-Hall (equação 7), apresentou um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9850, um erro padrão da estimativa de 0,1148, coeficiente de variação de -13,68% e valor de F de 7079,1. Já o modelo de Spurr (equação 8), apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9846, um erro padrão da estimativa de 0,1163, coeficiente de variação de -13,87% e valor de F de 13766,9, altamente significativo.

Devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP) para selecionar o melhor modelo para descrever o crescimento em volume em função do diâmetro e altura, conforme a Tabela 40.

Tabela 40 - Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas.

Equação Número	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	5	1	4	9	19
2	9	5	7	8	29
3	7	6	6	7	26
4	8	4	8	6	26
5	6	2	5	5	18
6	1	6	1	4	12
7	2	7	2	2	13
8	3	8	3	1	15
9	4	9	9	3	25

Sendo:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

O Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP) das equações testadas levou em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas. Esta estatística foi utilizada com o objetivo de sintetizar os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático. Dentre estas equações, o modelo de Prodan (equação 6) foi a escolhida, pois apresentou menor VP, igual a 12. Isto não exclui que qualquer outra equação testada não possa ser utilizada, pois todas apresentaram ótimo ajuste.

Na Figura 44, pode-se observar a distribuição dos resíduos, que apresentaram pouca dispersão indicando bom ajuste desta equação de volume selecionada.

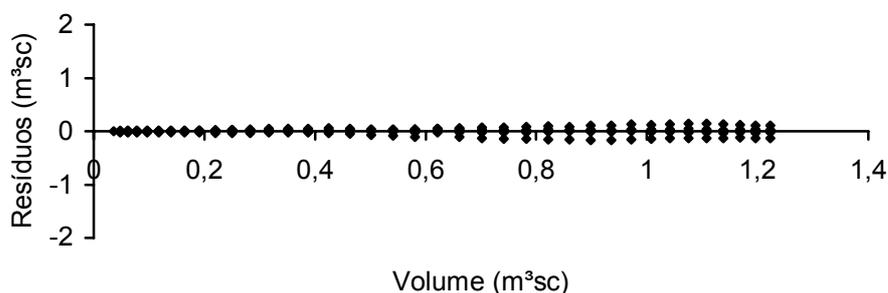


Figura 44 - Distribuição dos resíduos da equação de volume de Prodan.

#### 4.3.5 Crescimento em altura em função do diâmetro

Na Tabela 41, são apresentados os resultados estatísticos das equações testadas, conforme Tabela 5, para ajustar o crescimento da altura em função do diâmetro.

Tabela 41 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função do diâmetro.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	-3,2028	1,1501	-	-	0,9070	1,1554	6,99	1049,1
2	0,3766	0,7480	-	-	0,9167	0,0751	2,71	2637,3
3	3,4291	-15,2116	-	-	0,9244	0,0716	2,58	2629,7
4	25,7753	-214,813	-	-	0,8701	1,3652	8,26	1441,7
5	15,5990	0,2284	-116,004	-	0,8927	1,2407	7,51	895,7
6	21,0774	-155,344	0,0029	-	0,8881	1,2672	7,67	854,2
7	-27,6806	2,2480	166,501	-0,0292	0,9130	1,1172	6,77	752,6

Sendo:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

Pelos resultados da Tabela 42, pode-se inferir que os modelos testados tiveram coeficientes de determinação ajustado maiores que 0,87, erro padrão da estimativa pequenos e coeficientes de variação entre 2,58% a 8,26%. De acordo com os parâmetros estatísticos destacam-se as equações de número 2, definida pelo modelo de Stofells, que apresentou coeficiente de determinação ajustado de 0,9167, bem como baixo erro padrão da estimativa de 0,0751, baixo coeficiente de variação de 2,71% e valor de F de 2637,33, altamente significativo. Já a equação 3, apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9244, erro padrão da estimativa de 0,0716, coeficiente de variação de 2,58% e valor de F de 2629,7. E a equação 7, apresentou um coeficiente de determinação de 0,9130, erro padrão da estimativa de 1,1172, coeficiente de variação de 6,77% e valor de F de 752,6.

Na escolha do melhor modelo utilizou-se o critério de melhor distribuição dos resíduos, maior coeficiente de determinação ajustado, menor erro padrão da estimativa, baixo coeficiente de variação e valor de F mais significativo. Dentre estes critérios, optou-se pelo modelo de Stofells (equação 2), pois apresentou ótimos resultados para os parâmetros estatísticos.

Com esta equação obteve-se a Figura 45, que representa a curva de crescimento em altura em função do diâmetro. Nota-se na figura padrão de crescimento ascendente da altura com aumento do diâmetro.

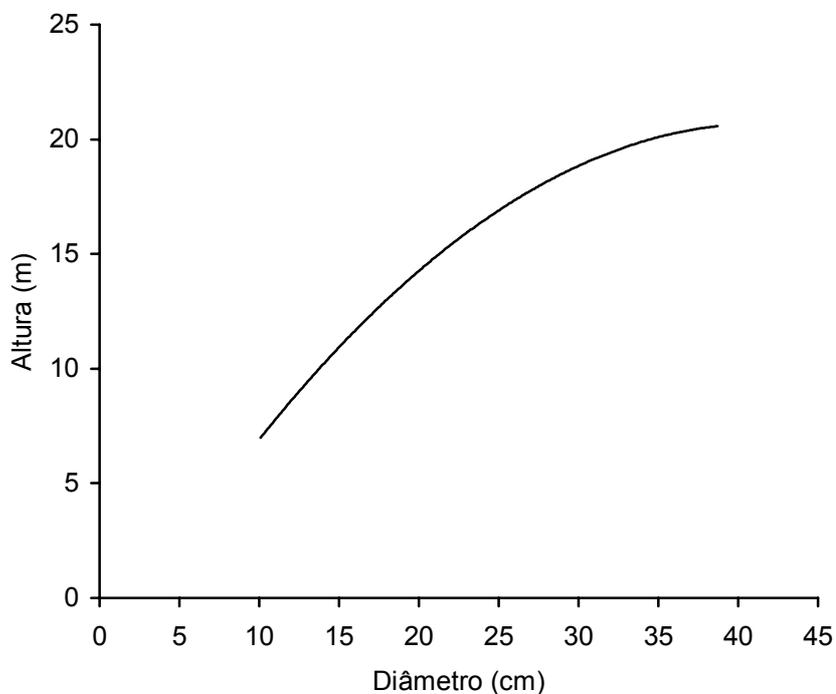


Figura 45 - Crescimento em altura em função do diâmetro de *Araucaria angustifolia*, na Encosta Superior do Nordeste.

Na Figura 45, pode-se observar a distribuição dos resíduos, que apresentaram pouca dispersão indicando bom ajuste da equação de Stofells.

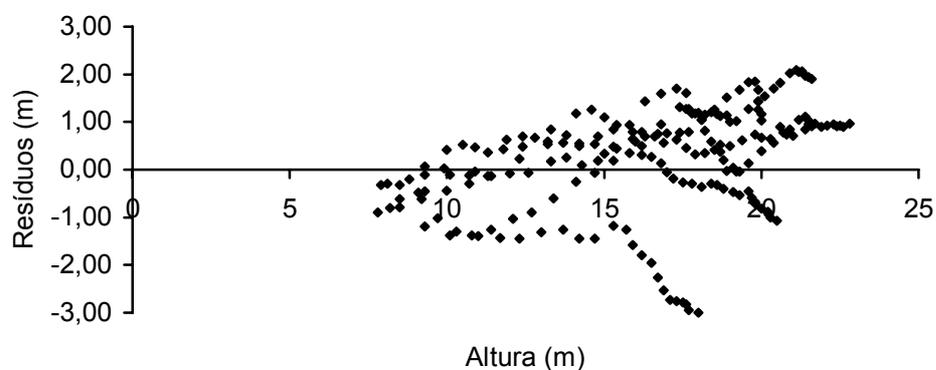


Figura 46 – Distribuição dos resíduos da equação de Stofells.

#### **4.4 Crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade de *Araucaria angustifolia*, para os três locais amostrados**

Complementando a análise do crescimento, comparou-se o crescimento para os parâmetros dendrométricos, diâmetro, altura e volume em função da idade para os três locais pesquisados. Este objetivo visa demonstrar a capacidade de crescimento para a araucária e verificar a semelhança no crescimento nos três locais (Canela, Passo Fundo e Caçapava do Sul) do Estado do Rio Grande do Sul, lugares onde a espécie tem ocorrência destacada nas formações florestais, principalmente, nas regiões de Canela e Passo Fundo.

Em Caçapava do Sul, o estudo de crescimento é pioneiro. Neste sentido, a comparação com os outros locais, traduz-se como forma de demonstrar se na Serra do Sudeste a espécie possui padrão de crescimento semelhante às demais regiões, mesmo porque, neste local sempre houve questionamento sobre a ocorrência natural da araucária.

Encosta Superior do Nordeste e Planalto Médio apresentaram melhor conteúdo nutricional, maior valor do conteúdo de matéria orgânica e teor de argila, o que favorece a capacidade de troca de cátions, quantidade de N e P, os quais são primordiais no desenvolvimento da espécie De Hoogh et al. (1980), De Hoogh (1981), Brum (1979), Hoppe (1980), Simões & Couto(1973). Bem como maior altitude, teor de umidade e precipitação, que são essenciais para o crescimento de araucária (ver Anexo I).

As Figuras 47, 48 e 49, demonstram o crescimento comparado para cada parâmetro dendrométrico analisado em função da idade nas três regiões estudadas.

##### **4.4.1 Crescimento em diâmetro em função da idade para os três locais**

Pela análise da Figura 47, pode-se observar que a araucária tem crescimento inicial semelhante nas regiões em estudo. Em Passo Fundo e Canela obteve-se os melhores resultados iniciais do crescimento, que perdurou até os 26, 27 anos de idade. Após, esta idade, em Caçapava do Sul e Canela, houve diferenciação, alcançando Caçapava do Sul melhor crescimento em diâmetro com aumento da idade.

Isto pode ser comprovado pela idade do culmínio do incremento médio anual (IMA), ou idade de maximização do crescimento em diâmetro, o qual ocorreu anteriormente nas regiões da Encosta Superior do Nordeste (aos 21 anos), Planalto Médio (aos 22) e Serra do Sudeste (aos 33 anos).

Contudo, apesar das aparentes vantagens abióticas e bióticas (maior conteúdo de matéria orgânica no solo, teor de argila, nutrientes, maiores precipitações, altitude, etc.) no Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste, na Serra do Sudeste, com o decorrer do tempo (idade) a espécie apresenta potencial de crescimento, concorrendo com os demais locais, antes vistos como favoráveis.

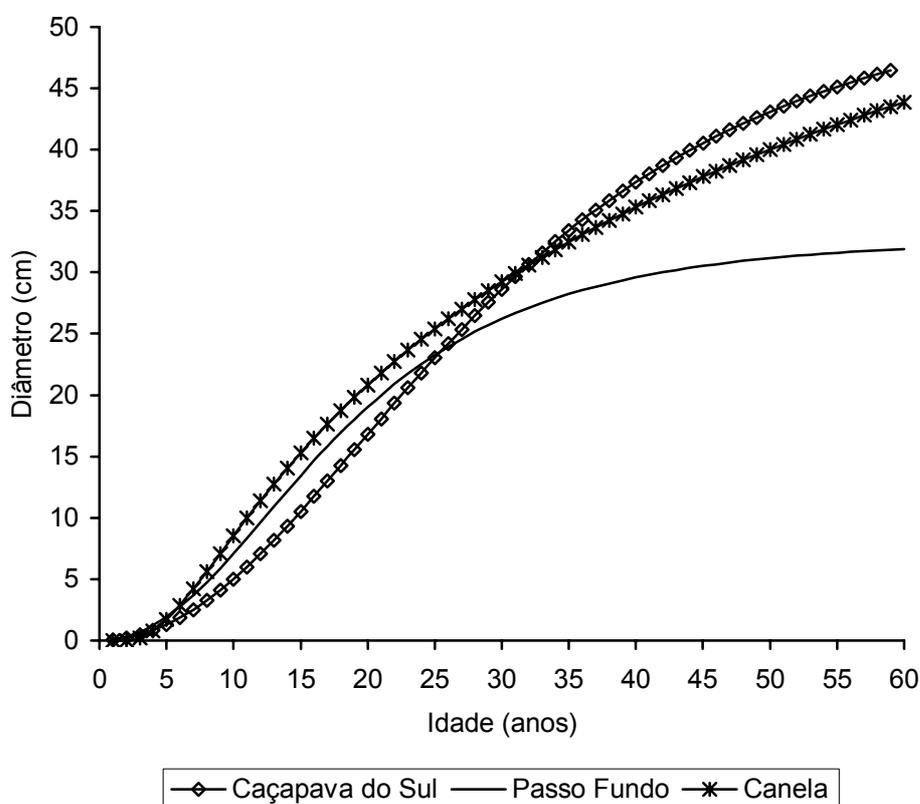


Figura 47 – Crescimento comparado de diâmetro em função da idade para os três locais.

#### 4.4.2 Crescimento em altura em função da idade para os três locais

Na Figura 48, observa-se que no parâmetro altura, a região de Canela diferenciou-se desde as idades iniciais. Nota-se que as curvas de crescimento possuem inclinação e níveis diferentes, indicando ritmo e capacidade de

crescimento diferenciado para cada região. A diferenciação para Canela pode ser devido ao sítio e aspectos ambientais (bióticos e abióticos) que influenciam no crescimento em altura.

Este melhor crescimento em altura da Encosta Superior do Nordeste pode ser verificado com base nos dados de culminio do Incremento Médio Anual, o qual ocorreu aos 13 anos nesta região, aos 20 anos no Planalto Médio e aos 22 anos na Serra do Sudeste.

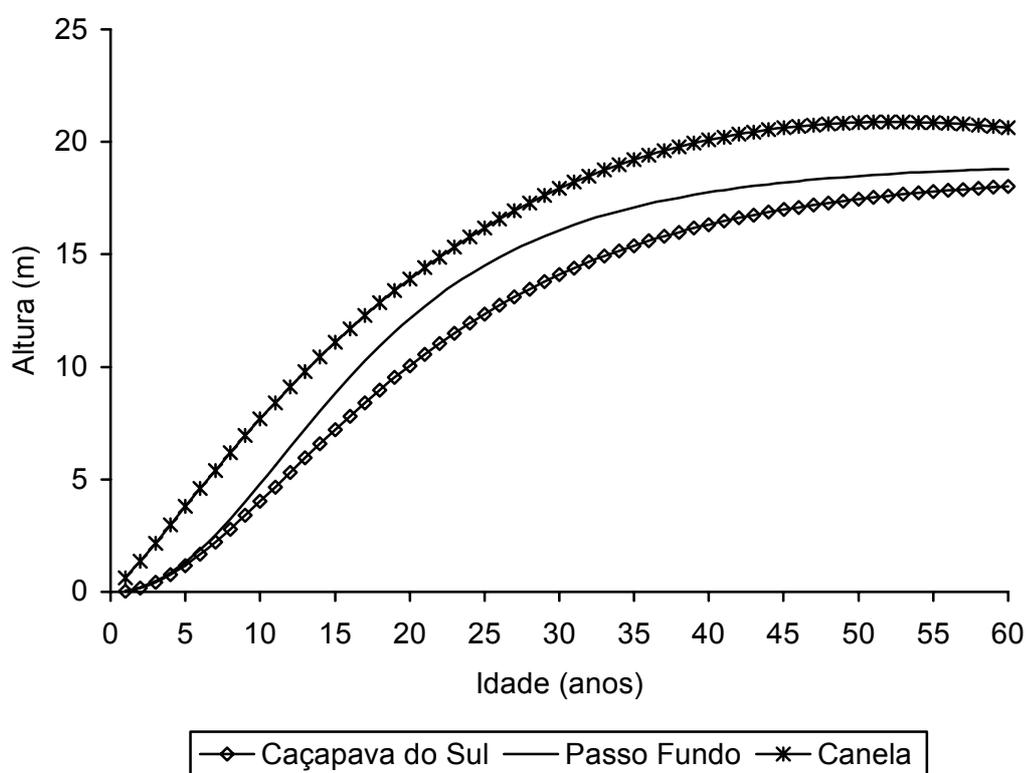


Figura 48 – Crescimento comparado de altura em função da idade para os três locais.

#### 4.4.3 Crescimento em volume em função da idade para os três locais

Na Figura 49, pode-se notar que no aspecto volume a araucária tem comportamento de crescimento semelhante para as regiões em estudo, ocorrendo diferenciação somente nas idades mais avançadas. Passo Fundo e Caçapava do Sul, até os 32 anos de idade, apresentam praticamente o mesmo comportamento, enquanto, para Canela, ocorre maior crescimento em volume neste período. A partir

dos 40 anos, em Caçapava do Sul, há uma diferenciação do crescimento, sendo visivelmente maior.

Passo Fundo e Canela possuem curvas semelhantes, paralelas, de crescimento, diferindo apenas no seu ritmo, o qual foi maior em Canela. O culmínio do Incremento Médio Anual, isto é, maximização do crescimento em volume, ocorreu primeiro na Encosta Superior do Nordeste, aos 48 anos, após no Planalto Médio, aos 49 anos e, posteriormente, na Serra do Sudeste, aos 58 anos.

Este culmínio, anterior nas duas regiões, deve-se a aspectos físicos e condições bióticas da região, como: altitude, conteúdo nutricional do solo, precipitação, etc. Enquanto, na Serra do Sueste, a araucária, pode ter enfrentado competição e concorrência nos estágios iniciais do seu desenvolvimento, mas que foram superados após seu estabelecimento, mostrando uma acentuada inclinação da curva de crescimento no período jovem, dos 25 aos 40 anos, o que denota a capacidade e o potencial de crescimento da espécie.

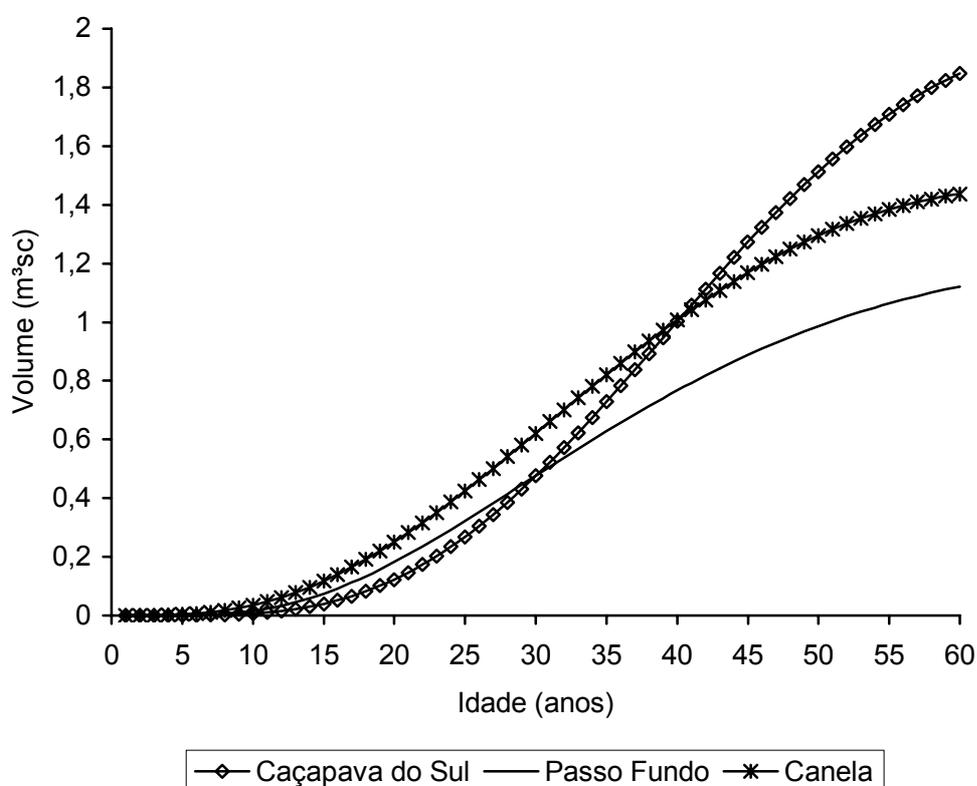


Figura 49 – Crescimento comparado de volume em função da idade para os três locais.

De maneira geral, pode-se dizer que os três locais apresentam potencialidades no crescimento para *Araucaria angustifolia*, podendo-se cultivar esta espécie nesses locais, com expectativa de retorno econômico, na idade de maximização obtida, para cada parâmetro dendrométrico.

#### 4.5 Análise de covariância para verificar diferenças de crescimento em diâmetro, altura e volume por idade para *Araucaria angustifolia* nos três locais estudados

Foi realizada análise de covariância para demonstrar a diferença ou não na capacidade produtiva, como em tendência do crescimento para cada variável dendrométrica estudada, em cada local analisado, sendo fundamental para construir curvas de crescimento que possibilitem sua utilização de forma segura em estudo de crescimento e produção de *Araucaria angustifolia*.

Primeiramente, testou-se a hipótese de diferença de nível e inclinação para a curva de crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade, dividindo os dados em três grupos, de acordo com a região fitogeográfica de ocorrência da araucária. O grupo 1 refere-se aos dados de araucária da Serra do Sudeste, o grupo 2, da região do Planalto Médio; e o grupo 3, da região da Encosta Superior do Nordeste.

##### 4.5.1 Análise de covariância para crescimento em diâmetro em função da idade

Na Tabela 42, encontra-se os resultados estatísticos da análise de covariância para o crescimento em diâmetro em função da idade.

Tabela 42 – Análise de covariância para crescimento em diâmetro em função da idade.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	77,1161	12,8527	603,5	0,0001
Local	2	1,1124	0,5562	26,1	0,0001
Ln (t)	1	70,0081	70,0081	3287,3	0,0001
Ln <sup>2</sup> (t)	1	1,3596	1,3596	63,8	0,0001
Ln (t)*local	2	4,6358	2,3179	108,8	0,0001
Erro	495	10,8733	0,0219		
Total	501	87,6580			

Sendo: FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F; Pr >F= probabilidade de significância para o valor de F; Ln= logaritmo neperiano; t= idade.

Os resultados da análise de covariância da Tabela 42 indicam que o valor de F para a fonte de variação, Ln(t)\*local e local, 108,8 e 26,1 rejeitam a hipótese de igualdade de inclinação e nível para a curva de crescimento em diâmetro em função da idade para uma probabilidade  $< 0,0001$ , o que demonstra haver diferença na capacidade produtiva e em crescimento em diâmetro por idade para cada uma das regiões fitogeográficas estudadas.

#### 4.5.2 Análise de covariância para crescimento em altura em função da idade

Na Tabela 43, encontra-se os resultados estatísticos da análise de covariância para o crescimento em altura em função da idade.

Tabela 43 – Análise de covariância para crescimento em altura em função da idade.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	50,7117	8,4520	1284,5	0,0001
Local	2	5,7220	2,8610	434,8	0,0001
Ln (t)	1	41,7712	41,7712	6348,4	0,0001
Ln <sup>2</sup> (t)	1	1,7198	1,7198	261,4	0,0001
Ln (t)*local	2	1,4986	0,7493	113,8	0,0001
Erro	495	3,2570	0,0066		
Total	501	53,9687			

Sendo: FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F; Pr >F= probabilidade de significância para o valor de F; Ln= logaritmo neperiano; t= idade.

Os resultados da Tabela 43 também indicam que a hipótese de igualdade de inclinação e nível para a curva de crescimento em altura foram significativos, com valor de F para a fonte de variação Ln(t)\*local e local de 113,8 e 434,8 rejeitando a hipótese com uma probabilidade  $<0,0001$ , demonstrando que o padrão de crescimento e a capacidade produtiva em altura é diferente para cada uma das regiões fitogeográficas estudadas.

#### 4.5.3 Análise de covariância para crescimento em volume em função da idade

Na Tabela 44, encontra-se os resultados estatísticos da análise de covariância para o crescimento em volume em função da idade.

Tabela 44 - Análise de covariância para crescimento em volume em função da idade.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	615,3433	102,5572	1074,9	0,0001
Local	2	13,2446	6,6223	69,4	0,0001
Ln (t)	1	562,4511	562,4511	5894,9	0,0001
Ln <sup>2</sup> (t)	1	11,3046	11,3046	118,5	0,0001
Ln (t)*local	2	28,3429	14,1715	148,5	0,0001
Erro	495	47,7393	0,0954		
Total	501	662,5726			

Sendo: FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F; Pr >F= probabilidade de significância para o valor de F; Ln= logaritmo neperiano; t= idade.

Os resultados da Tabela 44 indicam que a hipótese de igualdade e nível para a curva de crescimento em volume, foram significativos com um valor de F para a fonte de variação Ln(t)\*local e local de 148,5 e 69,4, rejeitando a hipótese com uma probabilidade <0,0001, demonstrando que a capacidade produtiva e o ritmo de crescimento em volume em função da idade é diferente para cada uma das regiões fitogeográficas estudadas.

#### 4.6 Análise do crescimento em diâmetro, altura e volume com variável dummy

Este estudo foi realizado com o objetivo selecionar uma equação de crescimento em função da idade, para diâmetro, altura e volume, com o uso de variáveis dummy, para *Araucaria angustifolia*, nos locais da Serra do Sudeste (dummy 1), município de Caçapava do Sul; Planalto Médio (dummy 2), município de Passo Fundo; e, Encosta Superior do Nordeste (dummy 3), município de Canela. Para cada região ocorreu o ajuste de diferentes equações para estudo do crescimento nos parâmetros dendrométricos estudados. Sendo assim, optou-se pelo uso da equação de Backman, pois seu uso mostrou-se eficiente com a utilização de variáveis dummy, permitindo identificar diferenças de crescimento para as regiões estudadas, necessitando ajustar equações de crescimento em separado para cada local minimizando-se erros de estimativa.

#### 4.6.1 Crescimento em diâmetro comparado com variável dummy

Após a inclusão de variáveis dummy, a equação de Backman foi reajustada, sendo os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 45.

Tabela 45 – Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy para crescimento em diâmetro em função da idade, para *Araucaria angustifolia*.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	77,1161	12,8527	603,5	< 0,0001
Ln(t)	1	70,7334	70,7334	3321,2	< 0,0001
Ln <sup>2</sup> (t)	1	1,1665	1,1665	54,8	< 0,0001
D1	1	0,0002	0,0002	0,01	0,9169
D2	1	0,5800	0,5800	27,4	< 0,0001
D3	0	0	0	-	-
Ln(t) X D1	1	4,5536	4,5536	213,8	< 0,0001
Ln(t) X D2	1	0,0822	0,0822	3,9	0,0500
Ln(t) X D3	0	0	0	-	-
Erro	495	10,5419	0,0213		
Total	501	87,6580			

Sendo: Ln(t)= logaritmo neperiano da idade; t= idade em anos; D1; D2; D3= variáveis dummy 1, 2 e 3; FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F calculado; Pr>F= nível de significância de F; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; CV= coeficiente de variação; S<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa.

A análise de variância, apresentada na Tabela 45, mostra que todas as variáveis independentes no modelo máximo foram significativas com altos valores de F calculado, indicando existir diferenças no crescimento em diâmetro em função da idade entre as regiões estudadas. Excetuando-se a variável dummy 1, pois não foi significativa, com valor de F igual a 0,01, demonstrando que para a Serra do Sudeste deve-se usar a equação original do crescimento em diâmetro em função da idade.

Isto permite afirmar que, para a dummy 1 (Serra do Sudeste) não existe diferença de nível (não significância), o que não ocorre para dummy 2 (Planalto Médio) e para dummy 3 (Encosta Superior do Nordeste). Observa-se, também, que há diferença na capacidade produtiva da espécie na Serra do Sudeste, que é constatado pela significância da interação entre a idade X dummy 1, com probabilidade <0,0001, representado pela diferença de ângulo na análise de variância.

Após essa análise foram recalculados os coeficientes da equação com variável dummy, apenas com as regiões que foram significativas na análise de variância.

O modelo genérico final, para estimar o crescimento em diâmetro em função da idade para as três regiões fitogeográficas, simultaneamente, passa a ser representado por:

$$\ln d = -2,9536 + 2,9373 \cdot \ln(t) - 0,3198 \cdot \ln^2(t) - 0,0699 \cdot D2 + 0,0018 \cdot \ln(t) \cdot D1$$

Esta equação de Backman com variáveis dummy apresentou ajuste, com valor de coeficiente de determinação de 0,8261, valor de coeficiente de variação 5,53% e valor de erro padrão da estimativa de 0,1751, mostrando-se altamente significativa.

Com este modelo máximo obtido, os valores dos parâmetros foram recalculados e plotados em função da idade, observando-se as diferenças no crescimento em diâmetro para os três locais, conforme Figura 50.

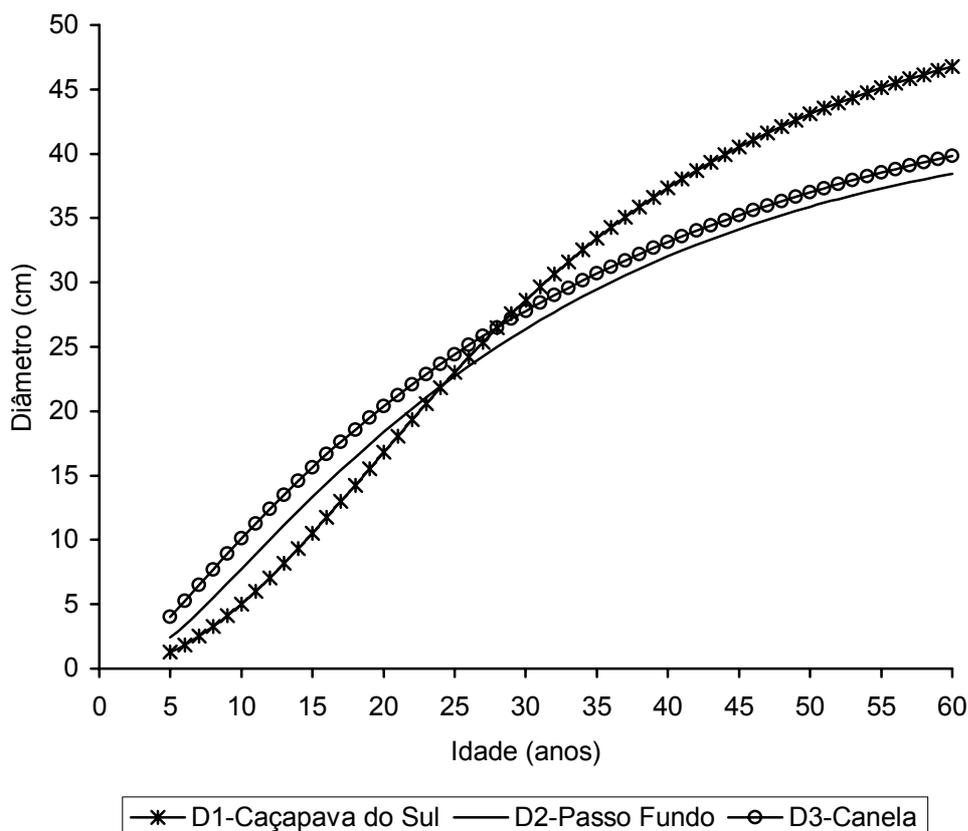


Figura 50 – Valores ajustados pela equação de Backman com variáveis dummy para diâmetro em função da idade.

Na Figura 50 observa-se que para as regiões Planalto Médio (D2) e Encosta Superior do Nordeste (D3) existe um mesmo nível de crescimento em diâmetro, demonstrado pela quase sobreposição das curvas, contudo, não é possível o agrupamento dos dados para ajuste de uma equação única. Serra do Sudeste (D1) como comprovado pela não significância de F (0,01), demonstra nível e ritmo de crescimento totalmente diferente das demais regiões. As curvas de crescimento apresentam diferença de nível, indicando diferença de crescimento em diâmetro para cada região, sendo conveniente ajustar equações de crescimento independentes para cada região, como demonstrado na análise de variância (Tabela 45).

#### 4.6.2 Crescimento em altura comparado com variável dummy

Na Tabela 46, são apresentados os resultados da análise de variância após a inclusão de variáveis dummy, para a equação de Backman reajustada.

Tabela 46 – Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy para crescimento em altura em função da idade, para *Araucaria angustifolia*.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	50,7117	8,4519	1284,5	< 0,0001
Ln(t)	1	40,0469	40,0469	6086,3	< 0,0001
Ln <sup>2</sup> (t)	1	2,5747	2,5747	391,3	< 0,0001
D1	1	5,2049	5,2049	791,04	< 0,0001
D2	1	1,3865	1,3865	210,7	< 0,0001
D3	0	0	0	-	-
Ln(t) X D1	1	1,2209	1,2209	185,6	< 0,0001
Ln(t) X D2	1	0,2776	0,2776	42,2	< 0,0001
Ln(t) X D3	0	0	0	-	-
Erro	495	3,2570	0,0066		
Total	501	53,9688			

Sendo: Ln(t)= logaritmo neperiano da idade; t= idade em anos; D1; D2; D3= variáveis dummy 1, 2 e 3; FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F calculado; Pr>F= nível de significância de F; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; CV= coeficiente de variação; S<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa.

A análise de variância, apresentada na Tabela 46, indicou que todas as variáveis independentes no modelo gigante foram significativas com altos valores de F calculado, denotando existir diferenças no crescimento em altura em função da idade entre as regiões estudadas. Observa-se, também, que há diferença na capacidade produtiva da espécie na Serra do Sudeste, que é constatado pela significância da interação entre a idade X dummy 1, com probabilidade < 0,0001, o

que também ocorreu para Planalto Médio, significância da interação entre a idade X dummy 2, com probabilidade < 0,0001, representado pela diferença de ângulo na análise de variância.

Após essa análise foram recalculados os coeficientes da equação com variável dummy, apenas com as regiões que foram significativas na análise de variância.

O modelo genérico final, para estimar o crescimento em altura em função da idade para as três regiões fitogeográficas, simultaneamente, passa a ser representado por:

$$\ln h = -2,8234 + 2,9484 \cdot \ln(t) - 0,3739 \cdot \ln^2(t) - 1,2916 \cdot D1 - 0,6151 \cdot D2 + 0,3043 \cdot \ln(t) \cdot D1 + 0,1488 \cdot \ln(t) \cdot D2$$

Esta equação de Backman com variáveis dummy apresentou ajuste, com valor de coeficiente de determinação de 0,9397, valor de coeficiente de variação 3,06% e valor de erro padrão da estimativa de 0,0816, mostrando-se altamente significativa.

Com este modelo máximo obtido, os valores dos parâmetros foram recalculados e plotados em função da idade, observando-se as diferenças no crescimento em altura para os três locais, conforme Figura 51.

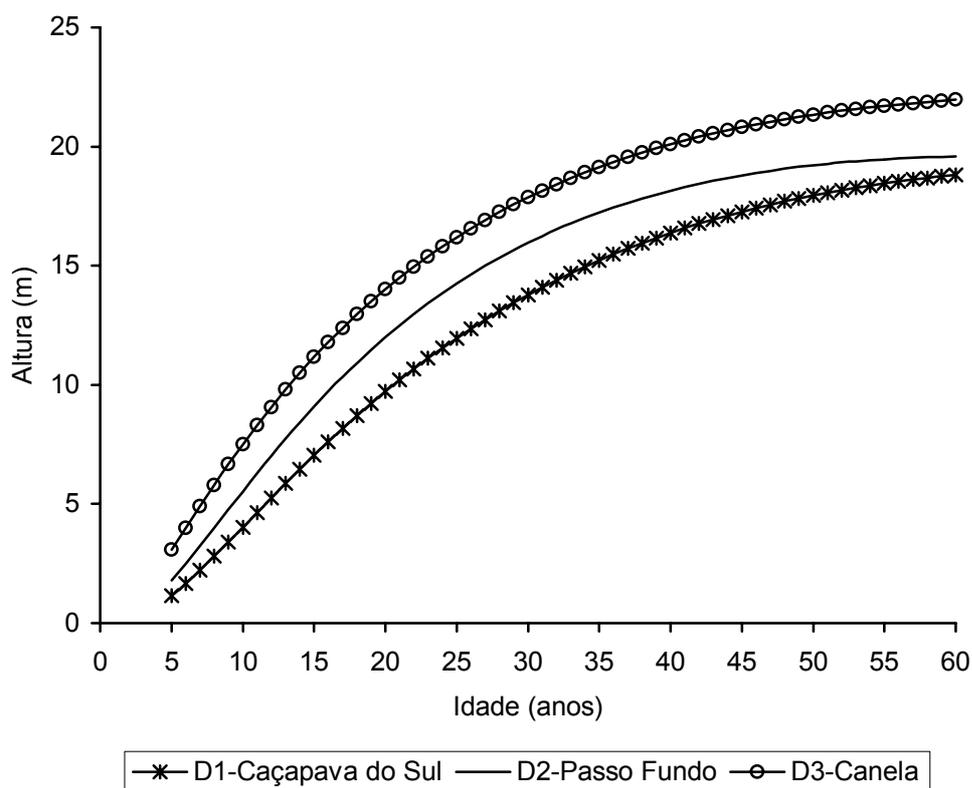


Figura 51 – Valores ajustados pela equação de Backman com variáveis dummy para altura em função da idade.

Na Figura 51, observa-se claramente a diferença de nível e ângulo das curvas de crescimento em altura, mostrando que a espécie apresenta ritmo de crescimento diferente nas três regiões estudadas. Para este parâmetro também é necessário o ajuste de equações independentes para análise do crescimento. A espécie apresentou maior valor no crescimento em altura nas regiões da Encosta Superior do Nordeste e Planalto Médio.

#### 4.6.3 Crescimento em volume comparado com variável dummy

Na Tabela 47, são apresentados os resultados da análise de variância para a equação de Backman reajustada com variáveis dummy.

Tabela 47 – Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy para crescimento em volume em função da idade, para *Araucaria angustifolia*.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	615,3434	102,5772	1074,9	< 0,0001
Ln(t)	1	558,4564	558,4564	5853,1	< 0,0001
Ln <sup>2</sup> (t)	1	12,7873	12,7873	134,0	< 0,0001
D1	1	8,0564	8,0564	84,4	< 0,0001
D2	1	7,7002	7,7002	80,7	< 0,0001
D3	0	0	0	-	-
Ln(t) X D1	1	26,8849	26,8849	281,8	< 0,0001
Ln(t) X D2	1	1,4579	1,4579	15,28	< 0,0001
Ln(t) X D3	0	0	0	-	-
Erro	495	47,2293	0,0954		
Total	501	662,5726			

Sendo: Ln(t)= logaritmo neperiano da idade; t= idade em anos; D1; D2; D3= variáveis dummy 1, 2 e 3; FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F calculado; Pr>F= nível de significância de F; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; CV= coeficiente de variação; S<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa.

A análise de variância, apresentada na Tabela 47, indicou que todas as variáveis independentes no modelo gigante foram significativas com altos valores de F calculado, denotando existir diferenças no crescimento em volume em função da idade entre as regiões estudadas. Observa-se, também, que há diferença na capacidade produtiva da espécie na Serra do Sudeste, que é constatado pela significância da interação entre a idade X dummy 1, com probabilidade < 0,0001, o que também ocorreu para Planalto Médio, significância da interação entre a idade X dummy 2, com probabilidade < 0,0001, representado pela diferença de ângulo na análise de variância.

Após essa análise foram recalculados os coeficientes da equação com variável dummy, apenas com as regiões que foram significativas na análise de variância.

O modelo genérico final, para estimar o crescimento em volume em função da idade para as três regiões fitogeográficas, simultaneamente, passa a ser representado por:

$$\ln v = -17,7437 + 8,5343 \cdot \ln(t) - 1,0162 \cdot \ln^2(t) - 4,7619 \cdot D1 - 1,4298 \cdot D2 + 1,3152 \cdot \ln(t) \cdot D1 + 0,3412 \cdot \ln(t) \cdot D2$$

Esta equação de Backman com variáveis dummy apresentou um valor de coeficiente de determinação de 0,9287, valor de coeficiente de variação -29,63% e valor de erro padrão da estimativa de 0,3061, mostrando-se altamente significativa.

Com este modelo máximo obtido, os valores dos parâmetros foram recalculados e plotados em função da idade, observando-se as diferenças no crescimento em volume para os três locais, conforme Figura 52.

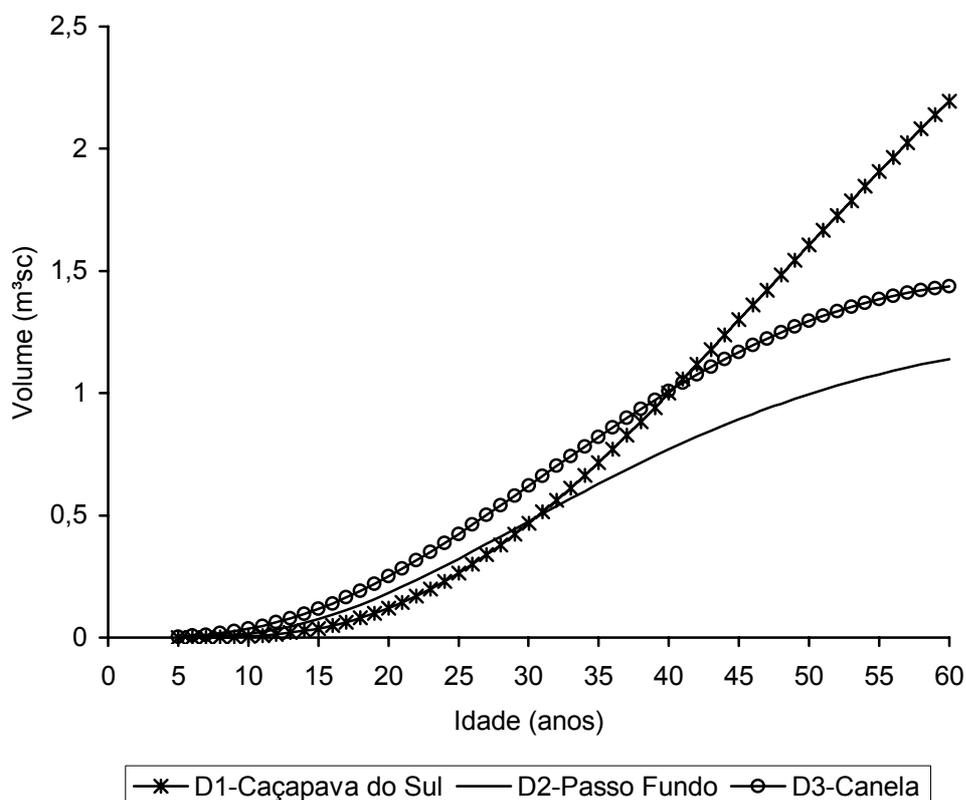


Figura 52 – Valores ajustados pela equação de Backman com variáveis dummy para volume sem casca em função da idade.

Na Figura 52, observa-se que a variável volume demonstrou agrupamento dos dados nas idades iniciais, sendo que para essas idades a *Araucaria angustifolia*, apresenta o mesmo padrão de crescimento, não diferindo muito de um local pra outro, o que pode ser explicado pela dificuldade inicial, isto é, até que ocorra o estabelecimento da espécie. Após esse período, (depois dos 15 anos), ocorre a diferenciação no crescimento em volume. Caçapava do Sul, demonstra uma curva mais acentuada, crescimento inicial mais lento, indicando competição, porém, ultrapassando as demais regiões no futuro.

#### **4.7 Análise de correlação de volume com fatores ambientais e nutrientes do solo**

Para estudar as variáveis ambientais e nutrientes do solo que mais influenciam no crescimento, foi utilizada a análise de correlação de Pearson. Essa análise permitiu identificar as variáveis com influência em maior ou menor grau sobre o crescimento, servindo de auxílio na elaboração de modelos de crescimento em função dessas variáveis ambientais.

Para isto, usou-se o volume como variável de resposta, isto é, como variável dependente, pois se considera que o mesmo expressa o crescimento integral, bem como a capacidade produtiva da espécie. Também foi analisada a variável relação hipsométrica, pois ela representa uma função de competição, o que permite verificar o desenvolvimento e comportamento do crescimento da espécie.

Assim, a análise de correlação demonstra tanto as variáveis fortemente correlacionadas, bem como as fracamente correlacionadas com o crescimento. Este coeficiente é de grande utilidade na quantificação da magnitude e direção das influências de fatores, mas não dá a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis independentes sobre a dependente, ou seja, existindo uma correlação entre X e Y, não se pode afirmar que Y é determinado ou causado por, ou vice-versa, pois a correlação é apenas uma medida de associação (Costa Neto, 1997).

Na interpretação dos resultados, ou efeitos, avaliam-se os valores do coeficiente de correlação de Pearson e do efeito direto e, quando estes forem iguais ou semelhantes, em magnitude e sinal, esta correlação direta explica a verdadeira associação existente. Se o coeficiente de correlação de Pearson for positivo, mas o efeito direto for negativo ou desprezível, a correlação será causada pelos efeitos indiretos, sendo estes considerados na análise. Com o coeficiente de correlação de Pearson desprezível e o efeito direto apresentando-se positivo e alto, os efeitos indiretos é que são responsáveis pela falta de correlação, merecendo a mesma atenção na análise. Finalmente, com a correlação de Pearson negativa e efeito direto positivo e alto, deve-se eliminar os efeitos indiretos da análise e aproveitar somente os diretos (Veconvsky & Barriga, 1992).

A análise de correlação é um método estatístico que permite conhecer um número que resume o grau de relacionamento entre as variáveis. É uma ferramenta

fundamental das ciências sociais e do comportamento, da engenharia e das ciências naturais. Dentre suas importantes aplicações estão a análise de confiabilidade de testes e análise da estrutura de covariância de um vetor aleatório. A importância em conhecer os diferentes métodos e as suposições básicas requeridas por cada um deles é fundamenta para que não utilizem medidas de correlação inadequadas. É comum a utilização do coeficiente de correlação linear de Pearson, conhecido também como correlação de momento-produto.

Na Tabela 48 observa-se os valores das médias, desvio padrão e valores mínimo e máximo, das variáveis utilizadas na determinação da correlação de Pearson. E na Tabela 49, apresenta-se os resultados da matriz de correlação de Pearson, onde no canto direito da tabela, estão os valores dos coeficientes de correlação de Pearson e, na parte esquerda à probabilidade de significância.

Tabela 48 – Estatística das médias, desvio padrão e limites máximos e mínimos dos fatores ambientais.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Pat	946,06	27,62	916,8	1003
TMMax	23,08	1,48	20,1	25,7
TMMin	13,36	0,87	11,4	15,3
Maxa	34,21	2,57	30,7	40,2
minA	-0,68	1,14	-3,8	1,4
U	75,65	4,32	65,0	83,0
PP	1765	343,53	1135	2486
Evap	2250	13143,05	609,4	164137,0
Ins	2116	285,57	1380,3	2598
Alt	775,29	247,26	338,0	990
Arg	29,49	9,37	13,3	38
Mo	4,73	0,68	3,6	5,4
B	1,06	1,01	0,00013	2,2
Ca	1,57	1,97	0,20	5,3
Mg	0,61	0,88	0,12	2,3
S	2,75	5,11	0,09	12,5
Cu	0,13	0,23	0,0014	0,57
Zn	0,54	1,01	0,0062	2,47
K	40,214	34,61	0,38	73
HD	29,90	33,97	0,395	69
V	0,6246	0,2041	0,148	1,217

Sendo: Pat = pressão atmosférica em mb; TMMax= temperatura média máxima em °C; TMMin= temperatura média mínima em °C; Maxa= temperatura máxima absoluta; minA= temperatura mínima absoluta; U= umidade relativa do ar em %; PP= precipitação em mm; Evap= evaporação em mm; Ins= insolação em horas e décimos de horas;; Alt.= altitude; Arg.= argila; Mo= matéria orgânica; B= boro; Ca= cálcio; Mg= magnésio; S= enxofre; Cu= cobre; Zn= zinco; K= potássio; HD= relação hipsométrica; V= volume em m<sup>3</sup> sem casca por ano.



Pelos resultados obtidos pode-se verificar que o volume apresentou correlação positiva com umidade (0,671), altitude (0,757), teor de argila (0,79), matéria orgânica (0,847) e boro (0,974). Todas essas correlações tiveram valores de probabilidade  $<0,0001$ , indicando alta significância entre o crescimento em volume e esses fatores ambientais.

A relação hipsométrica apresentou correlação positiva com umidade (0,673), altitude (0,754), teor de argila (0,788), matéria orgânica (0,846) e boro (0,981).

A correlação com a altitude comprova os locais de ocorrência natural da espécie, em altitudes maiores, ou faixa de amplitude de altitude. A correlação com o teor de argila indica a importância desse elemento do solo no crescimento da araucária, sendo importante para absorção de nutrientes, pois evita a lixiviação e favorece a capacidade de troca de cátions.

A correlação positiva com matéria orgânica explica a importância desse elemento no solo. Ela contribui ainda para manter a estrutura do solo, a retenção de água e nutrientes, sendo fonte de alimento para microrganismos do solo e fornece proteção mecânica para a superfície (Gliessman, 2001).

A matéria orgânica participa da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo com a manutenção e aumento da estabilidade estrutural, com aporte de elementos minerais - nitrogênio, fósforo, potássio e outros micronutrientes - assim como de compostos de carbono, fonte de energia para a microvida (Chaves & Oba, 2004).

A alta correlação com boro (0,974) indica que esse elemento é responsável pela ativação dos reguladores de crescimento (Gliessman, 2001). Contudo, não indica que adubar o solo com boro vai garantir o desenvolvimento de araucária, mas que o solo deve conter esse elemento, pois sua presença está agregada a outras características físicas e químicas do solo, bem como a fatores climáticos. Os elementos boro, zinco e cobre são importantes para fotossíntese, metabolismo do nitrogênio e associação com fungos metabólicos (Odum, 1988).

Esses resultados condizem com estudos anteriores de Van Goor (1965), De Hoog & Dietrich (1979), Cassol (1982) e Hoppe (1980), salientam que o crescimento da araucária é dependente da quantidade de matéria orgânica, teor de Ca, saturação de bases alta ( $> 60\%$ ) e Mg.

Em florestas, entre 80% e 100% do aporte de Ca, Mg, K e P são derivados do intemperismo de rochas (Haag, 1985). O conjunto serapilheira-solo não só

representa uma fonte de carbono e energia para os organismos do solo, mas também ao habitat onde todas as ações dos organismos ocorrem. Vários fatores afetam a quantidade de resíduos que irão formar a serapilheira, entre eles destacam-se: o clima, o solo, as características genéticas da planta, a idade e a densidade de plantas. Em escala mais ampla, a produtividade vegetal é determinada pela distribuição das chuvas, que exerce forte influência sobre a disponibilidade de água no solo e, por conseguinte, sobre a disponibilidade de nutrientes. (Correia & Andrade, 1999). Isso pode ser observado pelos altos valores de significância, entre 30% (Ca) a 51% (B), verificados na Tabela 49.

O volume e a relação hipsométrica apresentaram correlação negativa com pressão atmosférica (-0,521), temperatura média máxima (-0,811), máxima absoluta (-0,507), insolação (-0,727), e potássio (-0,994), indicando que quanto maior o valor desses fatores climáticos, menor o crescimento em volume, retardando o desenvolvimento da espécie.

Os elementos Potássio (K), zinco (Zn), cobre (Cu), enxofre (S), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), apresentaram correlação positiva com pressão atmosférica, temperatura média máxima, máxima absoluta e insolação. Os valores de correlação para o K foram: PAT(0,548), TMMax(0,839), TMMin(0,486), Maxa(0,545), INS(0,718); para Zn: PAT(0,905), TMMax(0,667), TMMin(0,725), Maxa(0,660); para Cu: PAT(0,906), TMMax(0,676), TMMin(0,727), Maxa(0,664), para o S: PAT(0,904), TMMax(0,662), TMMin(0,724), Maxa(0,658); para o Mg: PAT(0,907), TMMax(0,676), TMMin(0,727), Maxa(0,664); e, PAT(0,877), TMMax(0,569), TMMin(0,694), Maxa(0,614), para Ca.

A correlação positiva com esses fatores meteorológicos explica-se porque esses nutrientes encontram-se nos tecidos de vegetais, presentes na matéria orgânica, a qual necessita de insolação e altas temperaturas para decomposição, e, temperaturas mínimas para deposição, característico de florestas estacionais.

Os elementos que são menos móveis, como P, S, K, Ca, e a maior parte dos micronutrientes, são ciclados mais localmente, sendo o solo seu reservatório abiótico principal. Esses nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas, e retornados finalmente ao solo, dentro do mesmo ecossistema, por decompositores (Gliessman, 2001).

O potássio é o segundo nutriente mineral requerido em maior quantidade pelas espécies vegetais, depois do N, e tem alta mobilidade na planta, em qualquer

concentração, seja dentro da célula, no tecido vegetal, no xilema ou floema. Esse nutriente não é metabolizado na planta e forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade, além de o íon mais abundante nas células vegetais (Marschner, 1995). Assim, as quantidades de K na parte aérea de plantas podem constituir numa fonte expressiva de nutriente para culturas subseqüentes, e a mineralização do K de restos de cultura (matéria orgânica) depositada na superfície do solo, pode ser relativamente rápida, pois esse nutriente permanece quase que totalmente na forma iônica, dentro do tecido vegetal.

O K do solo, por sua vez, é formado pelo K da solução, K trocável, o K não trocável (fixado) e o K estrutural. O suprimento de K para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (Rosolem et al., 2006)

A função do potássio parece ser principalmente reguladora, ele está envolvido, por exemplo, na regulação osmótica e é um co-fator para muitos sistemas enzimáticos. Sabe-se muito sobre onde o potássio ocorre na planta, mas bem menos o que ele realmente exerce. A maior parte dos processos metabólicos que foram estudados é afetada pelo potássio. No metabolismo das proteínas, parece que o K ativa certas enzimas responsáveis pela síntese de ligação de peptídeos e pela incorporação de aminoácidos à proteína. O K precisa estar presente para a formação de amidos e açúcares, bem como para seu ulterior transporte através da planta.

Ele é necessário para a divisão e o crescimento das células e está, de alguma forma, ligado com sua hidratação e permeabilidade. As plantas mostram melhor resistência a doenças e a estresses ambientais quando há um fornecimento adequado de potássio. Quando há deficiência, as plantas mostram principalmente quebra de equilíbrio hídrico, que inclui pontas secas ou bordas de folhas crespas e, às vezes, uma predominância mais alta de apodrecimento de raízes (Gliessman, 2001).

O cálcio e o magnésio, quando estão em falta no solo, o desenvolvimento da planta sofre e rapidamente aparecem sintomas de deficiência. O cálcio e o magnésio são absorvidos prontamente pelas raízes das plantas através da troca de cátions, como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

#### **4.8 Variação no incremento corrente anual devido aos fatores ambientais**

Após o estudo da análise de correlação, obteve-se prévia informação de quais variáveis ambientais influenciavam diretamente no incremento corrente anual. O próximo passo consistiu em gerar no SAS, pelo procedimento stepwise, quais as variáveis que iriam determinar o modelo de regressão. Trabalhou-se com o incremento corrente anual, para o período em estudo, para os três locais. Optou-se pelo incremento corrente anual porque ele expressa o real crescimento em volume, pois pode alterar-se conforme o crescimento da árvore, para mais ou para menos, nos dando uma idéia da variação no crescimento.

O método stepwise foi utilizado por permitir verificar a precisão estatística com a inclusão de uma nova variável no modelo e a sua influência na precisão se for retirada do modelo, testando outras possibilidades de variáveis a serem incluídas no processo.

Na Tabela 50 são apresentados os passos do procedimento stepwise e os parâmetros estatísticos da escolha das variáveis ambientais que integraram o modelo de regressão.

Tabela 50 – Coeficientes do modelo de regressão e parâmetros estatísticos da equação do incremento corrente anual em função dos fatores ambientais.

Passo	Variável	Coeficiente	$S_{yx}$	F	$R^2_{aj}$	CV %	F (mod)
1	Intercepto K	$b_0: 0,7255$ $b_1: -0,0097$	0,0154 0,0003	2212,1 1123,4	0,8808	43,29	1123,4
2	Intercepto TMMin K	$b_0: -0,0368$ $b_1: 0,0592$ $b_2: -0,0104$	0,162 0,0125 0,0003	0,05 22,3 1128,3	0,8962	20,4	651,6
3	Intercepto TMMin PP K	$b_0: -0,0484$ $b_1: 0,0513$ $b_2: 0,00006$ $b_3: -0,0103$	0,159 0,0129 0,00003 0,0003	0,09 15,9 5,1 1103,5	0,8996	16,9	447,8
4	Intercepto TMMax TMMin PP k	$b_0: -0,517$ $b_1: 0,0458$ $b_2: 0,0076$ $b_3: 0,00009$ $b_4: -0,0114$	0,2782 0,0224 0,0249 0,00003 0,0006	3,45 4,19 0,09 8,10 340,4	0,9023	14,45	344,0
5	Intercepto TMMax PP K	$b_0: -0,5533$ $b_1: 0,0517$ $b_2: 0,00008$ $b_3: -0,0115$	0,2504 0,0114 0,00003 0,0005	4,88 20,47 10,96 564,61	0,9022	12,56	461,4
6	Intercepto TMMax PP INS K	$b_0: -0,4016$ $b_1: 0,055$ $b_2: 0,00006$ $b_3: -0,00009$ $b_4: -0,0111$	0,2618 0,0115 0,00003 0,00005 0,0005	2,35 22,94 4,75 3,38 426,9	0,9044	11,0	352,4
7	Intercepto PAT TMMax PP INS K	$b_0: 0,284$ $b_1: -0,0012$ $b_2: 0,0754$ $b_3: 0,00007$ $b_4: -0,0001$ $b_5: -0,0112$	0,3945 0,0005 0,014 0,00003 0,00005 0,0005	0,52 5,28 27,47 5,10 5,54 442,7	0,9077	7,69	291,1
8	Intercepto PAT TMMax Maxa PP INS K	$b_0: 0,384$ $b_1: -0,0014$ $b_2: 0,0647$ $b_3: 0,0095$ $b_4: 0,00006$ $b_5: -0,0001$ $b_6: -0,0111$	0,3951 0,0005 0,0154 0,0052 0,00003 0,00005 0,0005	0,94 6,96 17,58 3,37 4,18 5,24 443,9	0,9098	6,34	247,0

Tabela 50 – Coeficientes do modelo de regressão e parâmetros estatísticos da equação do incremento corrente anual em função dos fatores ambientais. Continuação...

9	Intercepto	b <sub>0</sub> : 0,3073	0,3966	0,6	0,9112	6,1	213,96
	PAT	b <sub>1</sub> : -0,0019	0,0007	9,10			
	TMMMax	b <sub>2</sub> : 0,068	0,0155	19,23			
	Maxa	b <sub>3</sub> : 0,0096	0,0052	3,45			
	U	b <sub>4</sub> : 0,0072	0,0048	2,32			
	PP	b <sub>5</sub> : -0,00004	0,00003	1,19			
	INS	b <sub>6</sub> : -0,00009	0,00006	2,48			
	K	b <sub>6</sub> : -0,0106	0,0006	278,8			
10	Intercepto	b <sub>0</sub> : 0,3459	0,3953	0,77	0,9105	5,23	249,1
	PAT	b <sub>1</sub> : -0,0022	0,0006	12,27			
	TMMMax	b <sub>2</sub> : 0,0695	0,0155	20,19			
	Maxa	b <sub>3</sub> : 0,0102	0,0051	3,95			
	U	b <sub>4</sub> : 0,0097	0,0042	5,33			
	INS	b <sub>5</sub> : -0,00009	0,00006	3,18			
	K	b <sub>6</sub> : -0,0103	0,0006	309,4			

Sendo: K= potássio; PP= precipitação em milímetros; PAT= pressão atmosférica em mb; TMMMax= temperatura média máxima em °C; TMMMin= temperatura média mínima em °C; Maxa= temperatura máxima absoluta em °C; U= umidade relativa do ar em %; INS= insolação em horas e décimos de horas; S<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa; F= valor da estatística de F; R<sup>2</sup>aj.= coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em porcentagem, F(mod): valor de F do modelo.

No passo 1 (step 1) foi tomado a variável K por ter maior correlação simples com a variável dependente, com um F de 1123,4, no passo 2 (step 2) foi adicionado a variável TMMMin, com um valor de F de 22,3, no passo 3 (step 3) a variável PP, com F de 5,1, no passo 4 (step 4) a variável TMMMax com valor de F de 4,19, no passo 5 (step 5 ) a variável TMMMin foi removida, no passo 6 (step 6) a variável INS foi adicionada com valor de F de 3,38, no passo 7 (step 7) foi introduzida a variável PAT com valor de F de 5,28, no passo 8 (step 8) a variável Maxa com valor de F de 3,37, no passo 9 (step 9) a variável umidade (U) com valor de F de 2,32 e no passo 10 retirou a variável PP.

Observa-se que com 10 passos o procedimento stepwise chegou a resolução do modelo com as variáveis que obtiveram significância até 0,15. São apresentados os valores de F para cada variável e para o modelo. A seleção também conferiu altos valores para o coeficiente de determinação, maior que 0,87 e baixos valores para o coeficiente de variação.

Na Tabela 51 apresenta-se o resumo estatístico da seleção stepwise, para volume em função das variáveis ambientais. Observa-se que o B (boro) foi o elemento com maior significância, com probabilidade de F <0,0001, e maior valor do

coeficiente de determinação (0,9796), indicando que somente esse elemento poderia constar no modelo de regressão para explicar o crescimento em altura.

Tabela 51 – Resumo estatístico da seleção stepwise.

Variável	R <sup>2</sup> -Parcial	R <sup>2</sup> - Modelo	CV%	F	Prob > F
K	0,8808	0,8808	43,29	1123,4	<0,0001
TMMax	0,0027	0,9023	14,5	4,19	0,0425
INS	0,0022	0,9044	11,0	3,38	0,0681
PAT	0,0033	0,9077	7,7	5,28	0,0229
Maxa	0,0021	0,9098	6,3	3,37	0,0683
U	0,0014	0,9112	6,1	2,32	0,1301

Sendo: K= potássio; PAT= pressão atmosférica em mb; TMMax= temperatura média máxima em °C; Maxa= temperatura máxima absoluta em °C; U= umidade relativa do ar em %; INS= insolação em horas e décimos de horas; F= valor da estatística de F; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; CV%= coeficiente de variação em porcentagem.

Pelo procedimento de seleção stepwise, os fatores K, TMMax, INS, PAT, Maxa e U, foram significativos, com probabilidade menor que 0,15, compondo o modelo de regressão do crescimento em incremento corrente anual em volume, agregado a fatores ambientais.

O modelo de regressão final com todas as variáveis ambientais é expresso como segue:

$$ICA = 0,3459 - 0,022 \cdot PAT + 0,0695 \cdot TMMax + 0,0102 \cdot Maxa + 0,0097 \cdot U - 0,00009 \cdot INS - 0,0103 \cdot K$$

Este modelo de regressão definido apresentou um coeficiente de determinação de 0,9112 e coeficiente de variação de 6,1%.

Com esta equação os valores do incremento corrente anual foram recalculados e plotados na Figura 53.

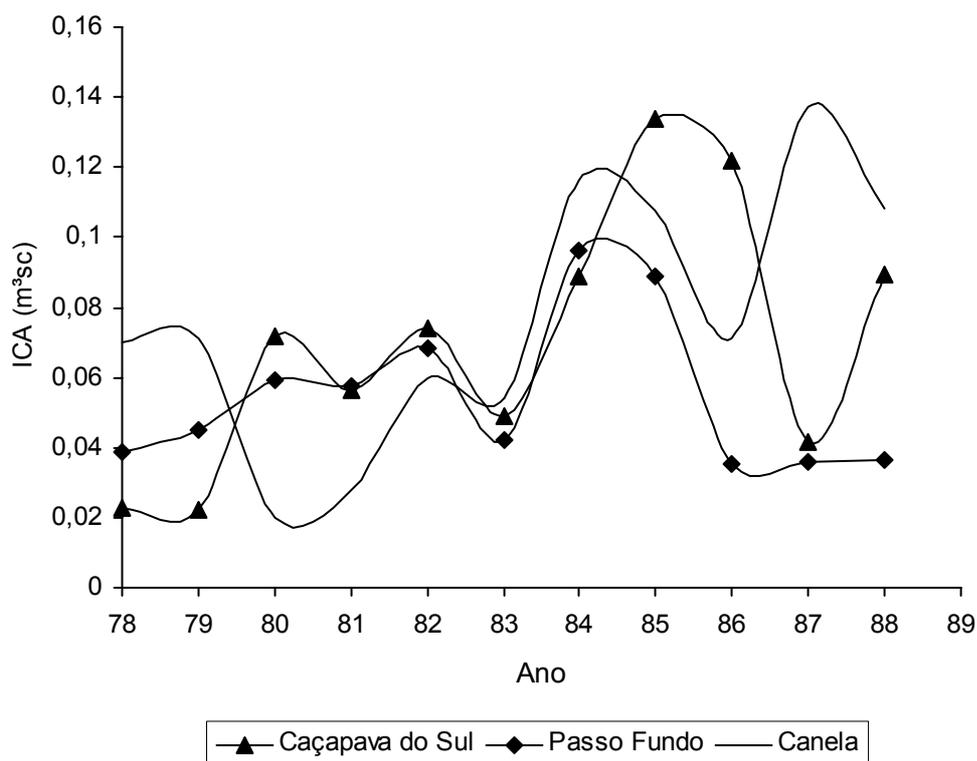


Figura 53 – Variação do incremento corrente anual influenciado pelos fatores ambientais, para *Araucaria angustifolia*, nos três locais de estudo.

Analisando-se a Figura 53, observa-se que em cada região ocorreram variações no valor do incremento corrente anual, que podem ser explicadas pelas mudanças que ocorrem nos fatores ambientais.

Nota-se que, apesar de se tratar de locais diferentes, apresentam semelhança na variação do incremento corrente anual, isto é, possuem variação semelhante para os fatores abióticos do meio ambiente.

Observa-se ainda, na Figura 53, que existem variações no ambiente, mas que são duradouros para alguns períodos de anos, como pode ser visto para Passo Fundo nos anos de 78 a 82, enquanto nos outros locais, Caçapava do Sul e Canela, há queda e ascensão ano após ano, indicando uma maior variabilidade no crescimento dada pelas mudanças nos fatores ambientais.

Dessa forma, observa-se que há uma constante de distribuição nos fatores ambientais abióticos no tempo. Denotando a inter-relação do crescimento com fatores ambientais (relação entre fatores abióticos com bióticos), pois, quando mudou algum fator do ambiente, ocorreu uma modificação nos fatores do habitat, o que modificou o comportamento da espécie, mesmo se tratando de locais

## 5 CONCLUSÕES

As equações testadas para estimar o crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade apresentaram bom ajuste. A análise gráfica das estimativas sobre a variação dos resíduos entre os valores observados e estimados não apresentou desvios sistemáticos. A verificação dos fundamentos biológicos dos modelos mostrou que as estimativas apresentaram-se biologicamente consistentes, com estimativas concordantes com a teoria e os resultados obtidos até o presente pela ciência florestal.

Os resultados da análise de crescimento dos parâmetros diâmetro, altura e volume em função da idade demonstraram que a espécie nos locais estudados tem incrementos significativos, quando para a Serra do Sudeste aos 60 anos, o volume sem casca médio foi igual a 0,6866 m<sup>3</sup>, para o Planalto médio foi igual a 0,5062 m<sup>3</sup>, e, para a Encosta Superior do Nordeste foi igual a 0,6656 m<sup>3</sup>. Com incremento médio anual em volume sem casca de 0,0159 m<sup>3</sup>/ano para a Serra do Sudeste, de 0,0126 m<sup>3</sup>/ano para o Planalto Médio e de 0,0169 m<sup>3</sup>/ano na Encosta Superior do Nordeste.

O crescimento comparado para o conjunto dos locais demonstrou que *Araucaria angustifolia* possui mesmo padrão de crescimento (forma sigmóide da curva), nos três locais estudados, variando entre os parâmetros analisados. De maneira geral, os resultados comprovaram que a espécie tem típico padrão de crescimento (sigmóide) nos três locais de estudo, porém diferenciado, para cada parâmetro dendrométrico analisado, podendo-se cultivá-la com expectativa de retorno econômico. Serra do Sudeste, em seu primeiro estudo apresentou semelhança no crescimento para araucária, que os demais locais anteriormente estudados, indicando ser espécie de ocorrência natural, podendo-se cultivá-la economicamente.

A análise de covariância comprovou que para os três locais e para as três variáveis dendrométricas analisadas, a hipótese de inclinação e de nível é rejeitada, demonstrando assim haver diferença na capacidade produtiva e em crescimento para *Araucaria angustifolia*.

Para confirmar a hipótese da diferença de crescimento, realizou-se análise do crescimento com variável dummy, com a qual se obteve equações de crescimento diferenciadas para cada região em diâmetro, altura e volume em função da idade, minimizando erros de estimativa.

A análise de correlação foi utilizada para estudar a importância das variáveis ambientais e nutrientes do solo que mais interferem no crescimento em volume.

Os resultados verificaram existir correlação positiva do volume com umidade (0,671), altitude (0,757), teor de argila (0,79), matéria orgânica (0,847) e teor de boro (0,974). Esses dados fornecem o conjunto de variáveis do meio ambiente que podem ser utilizados para a formulação de um modelo de regressão para estudar o crescimento agregado às condições do ambiente.

A criação de modelos de regressão com variáveis ambientais para incremento corrente anual resultou na existência de variação no incremento ano após ano, denotando diferença no crescimento, sendo diretamente influenciada pelas variações nos fatores ambientais (climáticos), bem como dos nutrientes do solo.

Com o agregado de resultados, sua verificação e análise, conclui-se que *Araucaria angustifolia* apresenta curva típica de crescimento em todos os locais do estudo. Assim, dada à importância econômica da espécie, sua quase extinção como floresta natural, as restrições legais, a excelente qualidade, trabalhabilidade da madeira, a sustentabilidade social, oferta de emprego e desenvolvimento de áreas rurais, afirma-se que investir no plantio dessa espécie em qualquer um dos locais do estudo significa investimento e retorno econômico.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEMDAG, I. S. National side-index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canadá. **Canadian Journal of Forest Research**, v.21, n.10, p.1466-1474, 1991.
- ANDRAE, F. H. **Ecologia florestal**. Santa Maria: UFSM, 1978. 230 p.
- ANDRAE, F. H., KRAFPFENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de Araucária de 17 anos, em Passo Fundo – RS: inventário de nutrientes. In: PESQUISAS AUSTRO-BRASILEIRAS 1973-1982 SOBRE *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*, 1983, Santa Maria. **Proceedings...**Santa Maria: Imprensa Universtária, 1983. 112 p.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yeld study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- EVERY, T. E., BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 4.ed. Boston: Mcgraw-Hill, 1994. 400p.
- BARROS, N. F. **Contribuição ao relacionamento de características pedológicas e topográficas com a altura de *Eucalyptus alba*, na região de Santa Bárbara**. 1974. 89p. Dissertação Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1974.
- BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. de, CARMO, D. N. et al .Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, v.10. n.1, p.112-120, 1986.
- BELTRAME, L. F. S., GOMES, L. A. P., TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação do solo. **Revista Brasileira do solo**. v.5, n.3, p.145-149, 1981.
- BLUM, W. E. H. Site-nutrition-growth interrelationship of Araucárias. In: PROBLEMAS FLORESTAIS DO GENÊNRO ARAUCÁRIA, 1980, Curitiba. **Proceedings...** Curitiba: FUPEF, 1980. p.119-130.
- BRAGA, F. A. **Uso da análise discriminante na identificação de características ambientais determinantes da capacidade produtiva de povoamentos de**

**eucalipto**.1997, 64p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

BRDE. Florestamento na Região Sul do Brasil – Uma Análise Econômica. **Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul**, Setembro/2003. 51 p.

BRENA, D. A., BOM, P. B. **Modelos de crescimento e produção florestal**. Curitiba: {s.n}, 1991. 111p.

BRENA, D. A. **A floresta de araucária e transições** - site 9.; 2002; Capítulo; Os sites e o programa brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração.; SEELIGER, Uleich; CARDOSO, César; BARBOSA, Francisco; 1; PELD; Belo Horizonte; BRASIL; 184; 1.

Disponível

em:

[http://www1.capes.gov.br/estudos/dados/2002/42002010/042/2002\\_042\\_42002010015P6\\_Prod\\_Bib.pdf](http://www1.capes.gov.br/estudos/dados/2002/42002010/042/2002_042_42002010015P6_Prod_Bib.pdf)

BRITEZ, R. M., REISSMAN, C. B., SILVA, S. M., SANTOS FILHO, A. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, p.766-772, 1992.

BRUM, E. T. **Relações entre a altura dominante e fatores do sítio, em povoamentos de *Pinus elliottii*. Engelm. Na região de Ponte Alta do Norte, SC**. Curitiba: UFPR, 1979, 197p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1979.

CARDENAS, A. C. **Exportação de nutrientes e produtividade de povoamentos de eucalipto no litoral do norte do Espírito Santo**. Viçosa, 1987. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

CARMEAN, W. H. Soil survey refinements for predicting black oak site quality in Southeastern Ohio. **Soil Science Society America Proceedings**, v.31, n.6, p.805-810, 1967.

CARMEAN, W. H. Forest site quality evaluation in the United States. **Advances in Agronomy**, v.31, p.209-269, 1975.

CARRARO, C. C., GAMERMANN, N., EICK, N. C. *et al.* **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS, 1974. 29p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília, DF: EMBRAPA – SPI, 1994. 640 p.

CASSOL C. A. **Relações entre características do solo, crescimento e produtividade em povoamento implantados de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Passo Fundo – RS.** Santa Maria: UFSM, Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1982.

CHARNET, R. et al. **Análise de modelos de regressão linear com aplicações.** Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999.

CHAVES, A. P., OBA, C. A. I. **Coletânea fertilizantes VI: crítica ao modelo brasileiro de fertilizantes de alta solubilidade.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 25p.

Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/publicacoes/CETEM\\_SED\\_63.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacoes/CETEM_SED_63.pdf)

COILE, T. S. Soil and the growth of forest. **Advances in Agronomy**, v.4, p.330-398, 1952.

COREY, R. B. Factores affecting the availability of nutrients to plants. In: WALSH, L. M. & BEATON, J. D. **Soil testing and plant analysis.** Madison, Soil Science. Soc. A. Cap.3:23-34p., 1973.

CORREIA, M. E. F., ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F. A. D. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistema tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. 490p.

Disponível em: [http://www.editora.ufla.br/Boletim/pdf/bol\\_65.pdf](http://www.editora.ufla.br/Boletim/pdf/bol_65.pdf)

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística.** Editora Edgard Blücher. São Paulo. 1977. 264 pp

DANIEL, T.W., HELMS, J. A., BAKER, F. **Principles of silviculture.** New York: Mc Graw-Hill, 1979, 500p.

DAVIS, K. P. **Forest management, regulation and evaluation.** New York: Mc Graw Hill, 1966, 519p.

De BRITZ, R. M. **Conservação da Floresta com Araucária no Paraná.** 2003.

Disponível em: <http://www.redeprouc.org.br/news.asp?codigo=44>

De HOOGH, R. J., DIETRICH, A. B., AHRENS, S. Classificação de sítio, tabelas de volume e produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Brasil Florestal**, n. 9, v. 36, p.58-72, 1978.

De HOOGH, R. J., DIETRICH, A. B. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 10, n. 37, p. 19-71, 1979.

De HOOG, R. J., VAN GOOR, C. P., BLUM, W. E. H. Response of planted *Araucaria angustifolia* to N, P, K, Ca and B fertilization, 3 and 7 years after application. In: PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO ARAUCÁRIA, 1980, Curitiba. **Proceedings...** Curitiba: FUPEF, 1980. p.136-144.

DE HOOG, R. J. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In southern Brazil.** Freiburg: UF, 1981. 161 p. Dissertação (Doutorado) – Universität Freiburg, 1981.

DYE, P. J. Modelling growth and water use in four *Pinus patula* stands with the 3-PG model. **S. Afr. For. J.** n. 191, p.56-63, 2001.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** Brasília: EMBRAPA. 1999. 412 p.

EVANS, J. Long-term productivity of forest plantations - status in 1990 In: **IUFRO WORLD CONGRESS**, 19, Montreal, 1990. Proceedings. Ottawa: Acart Graphic Services Inc., 1990, v.1/1, p.165-80.

FABRES, A. S., BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. Produtividade e exportação de nutrientes em eucalipto e identificação de sítios visando o manejo do solo e o manejo florestal em áreas da CENIBRA. **Relatório Anual/Programa 86-87**, Viçosa: Convênio SIF/UFV, 1987. 142p.

FARNSWORTH, C. E., LEAF, A. L. An approach to soil site problems: sugar maple-soil relations in New York. In: NORTH AMERICAN FOREST SOILS CONFERENCE, 2., Corvallis, 1963. **Forest-soils relationships in North America.** Corvallis: Oregon State University Press, 1963. p.279-298.

FEE. **O Rio Grande do Sul e sua população.** Porto Alegre: FEE, doc. n. 51, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Report of the second session of the FAO panel of expert on forest gene resources.** Roma: Forest Genetic Resources, 1972. 68 p.

GABELMAN, W. H., LOUGHMAN, B. C. Editorial. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRITION, 2., 1985, Madison. **Proceedings...** Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p1-4.629p.

GARCIA Y GARCIA, A. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e resposta espectral da cultura de feijão irrigado, em imagens digitais.** Piracicaba, 1997. 79p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- GATTO, A. **Manejo do solo em áreas de reforma de floresta de eucalipto e seus reflexos na produtividade.** Viçosa, 2000, 62p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- GESSEL, S. P. Progress and problems in mineral nutrition of forest trees. In: KOZLOWSKI, T. T. **Tree growth.** Ronald Press. New York, 221-246p. 1962.
- GHOLZ, H. L., EWEL, K. C., TESKEY, R. O. Water and forest productivity. **Forest Ecology and Management**, v.30, p.1-18, 1990.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 653p.
- GOLFARI, L. Coníferas aptas para reprobaciones forestales en el estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.6, p. 7-62, 1967.
- GONÇALVES, J. L. M. Interpretação de levantamento de solo para fins silviculturais. **IPEF**, v.39, p.65-72, 1988.
- GONÇALVES, J. L. M. **Interações genótipo-ambiente e relação entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1990. 135p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.
- GOOR, C. P. V. Aspectos ecológicos dos plantios na região sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*. **Boletim Serviço Florestal**, n.9, p.1-58, 1965a.
- GOOR, C. P. V. Reflorestamento com coníferas no Brasil. **Boletim Setor de Inventários Florestais**, v.9, p.1-58, 1965b.
- GUADAGNIN, D. C., LAROCCA, J. SOBRAL, M. Flora vascular de interesse para a conservação da bacia do Arroio João Dias: Avaliação Ecológica Rápida. In: **Minas do Camaquã.** (L. R. RONCHI & LOBATO, A. O. C., orgs.) Unisinos, São Leopoldo, 2000. p71-84.
- GULDIN, J. M., BAKER, J. B., LOCKHART, B. R. Evaluation of four soil-site index estimators for Loblolly Pine in the West Gulf region. In: **Proceedings** of Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference. Memphis, Tennessee, v.1, p.489-493, 1988.
- HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.** Campinas: Fundação Cargil, 1985. 144p.

HANNAH, P. R. **Topography & soils relations for white and black oak in Southern Indiana**. Washington: Forest Service, 1968b. 7p. (Research Paper, NC-25).

HANNAH, A. Y., HARLAN, P. W., LEWIS, D. T. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. **Agronomy Journal**, v.74, p.999-1004, 1982.

HOLDRIDGE, L. R. **Ecologia basada en zonas de vida**. San Jose: IICA, 1978, 216p.

HOPPE, J. M. **Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de incremento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., na FLONA de Passo Fundo, RS**. Curitiba: UFPR, 1980. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Paraná, 1980.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígono, 1972. 239 p.

HUSCH, B., MILLER, I. C., BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: John Wiley, 1982. 402p. v.43, p.57-95, 1982.

**Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro, v.33, IBGE, 1986. 796p.

**IBGE**. Site institucional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [Rio de Janeiro]: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 22/05/2005.

**IBGE**. **Mapas Temáticos**. [Rio de Janeiro]: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005a. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas\\_e\\_Mapas/Mapas\\_Tematicos/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Tematicos/)>. Acesso em: 30/04/2005.

**IBGE**. Banco de Dados Agregados. Estatísticas da Produção Extrativa Vegetal e da Silvicultura. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003 <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/>

IPAGRO. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1989. v.3.

JONAS, L. O. **Emprego de geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo**. Piracicaba, 2003. 220p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

KIVISTE, A.; GONZÁLES, J. G.; ALBORECA, A. R.; GONÇÁLEZ, A. D. R. **Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal**. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 2002. 190p.

- KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, 12: 17-44, 1960.
- KOCH, Z., CORRÊIA, M.C. **Araucária: A Floresta do Brasil Meridional**. Olhar Brasileiro. 2002. 148 p.
- KOEHLER, C. W., REISSMANN, C. B. Macronutrientes retornados com a serrapilheira de *Araucaria angustifolia* em função do sitio. **Revista do Instituto Florestal**, v.4, parte 2, p.645-8, mar.1992.
- KOZLOWSKI, T. Water supply and tree growth: water deficits. **Forest Abstract**, 1982.
- KRAMER, P. J., KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 745 p. 1972.
- LAMPRECHT, H. **Waldbau in den Tropen**. Hamburg un Berlin: Paul Parey Verlag, 1986, 318 p.
- LANDSBERG, J. J., WARING, R. H. **A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning**. For. Ecol. Manage. n. 95, p. 209-228. 1997.
- LANDSBERG, J. J., SANDS, P. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grow *Eucalyptus globules*. **Forest Ecology and Management**. n. 163, p.273-292, 2001. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/foreco>.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. New York: Springer-Verlag, 1975. 252p.
- LASSERE, S. R., VAIRETTI, M., LASSERE, E. N. E. Crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em distintos tipos de suelos de Puerto Piray, Misiones. **IDIA**, n. 7, p. 36-45, 1972.
- LINNARTZ, N. E. Relation of soil and topographic characteristics to site quality for southern pines in the Florida Parishes Lousiana. **Journal of Forestry**, v.61, n.6, p.434-437, 1963.
- LOETSCH, F.; ZOHER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Berlim: BLV. v.2. 1973. 469p.
- MITSCHERLICH, G.; SONNTAG, G. Papelversuche: Modell für eine regenerata und Neupotz-papel-ertragstafel im Oberheingebiet. **Allg. Forst und Jg.** n.153, p. 213-219. 1982.
- MACHADO, S. A., MELLO, J.M. de, BARROS, D. A. de. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do paraná, na região sul do Brasil. **Cerne**. v.6, n.2, p.55-66, 2000.

- MALAVOLTA, E. et al. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo. Ed. Pioneira. 742p. 1974.
- MARSCHNER, H. **Functions of mineral nutrients: macronutrients**. In: MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. p.231-255.
- MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. Curitiba: Grêmio Politécnico, 1972. 648 p.
- MCLEAN, E. O. Testing soils for ph and lime requirement. In: WALSH, L. M. & BEATON, J. D. **Soil testing and plant analysis**. Madison. Cap. 7:77-96p., 1973.
- MENDES, J. B. **Incentivos e mecanismos financeiros para o manejo florestal sustentável na região sul do Brasil**. R03\_FAO\_Mecanismos Financeiros. Curitiba. 6 Fevereiro de 2004.143p.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 41p.
- MOTA, F. S., BEIRSDORF, M. I. C., GARCEZ, J. R. B. **Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina: normais agroclimáticas**. Pelotas: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul, 1971. v.1.
- NAMBIAR, E. K. S. Significance of first-order lateral roots on the growth of young radiata pine under environmental stress. **Australian Forest Research** v.14, p.187-199, 1984.
- NEWBERRY, J. D., PIENAAR, L. V. **Dominant height growth models and site index curves for site-prepared slash pine plantations on the lower coastal plain of Georgia and North Florida**. Georgia: School of Forest Resources, University of Georgia, 1978. 48p. (Research Paper, 4).
- NOBEL, P. S. **Introduction to biophysical plant physiology**. San Francisco: W. H. Freeman, 1974, 488p.
- NOVAIS, R. F., BARROS, N. F., NEVES, J. C. L. Nutrição mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.
- ODUM. E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.
- OLIVEIRA, A. B. As regiões de ocorrência normal de *Araucaria angustifolia*. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**. Rio de Janeiro, v. 1, p. 185-199, 1948.
- OLIVEIRA, R. A. de. **Classificação de sítios em plantações de eucalipto pelo método de índices de local e por classe de solo e de precipitação**, 1998, Viçosa. 84p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

- OLIVER, C. D., LARSON, B. C. **Forest stand dynamics**. New York: Jhon Wiley & Sons, 1996.571p.
- PAWLUK, S., ARNEMAN, H.F. Some forest soil characteristics and their relationships to jack pine growth. **Forest Science**, v.7, n.2, p.160-173, 1961.
- PEREIRA, J. S. Relações hídricas das árvores. **Agronomia Lusitana**, v.39, n.2/3, p.155-173, 1979.
- PRODAN, M. **Forest biometrics**. Ney York: Pergamon Press. 1968. 447 p.
- RALSTON, C. W. **Evaluation of forest site productivity**. In: ROMBERGER, T. A., MIKOLA, P. International review of forest research. New York: Academic Press, v.1, p.171-201, 1964.
- REIS, M. G. F., BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. p.265-301.
- RENNIE, P. J. Methods of assessing forest site capacity. **Commonwealth Forest Review**, v.42, n.114, p.306-317, 1963.
- RESENDE, M. Aplicação de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, v.11, n.128, p.3-18, 1985.
- RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos florísticos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições, 1997. 747p.
- RODRIGUEZ, L. C. E. **Gerenciamento da produção florestal**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba (13): 1-41, Mai.1991. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap13.pdf>.
- ROSAS, M. P. **Alternativas de determinação da idade técnica de corte de *Eucalyptus urophylla***. Viçosa, 1994. 85p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- ROSOLEM, C. A., SANTOS, F. P. dos, FOLONI, J. S. S., CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.41, n.6, jun. 2006. p.1033-1040. Disponível em: <http://atlas.sct.embrapa.br/pdf>
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **J. Agr. Pres.** USDA. v.46, n. 7, p.62-638. 1959.
- RUSSEL, W. Site determination, classification and application. **Journal of Forestry**, 15(5): p.552-563, 1917.

- SALAS, G. Factores edaficos y climaticos em la classification de sitios forestales. Colômbia: Bosques de Colômbia, 1974. v.1.
- SALATI, E., VOSE, P.B. Amazon basin: A system in equilibrium. **Science**, v.225, n.4658, p.129-38, 1984.
- SANDS, R., MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, v.30, p.91-111, 1990.
- SAS INSTITUTE. **SAS Procedures Guide, version 6.12**: Software de análise estatística (software). 3 ed. Cary, NC: SAS Institute, 1993, 1022p.
- SBS**. O Setor Florestal Brasileiro: Fatos e Números. Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2003.
- SCHNEIDER, P. R., **ANATRO**: programa de computador, ambiente MS-DOS. Santa Maria, 1984.
- SCHNEIDER, P. R., BRENA, D. A., FINGER, C. A. G. **Manual para coleta de informações dendrométricas**. Santa Maria: UFSM/CEPER/FATEC, 1988. 28P. (Série Técnica, 4).
- SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998.
- SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1993. 348p.
- SCHONAU, A. P. G. Problems in using vegetation or soil classification in determining site quality. **South African Forestry Journal**, n.141, p.13-18, 1987.
- SCHWEINBRUGER, F. H. **Tree rings and environment dendroecology**. Viena: Haupt. 1996. 609p.
- SEMA-RS**. Site institucional. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/index.htm>>. Acesso em: 22/04/2005.
- SHORTER, T. D. **Efeitos do clima e do solo sobre o desenvolvimento de clones de *Eucalyptus* spp no sul da Bahia sobre interações genótipo-ambiente**. Piracicaba, 1993. 220p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SIMÕES, J. W. **Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, cultivado em vaso**. Piracicaba: ESALQ / USP, 1972.102p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1972.

- SIMÕES, J. W., COUTO, H. T. Z. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do Pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. cultivado em vaso. **IPEF**, Piracicaba, v.7, p.3-40, 1973.
- SMITH, D. M., LARSON, B. C., KELTY, M. J. et al. **The practice of silviculture**. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 518p.
- SOUZA, C. C. de. **Modelo de crescimento com variáveis ambientais, para o ipê felpudo em diferentes espaçamentos**. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004. 96p.
- SOUSA, V. A. **Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2000. 161 p. Thesis (PhD) – Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen.
- SPURR, S. H., BARNES, B. V. **Forest ecology**. Ronald Press Company, 1980. 517p.
- STUART CHAPIN, F. III. Adaptations and physiological responses of wild plant to nutrients stress. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRIENT, 2., 1985, Madison. **Proceedings...** Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p.15-25. 629p.
- TEDESCO, M. J., GIANELLO, C. BISSANI, C. A. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- TEIXEIRA, J. B. **Efeito do déficit hídrico sobre a fotossíntese, a respiração e a eficiência no uso da água, em seis espécies de leguminosas forrageiras**. Viçosa, 1978. 45p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- TEIXEIRA, M. B., COURA NETO, A. B., PASTORE, U., RANGEL FILHO, A. L. R. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: **Levantamento de recursos naturais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1986, v.33, p.541-632.
- TORRADO, P. V. **Relações solo x relevo em Mococa (SP): Influência das características topográficas e posição na vertente nos atributos do solo**. Piracicaba, 1989. 205p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade Federal de São Paulo.

UFSM/SEMA-RS. **Inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM/SEMA-RS, 2001. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/>>. Acesso em: 29/07/2005.

VAN GOOR, C. P. **Reflorestamento com coníferas no Brasil: aspectos ecológicos dos plantios da região Sul, particularmente com *Pinus elliotti* e *Araucaria angustifolia***. Rio de Janeiro. Serviço Florestal do Ministério da Agricultura. Setor de Inventários Florestais (Boletim nº 9). 1965.

VENCOVSKY, R. & BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto. 1992. 496 pp.

VELOSO, H. P., GÓES FILHO, L. Fitogeografia brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. Boletim Técnico Projeto Radambrasil, Série Vegetação v.1, p.1-80, 1982.

WHITMORE, T. C. **Tropical rain forest of Far East**. Oxford, 1975.

WIECHETECK & STEVENS, J. A. **The Forest Sector in Brazil: With Special Emphasis on the Southern Pine Plantations**. CINTRAFOR. Special Paper. 2001. 33-37p. Executive Summary em [http://www.cintrafor.org/RESEARCH\\_TAB/links/Sp/SP37.htm](http://www.cintrafor.org/RESEARCH_TAB/links/Sp/SP37.htm)

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

ZOTTL, H. W., TSCHINKEL, H. **Nutrition y fertilizacion forestal una guia practica**. Medellin. Universidade Nacional de Colombia. Departamento de Recursos Forestales, 111p. 1971.

**ANEXO 1 – Instrumento I**

## ANEXO 1

## INSTRUMENTO I

## Valores dos parâmetros ambientais obtidos junto ao 8º Distrito de Meteorologia do Estado do Rio Grande do Sul

Ano	PAT	TMMax	TMMin	Maxa	Santa Maria		PP(mm)	Evap(mm)	INS(horas)
					minA	u			
78	1002,7	25,2	14,1	37,2	-0,4	74	1253,7	847,7	2474,7
79	1002,8	24,5	14	38,5	-1,2	76	1586,3	967,1	2300,9
80	1002,1	25,5	14,5	36,6	-1	76	1366,8	854	2327,4
81	1002,6	25,6	15	34,6	-0,1	76	1380	987,3	2332,9
82	1002	25,4	14,9	36,3	1,4	77	2313,9	945,1	2297,6
83	1002	24,3	14,7	36,7	-0,5	78	1684,7	1032,3	1877
84	1001,6	24,6	14,6	37,5	0,5	80	2485,9	934,6	1987,2
85	1000,7	25,7	15,3	40,2	0,5	77	1869	1039,4	2342,5
86	998,3	25,6	15,2	39,4	0,5	77	2198,1	1045,6	2361,4
87	999,3	24,5	14,3	38	-0,1	78	2109,6	891,1	2327,7
88	916,8	23,6	13,5	35,8	-1,1	75	1584,6	820,3	2537,3
					Passo Fundo				
78	937,4	24,3	13,1	33,4	-0,4	68	1244,2	1627,9	2598,1
79	937,3	23,1	12,7	35,7	-0,7	72	1842	1562,9	2291,5
80	937,1	23,8	12,8	33,1	-2,5	72	1803,3	1615,9	2383,8
81	937,5	24	13,4	31,6	-3,8	72	1284,6	1622,3	2377,6
82	936,9	23,9	13,3	33,1	1,1	72	1680,4	1665,4	2367,2
83	936,6	22,5	13,3	33,1	0,1	76	2197,3	3612,5	2012,3
84	936,7	23,5	13,5	34,5	-1,2	74	2073,5	1567,4	2125,8
85	936,9	24,2	13,7	38,3	-1,6	67	1443,8	1758,5	2420,9
86	937,4	24,2	13,6	34,5	-1,4	65	1595,4	1641,7	2362,2
87	936,8	23,2	13,1	34,7	-1,5	73	2010,3	1479,4	2477,2
88	937,7	23,4	12,6	33,5	-2,4	70	1740,5	1610,4	2148,9
					Caxias do Sul				
78	926,3	20,4	11,4	31	-0,6	75	1135	1066,7	2126
79	929,6	20,1	11,6	31,4	-0,5	78	1515,8	762	1876,8
80	932,1	21,8	12,5	30,7	-2,8	77	1998,5	863,3	2010,1
81	930,1	21,9	13,1	30,8	-0,6	79	1584,9	870,6	2138,2
82	929,7	22,1	13,9	32,2	0,9	79	1441	793	1873,6
83	929,2	20,8	12,8	30,7	-0,1	83	2302,9	742,1	1743,9
84	929,2	22	13,4	33	-1,1	80	1725,4	609,4	1380,3
85	929,4	22,4	13,3	37,5	0	78	1691,7	918	2073,3
86	930,9	22,4	13,3	34	0,6	78	2111,8	896	2044,9
87	930,8	22	13,2	35	-0,1	82	1854,4	656,2	1548,9