

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

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Pinus taeda* L. NA  
REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RIO  
GRANDE DO SUL.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Luiz Ernesto Grillo Elesbão**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Pinus taeda* L. NA  
REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RIO  
GRANDE DO SUL.**

por

**Luiz Ernesto Grillo Elesbão**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

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

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

Elesbão, Luiz Ernesto Grillo 2008-

G626g

Crescimento e produção de *Pinus taeda* L. na região dos campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul. / por Luiz Ernesto Grillo Elesbão; orientador Schneider, Paulo Renato. – Santa Maria, 2008.

73 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2008.

1. Engenharia florestal 2. Manejo florestal 3. Crescimento 4. Produção 5. Desbaste 6. Área basal I. Schneider, Paulo Renato, orient. II. Título

CDU: 630.232

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

---

© 2008

Todos os direitos autorais reservados a Luiz Ernesto Grillo Elesbão. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Campus da UFSM, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97.105-960

Fone: (055)3220 8444.

---

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação  
de Mestrado

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO  
DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RIO GRANDE DO SUL.**

elaborada por  
**Luiz Ernesto Grillo Elesbão**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

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

**Enio Giotto, Prof. Dr. - UFSM**

**Frederico Dimas Fleig, Prof. Dr. - UFSM**

Santa Maria, 26 de agosto de 2008.

**Dedico...**

À minha família, pelo apoio sincero a minha capacitação florestal e aos meus pais, *in memorium*.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo ofereço a todos àqueles que acreditaram na minha capacidade de realização da pós-graduação em Engenharia Florestal e que entendem o reflexo da presente vitória.

Em especial, gostaria de externar meus agradecimentos:

- ao Prof. Dr. Paulo Renato Schneider, meu orientador, pela rara amizade e compreensão nas considerações finais do estudo;

- a Werner (in memorium) e Licie Hunsche, proprietários da Agropecuária Fazenda do Ipê, que me deram a grande oportunidade de manejar uma floresta pinus durante 20 anos, permitindo desenvolvimento de várias pesquisas, como o primeiro plantio em espaçamento 3 x 2 m no sul do Brasil.

- aos meus colegas e demais professores da Engenharia Florestal, pelas importantes observações de cunho temático, técnico e pessoais, durante o período de estudante do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais, na UFSM, quero exprimir meus agradecimentos.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO DOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA, RIO GRANDE DO SUL.

AUTOR: Luiz Ernesto Grillo Elesbão  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de agosto de 2008

Esta dissertação foi realizada com o objetivo de estudar o crescimento e a produção de um povoamento de *Pinus taeda* L., implantado em 1987, num espaçamento inicial de 3 x 2 metros, localizado na Agropecuária Fazenda do Ipê Ltda, no município de Canela-RS. Este povoamento foi manejado em sistema de alto fuste, com desbaste por baixo, para a produção de madeira de grandes dimensões. Para atingir aos objetivos propostos, foram formuladas duas hipóteses experimentais em população submetida a um e dois desbastes, além de uma testemunha, sem desbaste. Os desbastes foram realizados por baixo com redução da área basal para níveis de 28 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>. O crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores foi ajustado com ótima precisão pelo modelo de crescimento de Richards, apresentando um coeficiente de determinação sempre superior a 0,97 e um baixo erro padrão da estimativa. Aos 17 anos, a produção total das parcelas testemunhas, sem desbaste, foi de 886,3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>; com a realização de um desbaste foi de 756,6 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, tendo resultado perdas de produção em relação a testemunha de 14,6 %; com dois desbastes, a produção foi de 732,9 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, tendo provocado perdas de produção em relação à testemunha, sem desbaste, de 17,3 %. Os desbastes executados permitiram um ganho significativo em diâmetro, até os 17 anos de idade, com a execução de um desbaste, obteve-se um diâmetro médio de 33,4 cm; com dois desbastes, um diâmetro médio de 33,5 cm; e, um diâmetro médio de 24,3 cm na testemunha, sem desbaste.

**Palavras-chave:** crescimento, produção, desbaste, área basal, *Pinus taeda*.

## ABSTRACT

Master Degree Dissertation  
Post-Graduation Course in Forest Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **GROWTH AND YIELD OF *Pinus taeda* L. IN THE CAMPOS DE CIMA DA SERRA REGION, RIO GRANDE DO SUL.**

AUTHOR: Luiz Ernesto Grillo Elesbão  
ADVISOR: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider  
Date and Place of Defense: Santa Maria, August, 26<sup>th</sup>, 2008.

This thesis was carried through as objective to study the growth and the yield of a stand of *Pinus taeda* L., implanted in 1987, in an initial spacing of 3 x 2 meters, located in the Farming Farm of the Ipê Ltda, in the city of Canela-RS. This stand was management in high shaft system, with thinning underneath, for the wooden yield of great dimensions. To reach to the considered objectives two experimental hypotheses in submitted population to one had been formulated and two thinnings, beyond a control sample, without thinning. The thinnings had been carried through underneath with reduction of the basal area for levels of 28 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>. The growth in diameter, height and volume of the trees was adjusted with excellent precision for the Richards model of growth, presented a determination coefficient always superior of 0.97 and a low error standard of the estimate. To the 17 years, the total yield of the control sample, without thinning, was of 886.3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>; with the accomplishment of one it roughs-hew of 756.6 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, having resulting losses of yield in relation the 14,6% witness; with two thinnings, the yield was of 732.9 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, having provoking losses of yield in relation the control sample, without thinning, of 17.3%. The executed thinnings had allowed a significant profit in diameter, until the 17 years of age, with the execution of one thinning an average diameter of 33.4 cm; with two thinnings an average diameter of 33.5 cm; e, an average diameter of 24.3 cm in the control sample, without thinning.

**Key words:** growth, yield, thinning, basal area, *Pinus taeda*



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Modelos de equações testados para estimar a altura.....	31
TABELA 2 - Modelos de equações testados para estimar o volume.....	32
TABELA 3 - Equações utilizadas para descrever o crescimento em função da idade.....	33
TABELA 4 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para relação hipsométrica.....	40
TABELA 5 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para volume.....	42
TABELA 6 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o diâmetro, altura e volume de todas as árvores amostradas.....	44
TABELA 7 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o diâmetro, altura e volume das árvores dominantes.....	50
TABELA 8 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o diâmetro, altura e volume das árvores médias.....	51
TABELA 9 - Análise de covariância para o crescimento em diâmetro em função da idade por classe de tipo de árvore.....	52
TABELA 10 - Análise de covariância para o crescimento em altura em função da idade por classe de tipo de árvore.....	53
TABELA 11 - Análise de covariância para o crescimento em volume em função da idade por classe de tipo de árvore.....	53
TABELA 12 - Parâmetros estatísticos dos testes de validação dos modelos de regressão.....	54
TABELA 13 - Parâmetros dendrométricos das parcelas submetida a um desbaste, dois desbastes, com controle da área basal remanescente, e testemunha, aos 17 anos de idade.....	56
TABELA 14 - Freqüências absolutas por classe de diâmetro, nas populações manejadas com um e dois desbastes.....	58

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Perdas percentuais em incremento volumétrico devido a retirada, por desbaste, de valores relativos de área basal máxima da testemunha.....	24
FIGURA 2 - Localização da área de estudo.....	26
FIGURA 3 - Mapa climático do Rio Grande do Sul.....	28
FIGURA 4 - Resíduo da equação de relação hipsométrica de número 2.....	40
FIGURA 5 - Resíduo da equação de relação hipsométrica de número 7.....	41
FIGURA 6 - Resíduo da equação de volume de número 8.....	42
FIGURA 7 - Resíduo da equação de volume de número 6.....	43
FIGURA 8 - Distribuição dos resíduos da equação 4 de Richards para estimativa do diâmetro em função da idade.....	45
FIGURA 9 - Distribuição dos resíduos da equação 4 de Richards para estimativa da altura em função da idade.....	45
FIGURA 10 - Distribuição dos resíduos da equação 4 de Richards para estimativa do volume em função da idade.....	46
FIGURA 11 - Tendência de crescimento em diâmetro das árvores médias e dominantes da população em função da idade.....	47
FIGURA 12 - Tendência de crescimento em altura das árvores médias e dominantes da população em função da idade.....	48
FIGURA 13 - Tendência de crescimento em volume das árvores médias e dominantes da população em função da idade.....	49
FIGURA 14 - Produção total e das populações submetidas a um e dois desbastes.....	56
FIGURA 15 - Distribuição de freqüência por classe de diâmetro das populações submetidas a um e dois desbastes.....	58

## ANEXOS

ANEXO 1 - Resultados da análise de tronco de uma árvore dominante 1...	66
ANEXO 2 - Resultados da análise de tronco de uma árvore dominante 2...	67
ANEXO 3 - Resultados da análise de tronco de uma árvore dominante 3...	68
ANEXO 4 - Resultados da análise de tronco de uma árvore dominante 4...	69
ANEXO 5 - Resultados da análise de tronco de uma árvore média 1.....	70
ANEXO 6 - Resultados da análise de tronco de uma árvore média 2.....	71
ANEXO 7 - Resultados da análise de tronco de uma árvore média 3.....	72
ANEXO 8 - Resultados da análise de tronco de uma árvore média 4.....	73

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.1 Objetivo geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Considerações gerais.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Crescimento.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Produção.....</b>	<b>18</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Local do estudo.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Características do povoamento florestal .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Climatologia.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Edafologia.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 Fisiografia.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6 Procedimento experimental.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.1 Tamanho das parcelas e intensidade amostral .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.2 Análise de tronco.....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.3 Relação hipsométrica.....</b>	<b>31</b>
<b>3.6.4 Volume.....</b>	<b>32</b>
<b>3.6.5 Crescimento.....</b>	<b>32</b>
<b>3.7 Critérios para seleção de equações de regressão.....</b>	<b>33</b>

3.8 Validação das equações de regressão.....	34
3.8.1 Homoscedasticidade da variância.....	34
3.8.2 Independência dos resíduos.....	35
3.8.3 Normalidade da distribuição dos resíduos.....	36
3.9 Análise de covariância.....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
4.1 Análise de tronco das parcelas desbastadas.....	39
4.2 Relação hipsométrica.....	39
4.3 Volume.....	41
4.4 Influência do desbaste no crescimento em diâmetro, altura e volume.....	43
4.5 Análise de covariância do crescimento.....	51
4.5.1 Análise de covariância do crescimento em diâmetro.....	52
4.5.2 Análise de covariância do crescimento em altura.....	52
4.5.3 Análise de covariância do crescimento em volume.....	53
4.6 Validação dos modelos de crescimento.....	54
4.7 Influência do desbaste na produção volumétrica.....	55
4.8 Influência do desbaste na distribuição de freqüência por classe de diâmetro.....	57
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>

## **ANEXOS**

## 1 INTRODUÇÃO

A maior parte das terras ocupadas pela agricultura e pecuária do Rio Grande do Sul foi outrora coberta por florestas naturais. O desmatamento provocou grande redução das matas naturais, diminuiu a disponibilidade de madeira, aumentou a erosão das terras, o assoreamento dos rios e a poluição das águas.

A maioria das pequenas e médias propriedades rurais, em média, 10% ou mais da área total do Estado, estão hoje inaproveitadas ou com baixa capacidade de produção agrícola, principalmente, por representar terras pobres, dobradas e impróprias para o cultivo agrícola anual.

No Brasil, o estoque de madeira de florestas plantadas destinadas ao setor industrial de base florestal, situa-se em torno de 815 milhões de metros cúbicos, sendo estimado que, anualmente, sejam cortados cerca de 450 mil hectares de *Pinus* e *Eucalyptus* para suprir as indústrias de transformação (BRASIL, 2000).

Na condução de povoamentos de *Pinus*, uma das limitações, no sistema de alto fuste, tem sido a falta de informações sobre o crescimento e a produção das florestas. Por isto, é de fundamental importância o conhecimento destas variações, para permitir a avaliação potencial da produção nas unidades de manejo, com objetivo de desenvolver o aproveitamento racional e funcional das florestas.

Ao analisar-se um povoamento, percebe-se que as árvores apresentam parte da copa sombreada e outra livre. A parte da copa encontrada na posição inferior da árvore, ao invés de beneficiar o desenvolvimento da árvore, ocasiona efeito contrário, ou seja, consome mais energia do que é capaz de produzir. Em povoamentos conduzidos sob alta densidade, tendem a apresentar maior desrama natural. Este processo é lento e tem o inconveniente de que certas espécies mantêm os ramos aderidos ao tronco por longos períodos, o que ocasiona a inclusão de nós soltadiços no tronco, incorrendo na diminuição da qualidade da madeira. Devido a isto, há necessidade de se usar a prática da

desrama e desbastes adequados para se obter produto de dimensões desejadas e livre de nós.

Os fatores que influem na produção qualitativa e quantitativa de madeira dos povoamentos florestais estão, em sua maioria, relacionados ao sítio, tratamentos silviculturais e, principalmente, com a densidade da população. Assim, deve-se considerar que, à medida que existir um maior número de árvores, aumenta a área basal, até o momento em que inicia a competição entre as árvores, quando se estabelece o início da mortalidade natural na floresta e, com isso, a manutenção ou redução da área basal.

As razões pela qual ocorre redução da área basal total, em parte, podem ser atribuídas à redução da produção fotossintética, devido à diminuição da área de copa, limitação de disponibilidade de água e nutrientes absorvidos por cada indivíduo, e também pela falta de desenvolvimento do sistema radicular. Então, os desbastes permitem aumentar o espaço vital disponível, proporcionando o desenvolvimento equilibrado da copa e do sistema radicular, necessário para cada estado de dimensão de árvore.

Embora a aplicação de desbastes possa, em função do seu peso, causar a diminuição da produção total, quando comparada a uma floresta sem desbaste, mas tendo o propósito primordial de elevar a produtividade comercial dos sortimentos desejados pelo aumento da dimensão das toras no momento do corte final.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desse trabalho é estudar a influência do desbaste, com peso determinado com controle de área basal, sobre o crescimento e produção de povoamentos de *Pinus taeda* L.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

a) Estudar o crescimento em diâmetro, altura e volume em povoamentos submetidos a um e dois desbastes, com controle da área basal;

b) comparar o crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores médias e dominantes do povoamento, submetido a um e dois desbastes, com controle da área basal em relação a densidade completa, sem desbaste;

c) verificar a existência de diferença de produção de povoamentos manejados com um e dois desbastes, através do controle da área basal, e, em densidade completa, sem desbaste.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Considerações gerais

As diversas espécies de *Pinus* plantadas nas regiões sul e sudeste do Brasil foram introduzidas, por volta de 1954, com o objetivo de substituir a madeira da *Araucaria angustifolia*, cujos povoamentos naturais achavam-se em rápido processo de exaustão.

Os plantios de *Pinus* foram acelerados, a partir de 1966/67, com a implantação da política de incentivos fiscais. Face disto, em 1975, dos 459 mil hectares implantados em São Paulo, cerca de 190 mil hectares eram do gênero *Pinus* (MONTAGNA e YAMAZOC, 1978).

No sul do Brasil, o *Pinus taeda* é uma das espécies mais plantadas, totalizando 1,5 milhões de hectares, e, em termos de país, atualmente, existem cerca de 2 milhões de hectares plantados. A preferência pelo gênero se dá pelo crescimento rápido, alcançando grandes incrementos corrente anuais em altura (SBS, 2002).

O volume de madeira serrada produzida no Brasil é superior a 9 milhões de m<sup>3</sup>, passando gradativamente a ser mais representado pela produção das florestas plantadas, principalmente de espécies do gênero *Pinus*, que representou, em 2000, em mais de 75% da produção brasileira.

No Rio Grande do Sul, a área total de florestas plantadas corresponde a 480 mil hectares, dos quais cerca de 180 mil hectares são de *Pinus*, contribuindo com mais de 700 mil m<sup>3</sup> de toras por ano (AGEFLOR *apud* TONINI, 2000).

### 2.2 Crescimento

Segundo Assmann (1961), na reação dos povoamentos florestais a desbastes, observa-se que as árvores remanescentes aumentaram

rapidamente seu incremento, devido ao melhor aproveitamento dos fatores ambientais. A isto, chamou de Efeito de Aceleração do Crescimento, que depende da época e do peso do desbaste. Nos desbastes realizados na fase juvenil, antes do ponto de culmínio do incremento corrente em volume, ocorre uma maior reação de crescimento.

A resposta de aceleração do crescimento não é imediata, sendo que uma árvore pode levar até quatro anos ampliando sua superfície folhar e radicular para, a partir daí, produzir um incremento significativo em diâmetro (MASON apud SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Entre os especialistas europeus, existe a tendência de associar a designação de “Lei de Eichhorn” ao conjunto de princípios que decorrem das relações entre volume e altura dominante, em homenagem ao florestal alemão de mesmo nome que, em 1904, a enunciou pela primeira vez. Esta lei afirma que o volume total pode ser considerado exclusivamente uma função da altura dominante do povoamento (ALVES, 1982).

O processo de seleção natural faz com que as árvores aloquem carboidratos, dessa forma, aumentando a habilidade das árvores de sobreviver. O fato de algumas funções serem mais cruciais do que outras, determina uma prioridade no quadro de alocações. Isto, segundo Oliver e Larson (1996), é feito 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 com o crescimento lateral e terminal dos galhos; e, crescimento em extensão das raízes. Então, quando ainda houver carboidratos disponíveis, estes são utilizados para adicionar xilema (crescimento em diâmetro) e desenvolver mecanismos de resistência contra o ataque de insetos e doenças.

De acordo com Spiecker (1981), o crescimento das árvores é o resultado dos efeitos de sua constituição genética, das características ambientais, definidas pelo clima, solo e sistema de manejo, etc. e das interações entre estes.

Coelho e Finger (1997) estudaram o crescimento em altura de *Pinus elliottii* na região de Canela-RS, comparando árvores originadas de regeneração natural e de mudas produzidas por regeneração artificial. Os pares de dados de altura e idade foram obtidos através da análise de tronco,

sendo as árvores, amostradas em cada tratamento, tomadas entre a média e mais ou menos um desvio padrão, tendo sido amostradas 10 árvores para o tratamento saco plástico, 9 árvores para o tratamento regeneração natural e 11 árvores para o tratamento raiz nua. A comparação entre os tratamentos, feita por análise de covariância, mostrou que a regeneração natural tem crescimento inicial maior, crescendo 21,85% a mais do que árvores originadas de mudas produzidas em recipientes do tipo saco plástico e 45,62% mais que raiz nua.

Assmann (1970) relata reações diferentes sobre o crescimento em altura entre folhosas e coníferas ocasionadas pela retirada de árvores em um desbaste. Como regra geral, desbastes moderados oferecem um melhor crescimento em altura e aberturas severas do dossel, proporcionam o aumento do incremento em diâmetro sem aumentar o incremento em altura. Em folhosas, a abertura do dossel pode provocar o crescimento dos ramos da periferia da copa em detrimento do incremento em altura, como foi observado em *Fagus silvatica*.

Segundo Daniel *et al.* (1979), 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; 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 depende dos 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 as 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 unidade de volume é o primeiro e imediato problema, sendo a transformação em unidade de valor o passo final necessário (DAVIS, 1966).

Segundo Assmann (1970), 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, o que torna possível fazer inferências sob o desempenho de árvores ou povoamentos.

A qualidade do sítio determina a quantidade de madeira que uma área pode produzir, e o estoque florestal mede a extensão em que a capacidade produtiva de um sítio florestal está sendo utilizada no crescimento das árvores em um determinado momento (DAVIS, 1966).

Segundo Andrae (1978), o solo constitui o ambiente sólido do vegetal, existindo até certo grau uma influência mútua. Certamente, quando se observa uma extensa região, é o clima o fator responsável pela diversificação das formações florestais. Porém, para o habitat, em particular, o solo entra como elemento principal, decidindo não só parcialmente qual a formação que ocorrerá, como sendo responsável pela aparência e produtividade vegetal.

Segundo Assmann (1970), a atividade de assimilação de uma determinada área foliar ou quantidade de folhas é decisivamente influenciada pelo suprimento de nutrientes que, por sua vez, depende da fertilidade do solo. Um determinado solo com um completo suprimento de nutrientes é capaz de produzir, para uma mesma quantidade de folhagem, duas vezes mais madeira do que seria produzido em um solo pobre.

### **2.3 Produção**

A densidade do povoamento é o segundo fator em importância, depois da capacidade produtiva do sítio para a determinação da produtividade de um local, sendo, no entanto, o principal fator que o silvicultor pode manejar durante o desenvolvimento de um povoamento (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Reinstorf (1970) estudou a relação da densidade de plantas sobre o desenvolvimento da altura de *Pinus elliottii* em um experimento CCT (Correlated Curve Trend) de desbaste, repetido em 3 sítios, não encontrando evidências estatísticas da influência da densidade do povoamento sobre a taxa de crescimento em altura. Em um dos locais estudados, detectou uma pequena influência da densidade do povoamento sobre o crescimento em altura, tendo atribuído isto à heterogeneidade do solo.

Schultz (1969) assinala que, mediante os desbastes, pode-se direcionar o potencial produtivo do sítio para as árvores de maior valor comercial e evitar sua dispersão em indivíduos indesejáveis ou de menor valor.

Estudos sobre competição por água, luz e nutrientes demonstraram que para uma produção mais econômica de madeira, as árvores devem estar espaçadas mais amplamente que o de costume, significando que o espaçamento inicial deve ser mais amplo e os desbastes mais fortes. Esta estratégia permite postergar o primeiro desbaste do povoamento, fazendo com que as árvores retiradas sejam de maior volume e com maior valor comercial (HILEY, 1959).

No mesmo sentido, Crechi *et al.* (2002) analisaram um experimento de desbaste em *Pinus taeda*, instalado em blocos completos ao acaso com 2 níveis de intensidade e testemunhas, 3 níveis de oportunidades e 3 repetições. Os tratamentos de intensidade foram definidos por área basal e caracterizados em: sem desbaste (testemunha) e desbaste de 33 e 66% da área basal da testemunha; os 3 tratamentos de oportunidade foram definidos com periodicidade de 2, 4 e 6 anos. Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para as produções totais por hectare aos 13 anos. As tendências no crescimento em diâmetro, área basal e volume total e parcial (30 cm na ponta fina) por hectare para diferentes intensidades e oportunidades de desbaste avaliadas, demonstram que, para atender a objetivos de produção diferentes, deve-se variar a intensidade de desbaste e que esse influi sobre a produção total.

No estudo desenvolvido por Pienaar apud Schneider (1993b), foi demonstrado ser a assíntota do crescimento em área basal, uma constante para uma larga faixa de altas densidades. Entretanto, segundo Reinstorf (1970), outros experimentos não forneceram esta clara indicação de que os resultados obtidos por Pienaar possam ser aplicados a outros projetos. Para isto, cita uma pesquisa que apresentou um crescimento em área basal, para povoamento com 3.000 árvores/ha, 14% superior ao de um povoamento com 1.000 árvores/ha, não houve evidência de que as curvas tendessem para o mesmo valor de assíntota. E, com base em experimentos de desbaste em *Pinus*, concluiu que o incremento em área basal relaciona-se estreitamente com a densidade, sendo maior nos povoamentos com alta densidade e que a

idade do ponto de máximo incremento em área basal aumenta com a diminuição da densidade. Também, observou que o diâmetro médio no momento do culmínio do incremento em área basal era inversamente proporcional a densidade, ou seja, quanto maior a densidade, menor o diâmetro médio.

Evidentemente que o uso de desbastes pode, dependendo do grau de intensidade, diminuir a produção total final, mas tem o propósito primordial de elevar a produtividade comercial dos sortimentos com o aumento da dimensão das toras (SCHNEIDER *et al.*, 1991).

A decisão da realização ou não de um desbaste deve ser tomada com base técnica e econômica. Com base técnica, o estudo periódico da área basal pode servir como um indicador para decisão de desbaste como determinante do grau de estoqueamento, o qual é dado pela divisão da área basal real do povoamento por hectare, pela área basal de algum povoamento utilizado como base de comparação ou, mais freqüentemente, pela área basal de uma tabela de produção para um determinado sítio, permitindo conhecer a discrepância entre a área basal real e a tabelar e, por conseqüência, adequar o peso do desbaste à situação de campo (ASSMANN, 1970).

Baseado em dados experimentais, Wiedemann apud Assmann (1970) afirmou que, ao contrário do que se poderia imaginar, o incremento em volume não é proporcional ao incremento em área basal por um longo espaço de tempo, mesmo que, neste período, a altura e o fator de forma assemelhem-se em parcelas com diferentes intensidades de desbaste.

O diâmetro e a área basal da árvore são parâmetros extremamente afetados pela densidade do povoamento, por conseguinte, após um desbaste, árvores de uma mesma classe diamétrica, em curto espaço de tempo, podem ingressar em classes diamétricas superiores (SCHNEIDER, 1993a).

Com a aplicação de desbastes pesados, normalmente, abrem-se grandes espaços, propiciando um crescimento diamétrico superior a desbastes mais leves (REINSTORF, 1970). Neste caso, acredita-se que o volume das árvores retiradas possa ser recuperado pelo crescimento do povoamento. Mas, existem limites para este aumento em incremento, pois aberturas excessivas, graus muito fortes de desbaste, podem ocasionar perdas, resultando na queda da produção, pois as árvores remanescentes não são capazes de repor o

volume retirado no desbaste (ALVES, 1982).

Segundo Johnston *et al.* (1977), o volume por hectare tende a variar pouco, no caso de moderadas intensidades de desbaste, enquanto o volume individual, sob as mesmas intensidades, varia de modo acentuado, crescendo rapidamente. Para maiores intensidades de desbaste, o volume individual tende a manter-se constante, devido ao grande espaço aberto e à drástica diminuição de competição, que não favorecem na mesma proporção ao crescimento individual, enquanto o volume por hectare tende a diminuir rapidamente, na medida em que se reduz acentuadamente o número de árvores por hectare.

Alves (1982) destacou que os desbastes fortes, nas idades mais jovens, têm uma influência relativamente mais elevada sobre a evolução do volume total, em relação às idades mais velhas. Isto denota que a intensidade ótima de desbaste, no sentido de obtenção dos máximos volumes de madeira, passa de níveis mais elevados de intensidade, nas idades jovens, para níveis mais baixos de intensidade, nas idades mais velhas. Por isso, deve-se fazer variar a intensidade de desbaste ao longo da idade do povoamento, a qual é denominada, por autores ingleses, de intensidade marginal de desbaste.

Reinstorf (1970) observa que desbastes pesados resultam em menores números de árvores e causam um crescimento em diâmetro superior aos povoamentos que sofrem desbastes leves, considerando-se um mesmo sítio.

Para regular a densidade da população, um bom indicador é o índice de espaçamento relativo de Hart-Becking. Trata-se de um índice de densidade que recorre à relação da distância média entre as árvores com sua respectiva altura dominante, sendo definida em povoamentos considerados modelos experimentais de tipo de desbaste (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Mainardi *et al.* (1996) realizou um trabalho que teve como objetivo estruturar a produção de uma floresta de *Pinus taeda*, localizada na região de Cambará do Sul, RS, de acordo com a idade, potencial de produção dos sítios e manejo aplicado. Para tanto, coletou dados em parcelas temporárias, permanentes e por análise de tronco. Funções matemáticas foram ajustadas para estimar o desenvolvimento do povoamento remanescente, após o desbaste e o fator K-Magin foi usado para corrigir o volume dos desbastes, e variou de 0,76 a 0,78. Os resultados, agrupados em tabelas de produção para

os sítios 16 a 28, apresentaram, respectivamente, volumes de 243,7 m<sup>3</sup>/ha e 911,0 m<sup>3</sup>/há, aos 16 anos de idade. O incremento médio anual nesta idade, considerando a idade de corte na empresa, atingiu 15,23 m<sup>3</sup>/ha/ano, no índice de sítio 16 e 56,94 m<sup>3</sup>/ha/ano para o 28. Os resultados demonstraram, ainda, perda de produção pela execução de desbastes precoces nos sítios menos produtivos e, tardios, nos sítios mais produtivos.

A intervenção nos povoamentos através dos desbastes contribui, sob o ponto de vista biológico, para pôr a disposição das árvores remanescentes ao desbaste, potencialidades de crescimento, antes atribuídas também às árvores removidas. Isto se traduz em mais espaço aéreo para o desenvolvimento das copas, maior superfície de produção fotossintética para um menor número de indivíduos e, também, maiores disponibilidades de nutrientes minerais e água (ALVES, 1982).

Neste sentido, Schneider e Schneider (2008) comenta que, em se tratando de povoamentos equiâneos, a área basal total da floresta é função do diâmetro médio das árvores e da densidade populacional. Sendo que, as maiores densidades acarretam valores maiores de área basal, até o momento em que o povoamento entra em competição, o que causa uma redução no incremento diamétrico e, por conseqüência do incremento em área basal. A área basal sofre influência da qualidade do sítio e idade, determinando que: em sítios mais produtivos ocorre uma rápida taxa inicial de crescimento; em povoamentos maduros, o incremento em área basal tende a permanecer constante; e que, uma pequena melhora na qualidade de um sítio, ocasiona um notável incremento no acúmulo de área basal.

Assmann (1970), afirma que as áreas manejadas com desbastes pesados produzem menor volume total do que as com desbastes leves. No mesmo sentido, Reinstorf (1970), estudando a influência da densidade populacional no crescimento de *Pinus elliottii*, constatou que a produção foi maior em povoamentos de alta densidade quando comparada a povoamentos de menor densidade e que a qualidade do sítio, também influencia a produção, pois sítios mais produtivos, para atingirem todo o seu potencial produtivo, necessitam de um número maior de árvores por unidade de área do que os sítios menos produtivos.



Schneider e Finger (1993) estudaram a influência da intensidade de desbaste sobre o desenvolvimento da altura média e dominante de povoamentos de *Pinus elliottii*, submetidos a 4 (quatro) tratamentos de desbastes 25, 50 e 75 % da área basal da testemunha sem desbaste, além da testemunha sem desbaste. Os resultados obtidos permitiram concluir que a intensidade do desbaste influi no desenvolvimento da altura média e, não, no da altura dominante.

Com base no incremento das árvores remanescentes após o desbaste, Assmann (1968) definiu três valores característicos de área basal, ou seja: a área basal máxima, que ocorre quando o povoamento obtém a maior área basal para o sítio sobre um período com lotação total por hectare, podendo ser determinada para povoamentos não desbastados; área basal ótima sobre um período, onde o mais alto valor de incremento volumétrico pode ser alcançado em um período de crescimento; área basal crítica sobre um período no qual se atingiu cerca de 95% do incremento máximo potencial, ou seja, 5% a menos que o obtido na área basal ótima de um sítio.

Glufke (1996) estudou o crescimento em volume de um povoamento de *Pinus elliottii*, no município de Ponte Alta do Norte-SC, submetido a três níveis de desbastes, com base na área basal da parcela testemunha não desbastada. Para tanto, estudou as áreas basais máximas, ótima e crítica, a relação hipsométrica e o desenvolvimento dos incrementos corrente anual, médio anual e periódico do volume, obtendo-se como resultados a determinação do grau de estoqueamento crítico, nos diferentes períodos de desenvolvimento do povoamento, sendo este de 0,76 para o período de 7,5-10,5 anos; 0,80 para o período de 10,5-13,5 anos; 0,87 para o período de 13,5-16,5 anos; 0,90 para o período de 16,5-19,5 anos; 0,91 para o período de 19,5 a 25,5 anos e de 0,87 para o período total de estudo (7,5 - 25,5 anos). A perda de produção no tratamento T1 (desbaste de 25% da área basal da testemunha) foi de 9%, no tratamento T2 (desbaste de 50% da área basal da testemunha) foi de 20% e no tratamento T3 (desbaste de 75% da área basal da testemunha) foi de 54%.

Como um indicador e determinante da prática silvicultural de desbaste ou como medida de densidade, a área basal deve ser utilizada segundo alguns critérios, ou seja, não deve ser tomada logo após o desbaste, pois poderá não refletir o real crescimento do povoamento. Para isto, Assmann (1968), recomenda o cálculo da área basal média mantida (m.G.h.). Afirma que, em

experimentos bem conduzidos, a área basal média pode ser empregada como medida de intensidade de desbaste, pois apresenta relações claras entre os graus de desbaste e o incremento.

Neste sentido, Glufke (1996), estudou as perdas de incremento para *Pinus elliottii*, submetido a desbaste com controle da área basal. Os resultados obtidos são muito importantes, pois demonstram que, com uma prática correta de desbaste, é possível obter incrementos muito próximos do máximo, como é observando-se na Figura 1, com a retirada de 10% da área basal máxima, em relação a testemunha, obtêm-se uma perda de 2% no incremento e, retirando-se 70%, a perda é de 39%, já com a retirada de 80% da área basal máxima, a perda é de 82%.

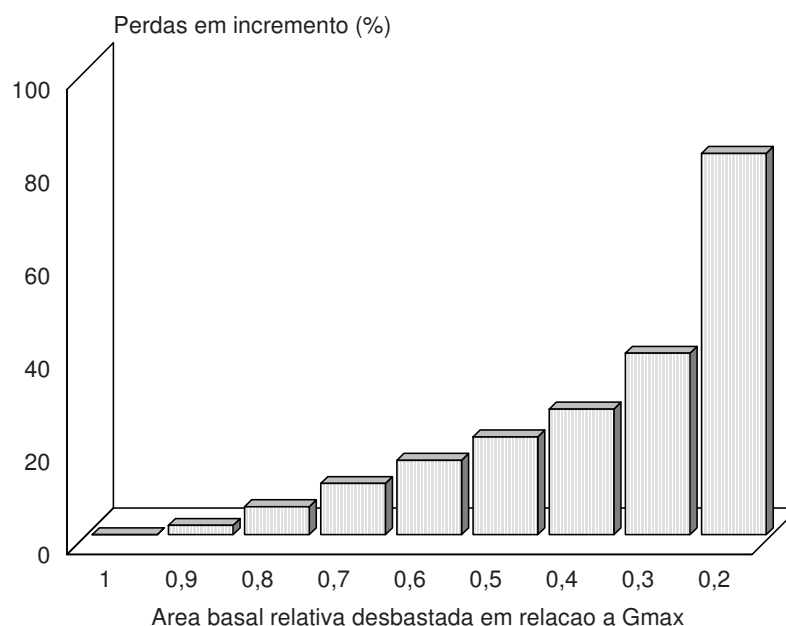


FIGURA 1 - Perdas em incremento volumétrico devido a retirada por desbaste de valores relativos de área basal máxima da testemunha. Fonte: Glufke (1996).

A teoria de Mar: Müller diz que “dentro de limites amplos de densidade o incremento em volume não é afetado pela densidade”, ou seja, eliminando-se os limites extremos de densidade populacional, em longo prazo, a produção total em volume é praticamente igual para diferentes níveis de densidade. Baseando-se nesta afirmação, pode-se dizer que o incremento em área basal

ou volume, dentro de limites razoáveis de densidade e uma função da qualidade do sítio florestal e que, o efeito do desbaste, de concentrar o incremento em um número menor de árvores e não aumentar o incremento (ASSMANN, 1970).

O espaçamento ótimo é aquele capaz de produzir o maior volume de produto em tamanho, com forma e qualidade desejável. As árvores, em povoamentos com espaçamentos amplos, crescem mais rápido do que em espaçamentos pequenos e terão, em uma determinada idade, maior diâmetro, maior conicidade, casca mais grossa e copa maior. Teoricamente, a maior produção volumétrica é alcançada em plantações suficientemente densas para atingir a plena ocupação do sítio, o mais cedo possível. Em espaçamentos maiores, o povoamento permanece sub-estocado até que as copas fechem, havendo, portanto, uma perda de produção, pois o tempo, para que haja plena ocupação da área, será maior (SMITH *et al.*, 1997).

Botelho (1997) recomenda o plantio, em sítios de alta produtividade, com espaçamentos menores, mostrando que quanto maior a disponibilidade de recursos, maior a lotação de árvores por unidade de área. Com relação a sítios muito pobres, deve-se considerar que, havendo uma baixa disponibilidade dos fatores produtivos, principalmente de água, a capacidade de suporte do sítio será menor e, portanto, deve-se utilizar um menor número de plantas por unidade de área.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local do estudo

O estudo foi realizado na Agropecuária Fazenda do Ipê Ltda, localizada no município de Canela, no estado do Rio Grande do Sul.

A Figura 2 mostra a localização da área de estudo sobre um mapa de caracterização do relevo, bastante acidentado, dos campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul.

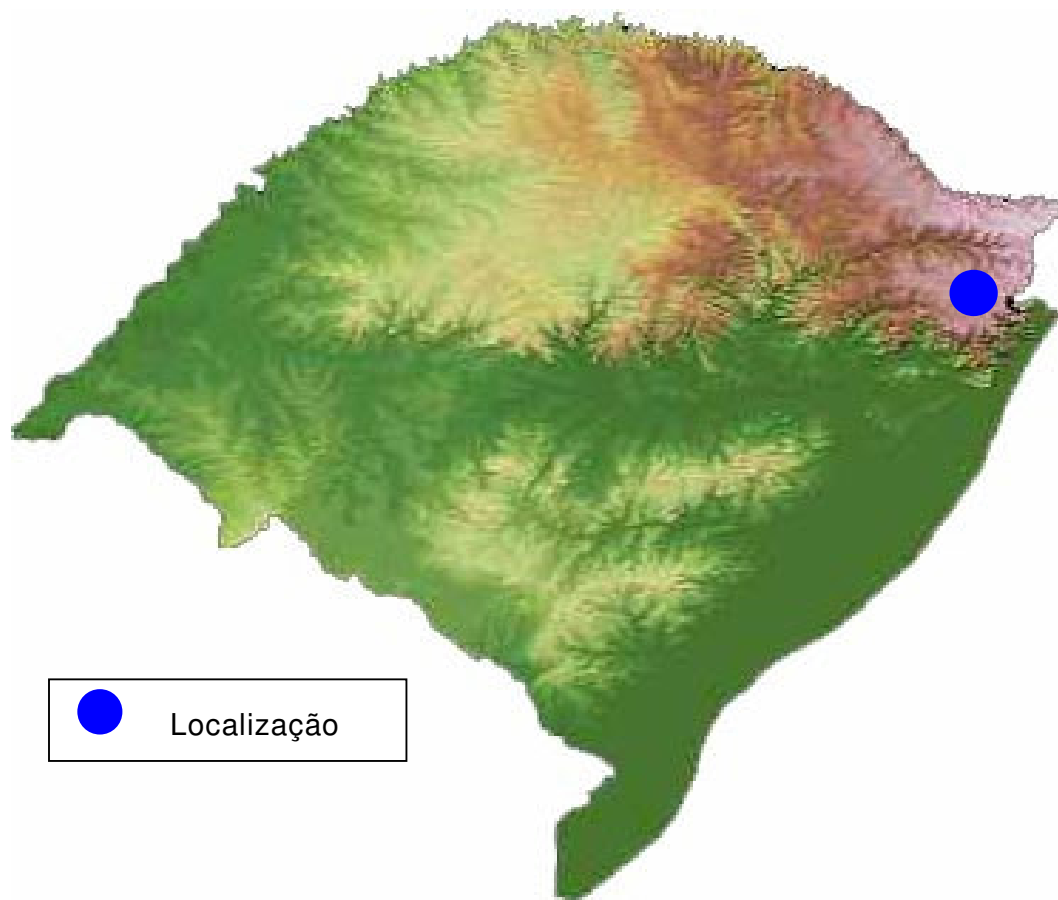


FIGURA 2 – Localização da área de estudo

A área situa-se entre as coordenadas 29° 17'41.28" de latitude sul e 50°46'01.00" de longitude oeste, numa altitude de 820 metros acima do nível médio do mar.

### **3.2 Características do povoamento florestal**

O povoamento florestal estudado é de *Pinus taeda*, implantado em 1987, num espaçamento inicial de 3 x 2 metros, com o objetivo de produção de madeira de grandes dimensões, tendo um maior valor agregado.

### **3.3 Climatologia**

O clima dominante da região do estudo, segundo o sistema de classificação de Köppen, é do tipo "Cfb1", temperado úmido (MORENO, 1961).

Desta forma, de acordo com a classificação de Köppen, o Estado fica dividido em duas áreas climáticas, "Cfa" e "Cfb", sendo que a variedade "b" se restringe ao planalto basáltico superior e ao escudo Sul-Rio-Grandense, enquanto que as demais áreas pertencem à variedade "a". A Figura 3 mostra a variação climática em toda a região de estudo.

De acordo com IPAGRO (1989), a região do município de Canela-RS possui as seguintes médias anuais: Temperatura mínima média de 10 °C; temperatura máxima média de 21,3 °C; temperatura média anual de 14,8 °C; precipitação média anual de 1821 mm; umidade relativa do ar média de 80%.

Segundo Motta *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 (NW), durante os meses de maio a agosto. Na região ocorre, freqüentemente, a formação de geadas podendo ocorrer ocasionalmente precipitação de neve.

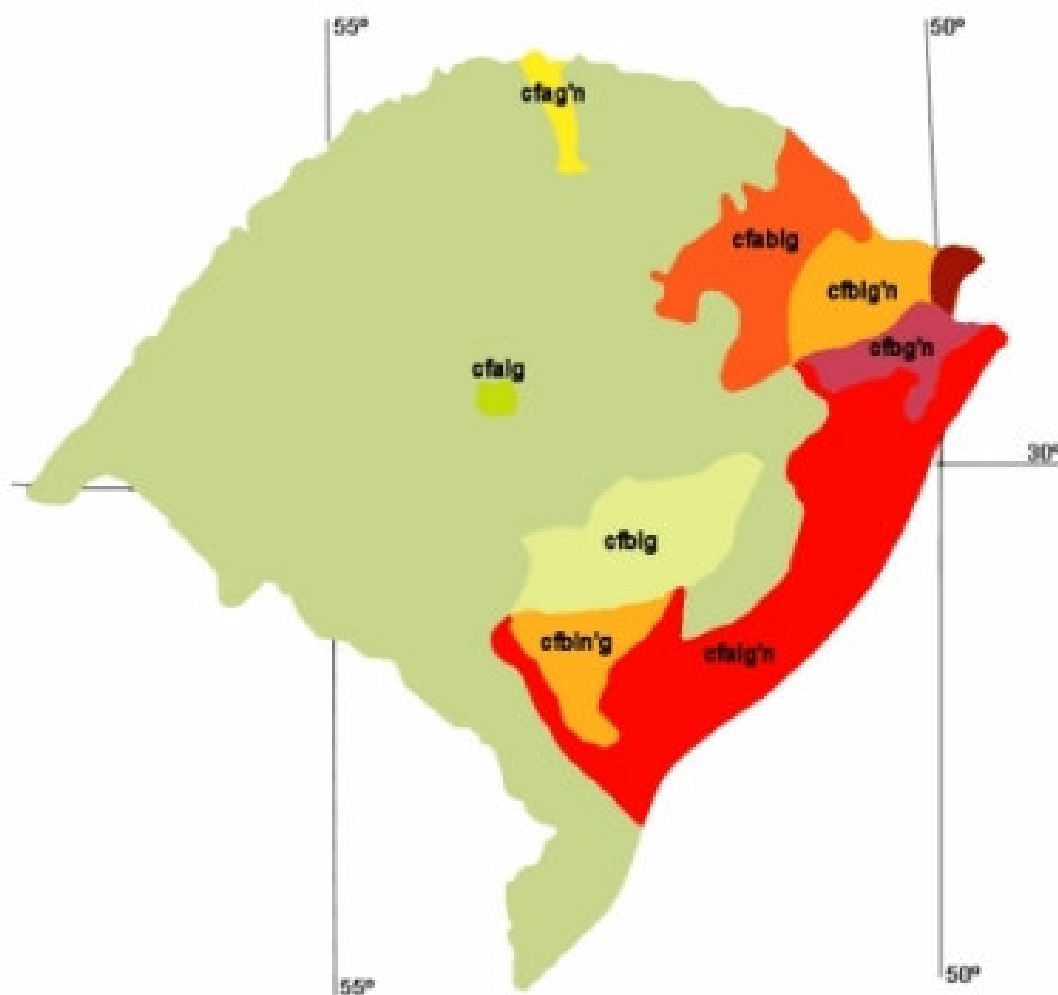


FIGURA 3 – Mapa climático do Rio Grande do Sul. Fonte: Moreno (1961).

### 3.4 Edafologia

Segundo Lemos *et al.* (1973), a região enquadra-se no grupo São Bento, o qual 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.

Uma característica geral deste solo é quanto a profundidade que aumenta, à medida que a declividade diminui, sendo essa relação parabólica e não linear.

O solo da região enquadra-se na unidade de mapeamento Bom Jesus, sendo pouco desenvolvido e classificado como Cambisol Húmico. Suas principais características são: álico, textura argilosa, relevo ondulado a fortemente ondulado, substrato basáltico. Predominam solos profundos, moderadamente drenados, de coloração escura e bruno avermelhado, friável, ácido e com baixa saturação de bases, apresentando teores elevados de alumínio trocável e teores altos de matéria orgânica, chegando a 5% no horizonte "A". A fertilidade natural do solo é elevada.

A variação mais freqüente nesses solos diz respeito à ocorrência de perfis mais rasos, com horizonte "B" menos profundo, perfis litólicos, perfis hidromórficos de altitude e afloramentos de rochas.

O solo, devido ao relevo, aliado à elevada precipitação média, é suscetível à erosão.

### **3.5 Fisiografia**

De acordo com as regiões fisiográficas do Rio grande do Sul, a área em estudo localiza-se nos Campos de Cima da Serra, nos limites da Encosta Superior do Nordeste, com relevo fortemente ondulado com altitude em torno de 850 m.

### **3.6 Procedimento experimental**

Para atingir os objetivos propostos, foram formuladas situações experimentais em população submetida a desbaste por baixo:

a) Execução de um desbaste, quando atingir 45 m<sup>2</sup>/ha, com redução da área basal para níveis de 28 m<sup>2</sup>/ha.

b) Execução de dois desbastes, o primeiro quando atingir 45 m<sup>2</sup>/ha, com redução da área basal para níveis de 28 m<sup>2</sup>/ha, o segundo, aos 15 anos, com redução variável área basal.

c) Sem desbaste, testemunha.

### 3.6.1 Tamanho das parcelas e intensidade amostral

As parcelas tiveram uma superfície útil de 600 m<sup>2</sup>, com um tamanho de 30 X 20 m, com uma bordadura de uma fila de árvores.

O controle do crescimento e produção, nestas populações experimentais, foi realizado com base em 8 parcelas permanentes, por tratamento. Estas parcelas sofreram desbaste por baixo com redução da área basal para um nível de 28 m<sup>2</sup>/ha, quando o povoamento atingiu uma área basal de 45 m<sup>2</sup>/ha. Além disto, foram instaladas 8 parcelas permanentes, com aplicação de dois desbastes por baixo, sendo o primeiro desbaste com redução da área basal para o mesmo nível, quando, o povoamento atingiu 45 m<sup>2</sup>/ha, de intensidade variável no segundo desbaste, e três parcelas testemunha, sem desbaste.

### 3.6.2 Análise de tronco

Para estudo do crescimento, foram abatidas 8 árvores amostradas, sendo 4 árvores dominantes e 4 de diâmetro médio. Estas foram distribuídas da seguinte forma: no tratamento sem desbaste uma árvore média e uma dominante, enquanto que nos tratamentos com desbaste foram tomadas duas árvores médias e duas dominantes. De cada árvore, foram extraídos: um disco na altura de 1,3 m a partir do solo, um disco da base de cada secção e um disco no topo da última secção, todos com 4 a 8 cm de espessura, para realização da análise de tronco. Os discos foram secos em estufa e posteriormente tiveram suas circunferências medidas com e sem casca. De cada disco foram tomados 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 lupa munida 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.

Na análise de tronco, os anéis anuais nem sempre eram visíveis, sendo que os anéis mais internos foram identificados principalmente pela resistência à compressão, pois, na maioria dos casos, não existia diferenciação visual pela coloração ou textura da madeira dos primeiros três ou quatro anéis, mesmo com aumento máximo da lupa. As primeiras 3 fatias, a partir da base, apresentaram maior número de anéis difíceis de identificar. Nestes casos, utilizou-se uma lâmina de aço com cerca de 0,5 mm de espessura para comprimir a madeira ao longo do raio da fatia e consideraram-se os anéis formados pela resistência à compressão.

Medição dos anéis de crescimento foi realizada no aparelho Lintab II e, posteriormente, estes dados medidos foram processados no programa ANATRO (Análise de Tronco).

### 3.6.3 Relação hipsométrica

A estimativa da altura, das árvores que não tiveram medidas a altura, foi efetuada por relação hipsométrica. Para isto, foram testados vários modelos relacionados na Tabela 1, citadas por Schneider (1984).

TABELA 1 - Modelos de equações testados para estimar a altura.

Nº. Equação	Equação	Autor
1	$h = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2$	Stofells
2	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln d$	-
3	$\ln h = b_0 + b_1(1/d)$	Curtis
4	$h = b_0 + b_1(1/d)$	-
5	$h = b_0 + b_1 \cdot d + b_2(1/d)$	-
6	$h = b_0 + b_1(1/d) + b_2 \cdot d^2$	-
7	$H = d^2 / (b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2)$	Prodan
8	$h = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln d^2$	-

Sendo: h = altura; d = diâmetro;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  = parâmetros das equações; ln = logaritmo neperiano.

### 3.6.4 Volume

Para determinação do volume das árvores foram testados os modelos de equações relacionados na Tabela 2, conforme Loetsch *et al.* (1973). As estimativas de volume individual (m<sup>3</sup>) foram relacionadas em função do diâmetro (cm) e da altura (m) das árvores.

TABELA 2 - Modelos de equações testados para estimar o volume.

Nº. Equação	Equação	Autor
1	$v = b_0 + b_1 \cdot d$	-
2	$v = b_0 + b_1 \cdot d^2$	Kopecky-Gehrhardt
3	$v = b_0 + b_1 \cdot d^2 h$	Spurr
4	$v = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot d^2 \cdot h + b_3 \cdot h$	Stoate
5	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d$	Hush
6	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d^2 \cdot h$	Spurr – logarítmica
7	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln h$	Schumacher-Hall
8	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot (\ln d)^2 + b_3 \cdot \ln h + b_4 \cdot (\ln h)^2$	IW-Baden-Württemberg, Alemanha

Sendo: v = volume; h = altura; d = diâmetro; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub> = parâmetros das equações; ln = logaritmo neperiano.

### 3.6.9 Crescimento

Para o estudo do crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores, foram testados os 5 modelos de equações, conforme Kiviste *et al.* (2002), discriminadas na Tabela 3.

TABELA 3 - Equações utilizadas para descrever o crescimento em função da idade.

Nº. Equação	Equação	Autores
1	$\ln y = b_0 + b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t$	Korsun
2	$\ln y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot \ln t$	Hoerl
3	$y = b_0 \cdot (1 - \exp^{-b_1 \cdot t})$	Weber
4	$y = b_0 \cdot (1 - \exp^{(-b_1 \cdot t)})^{b_2}$	Richards
5	$y = b_0 \exp^{b_1 t^{b_2}}$	Mitscherlich

Onde: y = variável dependente; t = idade em anos;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  = coeficientes; ln = logaritmo neperiano.

### 3.7 Critérios para seleção de equações de regressão

A seleção das equações foi realizada com base na melhor distribuição gráfica dos resíduos, erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), coeficiente de determinação ( $R^2_{Aj}$ ) e valor de F. No caso de equações com resultados semelhantes, procurou-se optar pela de menor número de parâmetros. Em uma segunda etapa, foram realizados os testes para determinar a validade do modelo previamente selecionado como melhor.

Considerou-se como distribuição péssima dos resíduos: a formação de padrões de distribuição (transgressões), a concentração dos resíduos acima ou abaixo do eixo das estimativas ou sua concentração em até dois quintos da amplitude do mesmo eixo. Considerou-se como razoável: a distribuição eqüitativa dos resíduos acima e abaixo do eixo das estimativas, em pelo menos metade da amplitude do mesmo eixo e sem formação de padrões de distribuição. Foi considerada boa: a distribuição dos resíduos em 3 a 4 quintos da amplitude do eixo das estimativas de forma eqüitativa acima e abaixo do mesmo eixo e sem formação de padrões. Somente foi considerada ótima a distribuição dos resíduos em mais de quatro quintos da amplitude do eixo das

estimativas, eqüitativamente acima e abaixo do eixo e sem formação de padrões.

### **3.8 Validação das equações de regressão**

Os testes utilizados para validação das equações de regressão foram realizados, utilizando-se o pacote estatístico SAS System, conforme procedimentos descritos em SAS (2004) e Floriano (2003).

A validação das equações selecionadas foi realizada determinando-se:

- A homoscedasticidade da variância através do teste  $\chi^2$  de White;
- A independência dos resíduos, através do teste de Durbin-Watson;
- A normalidade da distribuição dos resíduos através dos testes de

Shapiro-Wilk.

#### **3.8.1 Homoscedasticidade da variância**

Uma das principais pressuposições para os mínimos quadrados da regressão usual é a homogeneidade da variância (homoscedasticidade). Se o modelo for bem-ajustado, não deveria haver nenhum padrão para os resíduos delineados (plotados) contra os valores ajustados. Se a variância dos resíduos não é constante, então é dito que a variância residual é "heteroscedástica". O SAS System calcula os resíduos e valores ajustados, através dos procedimentos GLM, REG e NLIN, que podem ser apresentados em um gráfico. Quando os resíduos são distribuídos sem nenhum padrão, não há heteroscedasticidade.

Um método matemático para determinar se há homogeneidade de variância dos resíduos, sendo possível de ser executado através do SAS System é o teste de White (SAS, 2004). O teste de White é computado, achando  $nR^2$  de uma regressão de  $e_i^2$  sobre todas as variáveis distintas em  $X$  x  $X$ , onde  $X$  é o vetor de variáveis dependentes, incluindo uma constante. Esta estatística é distribuída assintoticamente como Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com  $k-1$  graus de liberdade, onde  $k$  é o número de regressores.

O método testa a hipótese nula de que a variância residual é homogênea. Então, se o valor “p” for muito pequeno, a hipótese é rejeitada e aceita-se a hipótese alternativa de que a variância não é homogênea. Para isso, é utilizada a opção “SPEC” na declaração do modelo conforme o exemplo a seguir:

```
PROC REG;  
MODEL Y = X / SPEC;
```

O teste também pode ser executado através da opção WHITE da declaração FIT do procedimento MODEL no SAS System, como no exemplo a seguir:

```
PROC MODEL;  
PARMS A B C;  
Y = A + B * X1 + C * X2;  
FIT Y / WHITE;
```

### 3.8.2 Independência dos resíduos

O valor da estatística “d” de Durbin-Watson (SAS, 2004) é obtido através da opção GLM da declaração MODEL do procedimento GLM do SAS System, também, pela opção DWPROB da declaração FIT do procedimento MODEL, ou ainda pela opção DW da declaração MODEL do procedimento REG, conforme o exemplo abaixo:

```
PROC REG;  
MODEL Y=X1 X2 / DW;
```

É esperado que a estatística “d” seja aproximadamente igual a 2, se os resíduos forem independentes. Caso contrário, se os resíduos forem correlacionados positivamente, tenderá a ser próxima de 0 (zero), ou próxima de 4, se os resíduos forem correlacionados negativamente (Nemec, 1996).

O valor de d de Durbin-Watson é dado por:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (E_i - E_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

Sendo:  $d$  = estatística “d” de Durbin-Watson;  $E_i$  = erro estocástico;  $n$  = número de observações.

### 3.8.3 Normalidade da distribuição dos resíduos

Este teste baseia-se na comparação da curva da frequência cumulativa dos dados com a função de distribuição teórica em hipótese. Quando as duas curvas sobrepõem-se à estatística de teste é calculada através da máxima diferença entre ambas. Se os dados experimentais afastam-se significativamente do que é esperado da distribuição em hipótese, então as curvas obtidas devem encontrar-se igualmente afastadas e, por um raciocínio análogo, se o ajustamento ao modelo hipotético é admissível, então as curvas têm um desenvolvimento próximo.

A estatística (D) de Kolmogorov-Smirnov (SAS, 2004) é do tipo Função de Distribuição Empírica (EDF). A Função de Distribuição Empírica (EDF) é definida para um conjunto de  $n$  observações independentes  $X_1, \dots, X_n$ , com uma função de distribuição comum  $F(x)$ . Sob a hipótese de nulidade,  $F(x)$  é a distribuição normal. As observações são ordenadas da menor para a maior como  $X_{(1)}, \dots, X_{(n)}$ .

A função de distribuição empírica  $F_n(x)$ , é definida como:

$$F_n(x) = 0, x < X_{(1)}$$

$$F_n(x) = i/n, X_{(i)} < x < X_{(i+1)}, i = 1, 2, \dots, n-1$$

$$F_n(x) = 1, x_{(n)} < x.$$

Note-se que  $F_n(x)$  é uma função seqüencial que avança em  $[1/n]$  a cada observação. Esta função calcula a função de distribuição  $F(x)$ . A qualquer valor  $x$ ,  $F_n(x)$  é a proporção de observações menor que ou igual a  $x$ , enquanto  $F(x)$  é a probabilidade de uma observação ser menor que ou igual a  $x$ . Estatísticas de EDF medem a discrepância entre  $F_n(x)$  e  $F(x)$ . As fórmulas computacionais para as estatísticas de EDF fazem uso da transformação da integral de

probabilidade  $U=F(X)$ . Se  $F(X)$  é a função de distribuição de  $X$ , a variável aleatória  $U$  é distribuída uniformemente entre 0 e 1.

Dadas  $n$  observações de  $X_{(1)}, \dots, X_{(n)}$ , os valores  $U_{(i)}=F(X_{(i)})$  são computados, como mostrado a seguir. A estatística ( $D$ ) de Kolmogorov-Smirnov é baseada na maior diferença vertical entre  $F(x)$  e  $F_n(x)$ , sendo definida como:

$$D = \sup x |F_n(x) - F(x)|$$

A estatística de Kolmogorov-Smirnov é computada como o máximo de  $D^+$  e  $D^-$ , onde  $D^+$  é a maior distância vertical entre o EDF e a função de distribuição quando o EDF é maior que a função de distribuição e  $D^-$  é a maior distância vertical quando o EDF for menor que a função de distribuição.

$$D^+ = \max_i ( (i/n) - U_{(i)} )$$

$$D^- = \max_i ( U_{(i)} - (i-1)/n )$$

$$D = \max ( D^+, D^- )$$

O procedimento CAPABILITY do SAS System usa a estatística  $D$ , de Kolmogorov, modificada para testar os dados contra a distribuição normal com média e variância igual à média e variância da amostra. No procedimento MODEL, a estatística é utilizada somente para amostras acima de 2000 indivíduos. No caso de pequenas amostras é utilizado o teste de Shapiro-Wilk, descrito para o “Teste de normalidade dos dados” em substituição ao teste de Kolmogorov-Smirnov. No procedimento MODEL, o teste de normalidade é obtido pela opção NORMAL da declaração FIT como no exemplo:

```
PROC MODEL;
PARMS A B C;
Y=A+B*X1+C*X2;
FIT Y / NORMAL;
```

#### 4.9 Análise de covariância

Para avaliar diferenças de inclinação e nível entre as curvas de crescimento em diâmetro, altura e volume entre as árvores médias e dominantes, utilizaram-se a análise de covariância.

A análise de covariância, segundo Steel e Torrie (1960), utiliza conjuntamente os conceitos de análise de variância e regressão e está relacionada a duas ou mais variáveis medidas, chamadas de variáveis independentes, onde não se exerceu um controle exato sobre as mesmas.

Segundo Freund e Littell (1981), 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 escrito como:

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

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 grupo de linhas paralelas; a inclinação comum é identificada por  $B$  e o intercepto por  $(\beta_0 + \tau_i)$ .

A análise de covariância permite a comparação de 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 programa de computador Statistical Analysis System (SAS).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise de tronco das parcelas desbastadas

Os dados da análise de tronco das oito árvores, amostradas nas parcelas do experimento, foram processadas no programa ANATRO (Análise de Tronco), cujos resultados foram utilizados para o estudo do crescimento do diâmetro, altura e volume em função da idade.

Nos Anexos 1 a 8, encontram-se os resultados do processamento dos dados das medições da análise de tronco das árvores, dominantes e médias, das parcelas experimentais. Os resultados são apresentados por idade para as variáveis: diâmetro à altura do peito e incrementos corrente e médio anual; altura total e incrementos corrente e médio anual; área basal e incrementos corrente e médio anual; volume e incrementos corrente e médio anual; fator de forma comum; fator de forma de Hohenadl; e, diâmetro de Hohenadl.

### 4.2 Relação hipsométrica

Para a determinação da altura total das árvores, não mensuradas nas parcelas experimentais, foi estudada uma equação de relação hipsométrica. Para isto, foram testadas oito equações de relação, entre altura e diâmetro, que se encontram discriminadas na Tabela 1.

Os resultados estatísticos, encontram-se na Tabela 4, sendo,  $\ln h = -0.0612 + 0.9038 \cdot \ln d$ , a que apresentou uma melhor precisão estatística, com um coeficiente de determinação ajustado de 0,9721, um erro padrão da estimativa de 0,0582 e um valor de F de 2.966, altamente significativo. Igualmente, com boa precisão, foi a equação de  $h = d^2 / (0.3587 + 1.2936 \cdot d + 0.0049 \cdot d^2)$ , com parâmetros estatísticos semelhantes, sendo necessário a análise gráfica dos resíduos, para escolhermos a melhor equação.

TABELA 4 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para relação hipsométrica.

Nº Equação	Coeficientes			R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	F
	b <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>			
1	0,1498	0,7364	-0,0016	0,97	1,02	1661
2	-0,0612	0,9038		0,97	0,06	266
3	3,0126	-7,1232		0,74	0,28	3938
4	18,4851	-66,1772		0,57	3,84	157
5	0,1129	0,6924	2,3013	0,97	1,19	1658
6	8,3353	-19,1661	0,0152	0,94	1,42	939
7	0,3587	1,2936	0,0049	0,97	1,07	2005
8	10,4141	-10,8195	4,0622	0,97	1,08	1684

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

Nas Figuras 4 e 5, é apresentada a distribuição dos valores residuais por classe de variável dependente, expressa pela altura., para as equações.

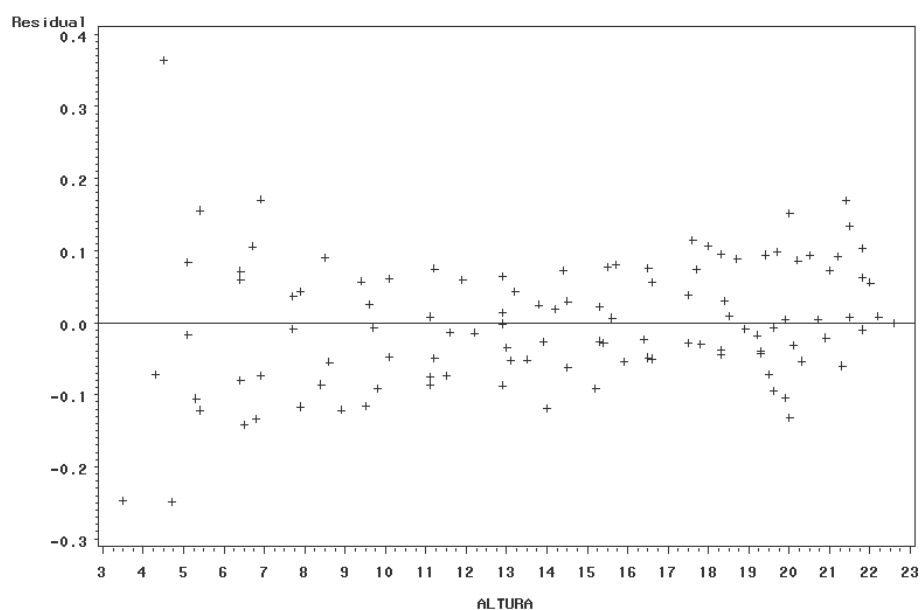


FIGURA 4 – Resíduo da equação  $\ln h = -0.0612 + 0.9038 \ln d$ .

Observa-se que, ambas as equações, apresentaram uma distribuição dos valores residuais aproximadamente iguais. Em face disto, devido ao maior coeficiente de determinação ajustado e menor erro padrão da estimativa, a equação  $\ln h = -0.0612 + 0.9038 \cdot \ln d$  foi selecionada para estimar os valores de altura em função do diâmetro das árvores.

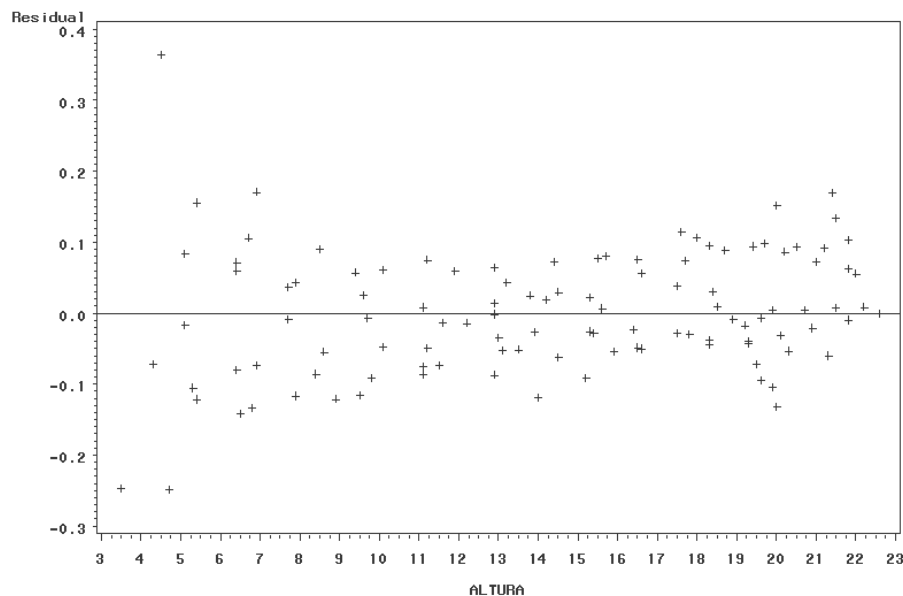


FIGURA 5 – Resíduo da equação  $h = d^2 / (0.3587 + 1.2936 \cdot d + 0.0049 \cdot d^2)$ .

### 4.3 Volume

Os resultados estatísticos, destas equações de volume testadas, encontram-se na Tabela 5, indicando que a equação  $\ln v = -7.5659 + 0.2228 \cdot \ln d + 0.2372 \cdot (\ln d)^2 + 1.0253 \cdot \ln h + 0.073 \cdot (\ln h)^2$ , foi a que apresentou melhor precisão estatística, com um coeficiente de determinação ajustado, igual a 0,9970, um erro padrão da estimativa de 0,0736 e um valor de F igual a 9.202,6, altamente significativo. Igualmente precisa foi a equação  $\ln v = -9.7343 + 0.9548 \cdot \ln h$ .

Nas Figuras 6 e 7, encontra-se a distribuição dos valores residuais dessas equações.

TABELA 5 - Parâmetros estatísticos das equações de volume testadas.

Nº Equação	Coeficientes					R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>			
1	-0,2642	0,0293				0,82	0,12	542
2	-0,0676	0,00083				0,90	0,09	1103
3	0,0049	0,00004				0,92	0,08	1328
4	-0,0226	-0,0001	0,00004	0,0049		0,93	0,08	474
5	-9,3861	2,6272				0,96	0,31	3060
6	-9,7343	0,9548				0,99	0,11	15674
7	-9,5794	1,3658	1,5120			0,99	0,12	9303
8	-7,5659	0,2228	0,2372	1,0253	0,073	0,99	0,07	9203

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

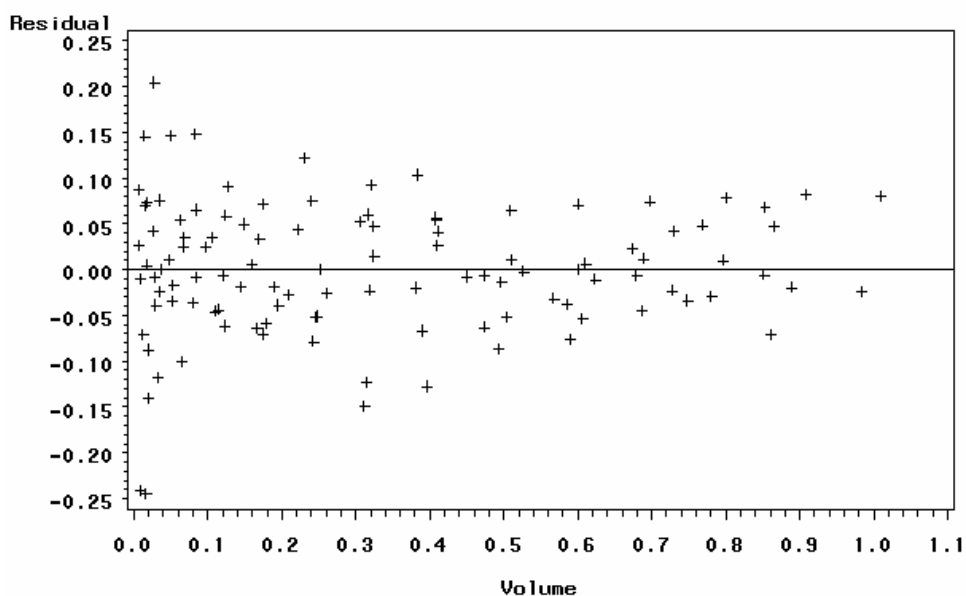


FIGURA 6 – Resíduo da equação de volume  $\ln v = -7.5659 + 0.2228 \cdot \ln d + 0.2372 \cdot (\ln d)^2 + 1.0253 \cdot \ln h + 0.073 \cdot (\ln h)^2$ .

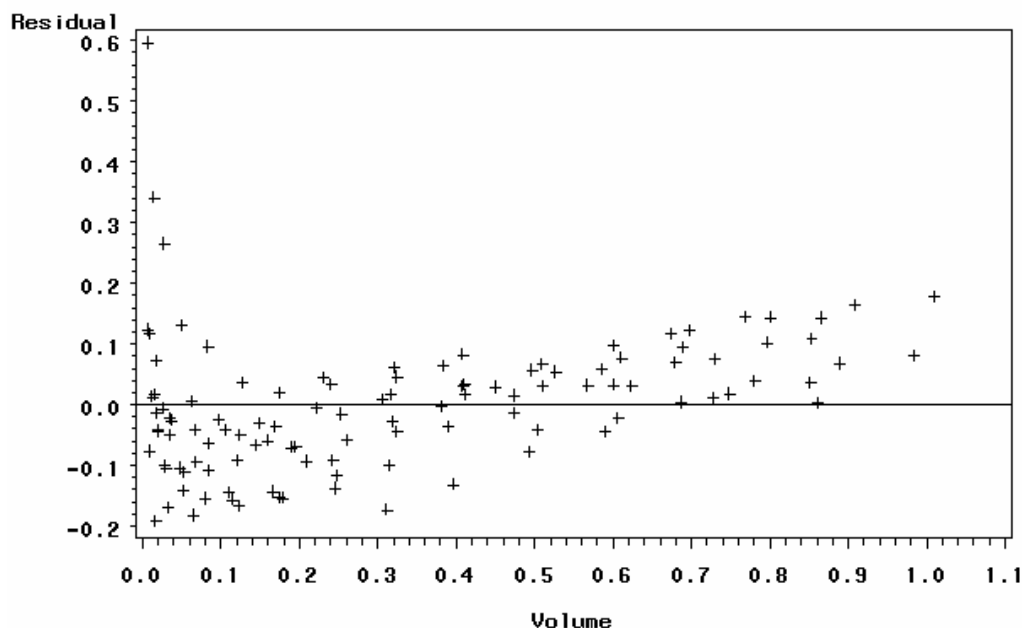


FIGURA 7 – Resíduo da equação de volume  $\ln v = -9.7343 + 0.9548 \ln h$

#### 4.4 Influência do desbaste no crescimento em diâmetro, altura e volume

As equações de crescimento, testadas para estimar o diâmetro a altura do peito, altura total e volume das árvores dominantes das parcelas experimentais, encontram-se na Tabela 3 e os resultados, na Tabela 6.

Os resultados das equações testadas para estimar o crescimento em diâmetro à altura do peito, a partir do total de dados amostrados, representados pelas árvores médias e dominantes, encontram-se discriminados na Tabela 6. Observa-se que a equação 4, expressa por  $y = b_0 \cdot (1 - \exp^{(-b_1 \cdot t)})^{b_2}$ , definida pelo Modelo de Crescimento de Richards, foi a que apresentou melhor precisão estatística, tendo acusado um coeficiente de determinação ajustado de 0,9945, superior ao das demais equações, bem como, um baixo erro padrão da estimativa de 1,9307 e um valor de F de 4.662,7, altamente significativo.

TABELA 6 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em diâmetro, altura e volume de todas as árvores amostradas.

Variável dependente	Número equação	Coeficientes			R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	F
		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>			
Diâmetro	1	-10,598	5,0156	-0,4671	0,96	0,26	1372
	2	-0,0941	-0,0649	1,6287	0,93	0,13	776
	3	130,900	0,0163		0,99	2,01	6441
	4	43,2846	0,0977	1,6146	0,99	1,93	4663
	5	2,2750	0,0010	0,9322	0,99	2,04	6256
Altura	1	-0,7649	2,0047	-0,2277	0,94	0,11	924
	2	-0,3053	-0,0539	1,5169	0,94	0,11	936
	3	88,9870	0,0169		0,99	1,25	8343
	4	29,0785	0,1097	1,7286	0,99	1,15	6523
	5	1,6660	0,0010	0,9314	0,99	1,27	7973
Volume	1	-10,598	5,0156	-0,4671	0,96	0,26	1373
	2	-9,6260	-0,1077	3,9886	0,96	0,26	1377
	3	448357	8E-8		0,86	0,16	709
	4	4,7328	0,06095	3,8724	0,97	0,07	1509
	5	0,00064	0,0010	2,5509	0,97	0,07	2228

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

Além disto, o Modelo de Crescimento de Richards também apresentou uma boa distribuição dos valores residuais, quando relacionado com a variável dependente em diâmetro, como pode ser observado na Figura 8.

Para a estimativa da altura em função da idade, também, foi selecionada a equação 4, expressa por  $y = b_0 \cdot (1 - \exp^{(-b_1 \cdot t)})^{b_2}$ , definida pelo Modelo de Crescimento de Richards, que apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9945, ligeiramente superior aos demais modelos testados, e um erro padrão da estimativa de 1,1503, um valor de F de 6.523,0, altamente significativo, como pode ser observado na Tabela 6. Na Figura 9, pode ser observada a distribuição dos valores residuais em função da variável dependente altura.

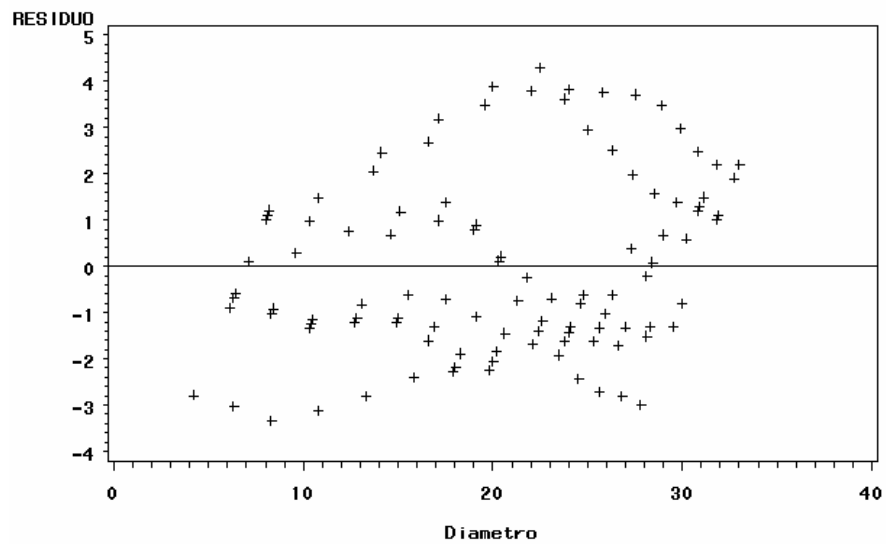


FIGURA 8 – Distribuição dos resíduos da equação 4 de Richards para estimativa do diâmetro em função da idade.

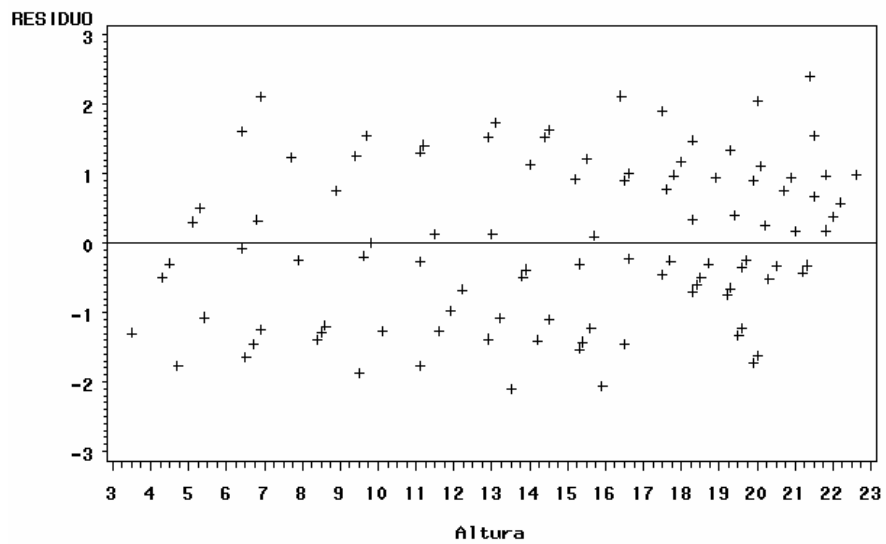


FIGURA 9 – Distribuição dos resíduos da equação 4 de Richards para estimativa da altura em função da idade.

Das equações testadas para estimar o volume em função da idade, a que apresentou melhores parâmetros estatísticos, foi, igualmente, a equação

de equação 4, expressa por  $y = b_0 \cdot (1 - \exp^{-b_1 \cdot t})^{b_2}$ , definida pelo Modelo de Crescimento de Richards, que mostrou um coeficiente de determinação de 0,9764, superior ao das demais equações, um baixo erro padrão da estimativa de 0,0674 e um valor de F de 1.509,2, altamente significativo, conforme pode ser observado na Tabela 6.

Para esta equação, é apresentado na Figura 10 o valor residual por classe de variável dependente, expressa pelo volume. Observa-se que a equação apresentou uma tendência a estimar valores com maior desvio nas maiores árvores do que nas menores. Embora que, de uma forma geral, exista uma distribuição equilibrada dos resíduos por classe de volume.

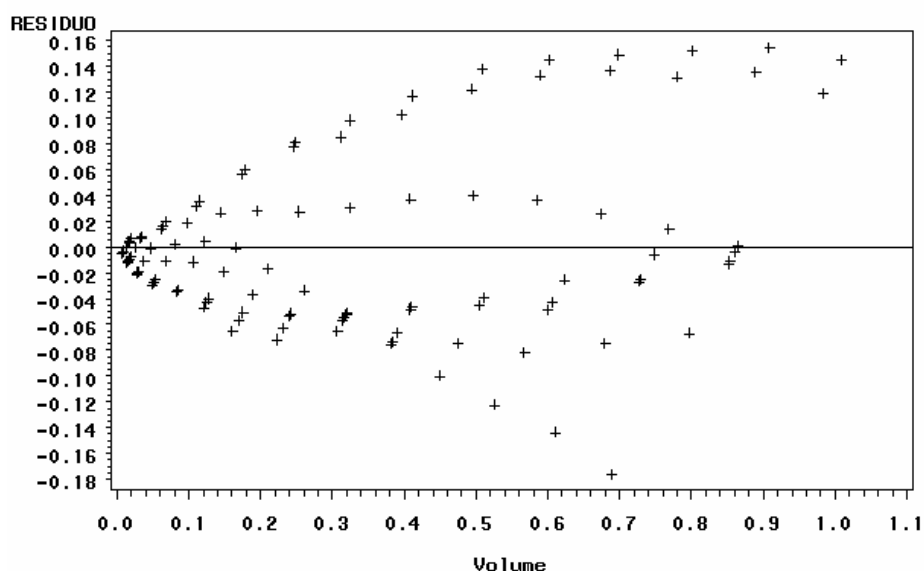


FIGURA 10 – Distribuição dos resíduos da equação 4 de Richards para estimativa do volume em função da idade.

Na Figura 11, pode ser visualizada a tendência do crescimento em diâmetro em função da idade das árvores médias, dominantes e totais, amostrado na população experimental. Observa-se que a tendência de crescimento em diâmetro em função da idade do total das árvores amostradas, das árvores médias e dominantes, apresentou diferença considerável em torno dos 8 anos, acentuando-se mais após os 14 anos de idade. Esta diferenciação de crescimento pode ser considerada normal, podendo ser atribuída a influência do peso do desbaste sobre o



desenvolvimento das árvores médias, uma vez que, este efeito, não se manifesta sobre as árvores dominantes da população.

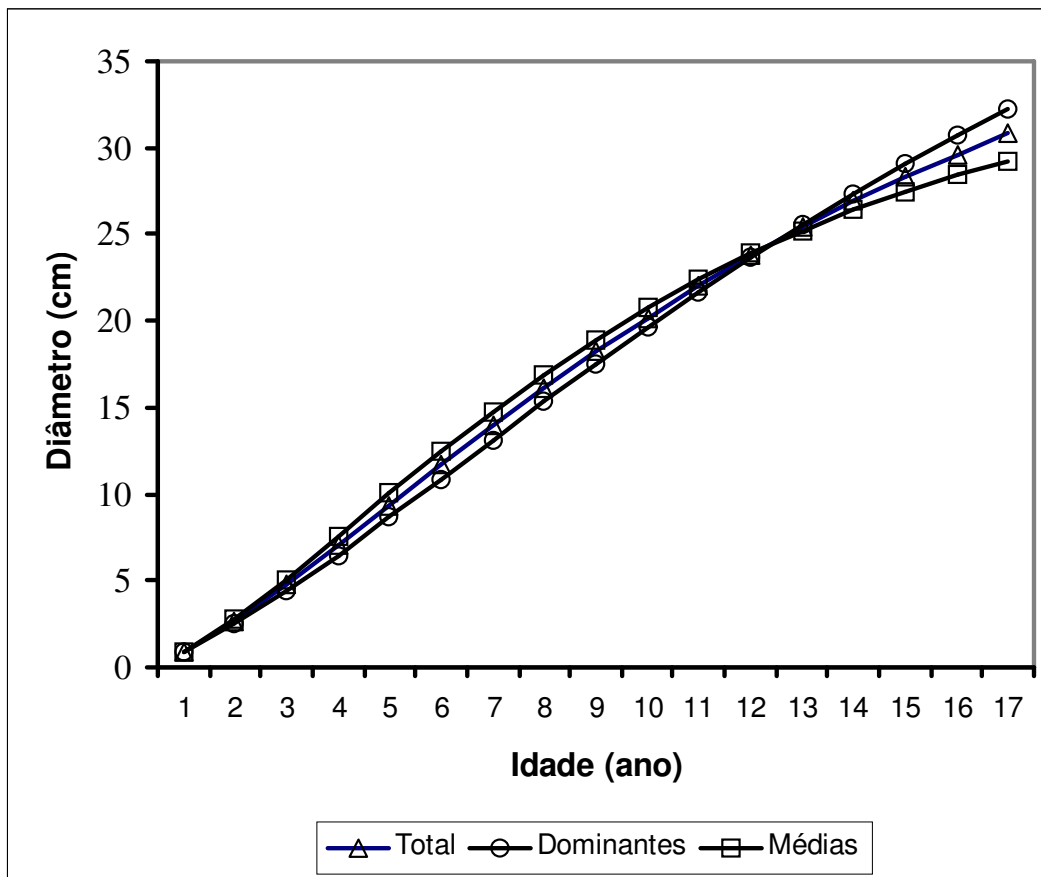


FIGURA 11 – Tendência de crescimento em diâmetro das árvores médias e dominantes da população em função da idade.

Na Figura 12 pode ser visualizada a tendência do crescimento em altura em função da idade das árvores médias, dominantes e totais amostrado na população experimental. Observa-se que a tendência de crescimento em altura em função da idade do total das árvores amostradas, das árvores médias e dominantes apresentou uma diferença constante ao longo do tempo, o que pode ser considerada normal. Esta diferença de crescimento em altura, especialmente entre as árvores dominantes e médias, é atribuída à influência do peso do desbaste sobre o desenvolvimento das árvores médias, considerando que a execução dos desbastes foi feita por baixo, o que normalmente diminui o valor da altura médio das árvores.

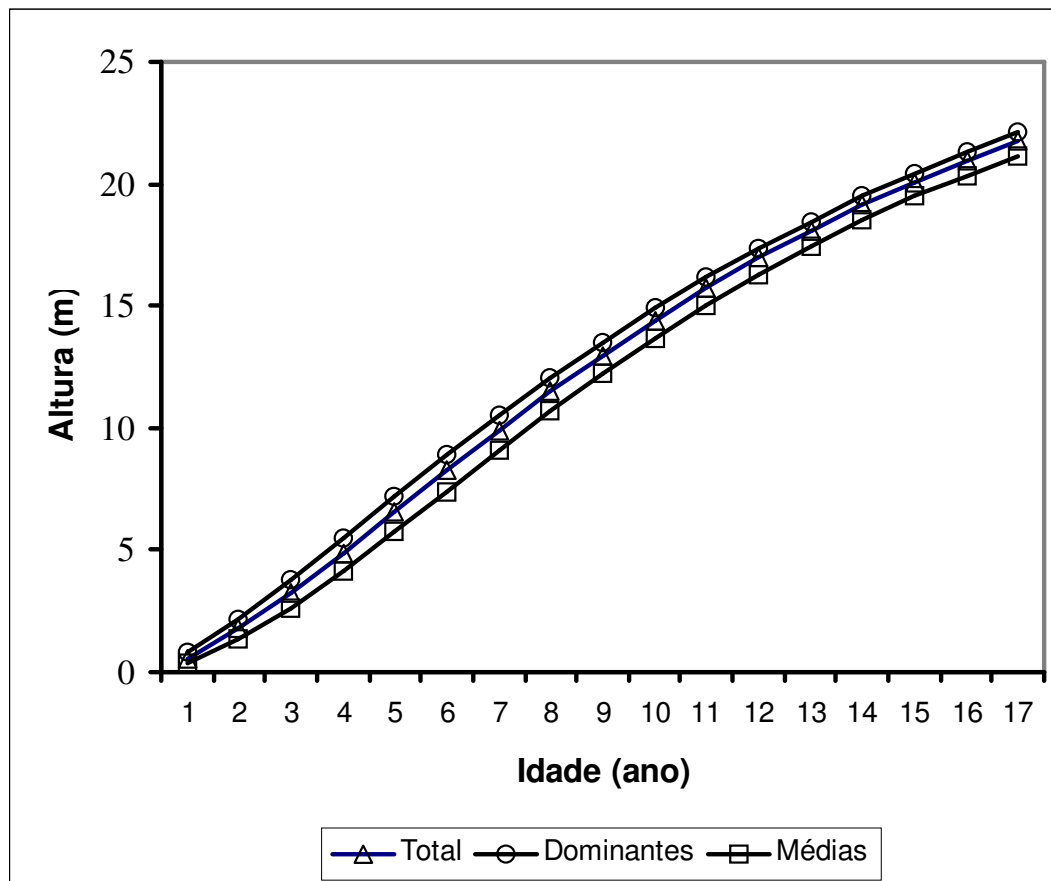


FIGURA 12 – Tendência de crescimento em altura das árvores médias e dominantes da população em função da idade.

Na Figura 13, pode ser visualizada a tendência do crescimento em volume, em função da idade das árvores médias, dominantes e totais, amostrado na população experimental. Nota-se que a tendência de crescimento em volume em função da idade do total das árvores amostradas, das árvores médias e dominantes, apresentou uma diferença ao longo do tempo, que pode ser considerada normal. No entanto, a partir dos 15 anos, houve inversão da tendência de crescimento em volume das árvores médias em relação às dominantes. Esta diferença de crescimento em volume pode ser atribuída a influência do peso do desbaste por baixo sobre o desenvolvimento das árvores médias, que tendem a mudar a relação altura sobre o diâmetro.

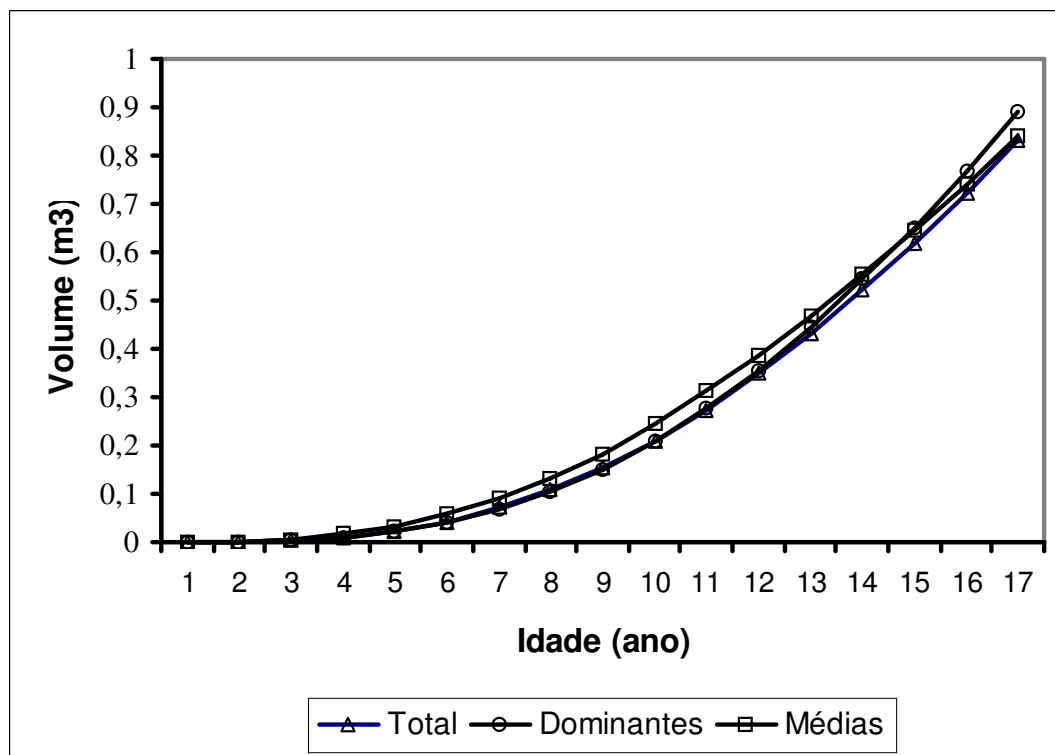


FIGURA 13 – Tendência de crescimento em volume das árvores médias e dominantes da população em função da idade.

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os resultados estatísticos das equações testadas para as estimativas individualizadas para árvores médias e dominantes da população experimental.

TABELA 7 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o diâmetro, altura e volume das árvores dominantes.

Variável dependente	Número equação	Coeficientes			$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	F
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
Diâmetro	1	-0,7934	2,2142	-0,250	0,93	0,14	350
	2	-0,2495	-0,0556	1,6432	0,93	0,13	348
	3	2408776	8E-8		0,99	2,08	5716
	4	55,6932	0,0711	1,5435	0,99	2,03	1958
	5	1,7614	0,0010	1,0351	0,99	2,08	2840
Altura	1	-0,7753	2,1925	-0,244	0,93	0,14	377
	2	0,04801	-0,0432	1,3365	0,97	0,07	937
	3	-2249,4	-0,0005		0,99	1,47	3168
	4	28,0721	0,1184	1,9697	0,99	1,15	3061
	5	1,9209	0,0010	0,8741	0,99	0,94	7884
Volume	1	-10,5784	4,7009	-0,352	0,96	0,27	730
	2	-9,8658	-0,0833	3,9449	0,96	0,27	733
	3	1187154	3E-8		0,85	0,17	315
	4	5,6242	0,0607	4,1863	0,98	0,06	961
	5	0,00038	0,0010	2,7396	0,98	0,06	1425

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

TABELA 8 - Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o diâmetro, altura e volume das árvores médias.

Variável dependente	Número equação	Coeficientes			$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	F
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
Diâmetro	1	-0,6678	2,3833	-0,3376	0,96	0,08	740
	2	0,0569	-0,0757	1,6212	0,96	0,08	729
	3	421533	8E-8		0,85	0,16	305
	4	35,3462	0,1342	1,7620	0,99	1,51	3776
	5	2,9242	0,00010	0,8293	0,99	1,74	4243
Altura	1	-0,3099	1,7172	-0,1802	0,97	0,07	913
	2	0,0480	-0,0432	1,3365	0,97	0,07	937
	3	2328675	6E-8		0,99	1,12	11000
	4	30,0307	0,1003	1,5337	0,99	0,79	7366
	5	1,9209	0,0010	0,8741	0,99	0,94	7884
Volume	1	-10,618	5,3303	-0,5819	0,97	0,21	1008
	2	-9,3863	-0,1321	4,0323	0,93	0,21	1009
	3	237506	1,52E-7		0,88	0,15	397
	4	3,5596	0,0668	3,7297	0,97	0,07	636
	5	0,00103	0,0010	2,3734	0,97	0,07	946

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

Observa-se pelos resultados que, em ambos os casos, tanto para as árvores de diâmetro médio como dominantes, a equação de número 4, expressa por  $y = b_0 \cdot (1 - \exp^{(-b_1 \cdot t)})^{b_2}$ , foi a que apresentou um maior coeficiente de determinação ajustado e baixo erro padrão da estimativa, sendo, portanto, selecionada para as estimativas do diâmetro à altura do peito, altura e volume para as árvores médias e dominantes da população.

#### 4.5 Análise de covariância do crescimento

A seguir, é apresentada a análise de covariância individualizada para o crescimento em diâmetro, altura e volume, tendo por classe de tipo de árvores de diâmetro médio e dominante da população amostral.

#### 4.5.1 Análise de covariância do crescimento em diâmetro

Na Tabela 9, é apresentado o resultado da análise de covariância para a variável dependente do crescimento em diâmetro, tendo por classe de tipo as árvores médias e dominantes da população.

TABELA 9 – Análise de covariância para o crescimento em diâmetro em função da idade por classe de tipo de árvore.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	3	6279,67	2093,22	558,69	< 0,0001
Tipo de árvore	1	0,3543	0,3543	0,09	0,7590
Erro	108	404,64	3,7467		
Total	111	6684,31			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrado; QM = quadrado médio; F = valor de F; Prob. = probabilidade.

Observa-se na Tabela 9 que o valor de F para o tipo de árvore, definidas pelo tipo de árvores médias e dominantes das populações amostradas, foi igual a 0,09, não significativo a probabilidade inferior a 0,7590. Isto comprova os resultados do crescimento das árvores médias e dominantes representadas na Figura 11, onde não se verificou significativa diferença das tendências de crescimento até os 14 anos de idade. A partir desta idade, houve uma acentuando diferença de crescimento em diâmetro, o que é indicação do início do efeito dos desbastes por baixo executados na população. É previsível que, a partir da idade máxima analisada, comecem a surgir maiores diferenças entre as árvores médias e dominantes da população, em decorrência do efeito dos desbastes.

#### 4.5.2 Análise de covariância do crescimento em altura

Na Tabela 10, é apresentado o resultado da análise de covariância para a variável dependente em crescimento em altura, tendo por classe de tipo as árvores médias e dominantes da população.

TABELA 10 – Análise de covariância para o crescimento em altura em função da idade por classe de tipo de árvore.

<b>Fonte de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob.&gt;F</b>
Modelo	3	3164,05	1054,68	1083,38	< 0,0001
Tipo de árvore	1	40,20	40,20	41,29	< 0,0001
Erro	108	105,14	0,9735		
Total	111	3269,19			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrado; QM = quadrado médio; F = valor de F; Prob. = probabilidade.

Observa-se, na Tabela 10, que o valor de F para o tipo de árvore, definidas pelo tipo de árvores médias e dominantes das populações amostradas, foi igual a 42,29, significativo a probabilidade superior a 0,0001. Isto comprova os resultados do crescimento em altura das árvores médias e dominantes, representadas na Figura 12, onde se verificou uma diferença constante ao longo do tempo. Esta diferença de crescimento em altura das árvores médias e dominantes é previsível, sendo uma consequência natural do efeito dos desbastes por baixo executados na população.

#### 4.5.3 Análise de covariância do crescimento em volume

Na Tabela 11, é apresentado o resultado da análise de covariância para a variável dependente em crescimento em volume, tendo por classe de tipo as árvores médias e dominantes da população.

TABELA 11 – Análise de covariância para o crescimento em volume em função da idade por classe de tipo de árvore.

<b>Fonte de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob.&gt;F</b>
Modelo	3	8,4307	2,8102	615,9	< 0,0001
Tipo de árvore	1	0,0035	0,0035	0,77	0,3824
Erro	108	0,4927	0,0045		
Total	111	8,9235			

Onde: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrado; QM = quadrado médio; F = valor de F; Prob. = probabilidade.

Observa-se, na Tabela 11, que o valor de F para o tipo de árvore, definidas pelo tipo de árvores médias e dominantes das populações amostradas, foi igual a 0,77, não significativo a probabilidade inferior a 0,7590. Isto comprova os resultados do crescimento das árvores médias e dominantes, representadas na Figura 13, onde não se verificou significativa diferença estatística das tendências de crescimento ao longo do tempo. No entanto, ao longo do tempo, pode-se perceber que houve diferença relativa do crescimento em volume, tendo um aumento, aproximadamente constante no tempo, indicando que as árvores médias diferem-se das dominantes, em relação à razão altura sobre o diâmetro, cuja diferença aumenta numa proporção direta com a idade e sob efeito do desbaste.

#### 4.6 Validação dos modelos de crescimento

Para a validação dos modelos de regressão foram testadas as exigências estatísticas, quanto a homogeneidade de variância, normalidade e independência dos valores. Na Tabela 12, são apresentados os valores das estatísticas de homogeneidade de variância feita pelo teste de  $\chi^2$ , independência dos valores residuais pelo teste D de Durbin-Watson; e a normalidade pelo teste W de Shapiro-Wilk.

TABELA 12 – Parâmetros estatísticos dos testes de validação dos modelos de regressão

<b>Variável dependente</b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>Durbin-Watson D</b>	<b>Shapiro-Wilk W</b>
Diâmetro	9,32 NS	1,82 NS	0,93 **
Altura	12,75 NS	1,79 NS	0,99 NS
Volume	13,54 NS	1,77 NS	0,95 NS

Sendo: NS = não significativos ao nível de 1% de probabilidade; \*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados estatísticos de  $\chi^2$  indicam que os valores das variáveis dependentes em diâmetro, altura e volume apresentaram homogeneidade de



variância, pois os valores calculados foram não significativos ao nível de 1% de probabilidade. Da mesma forma, os valores estatísticos de D de Durbin-Watson não foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, indicando serem os valores dos resíduos das variáveis em dependentes diâmetros, altura e volume são independentes estatisticamente. Por outro lado, para os valores obtidos pelo teste W, de Shapiro-Wilk, para altura e volume foram não significativos ao nível de 1% de probabilidade, indicando que atendem ao critério da normalidade. Porém, para o variável diâmetro não foi significativo ao nível de 1 % de probabilidade, indicando serem os dados não normais, o que impede o uso do valor de F para o teste de significância dos modelos, mas isto não se traduz em grande problema, pois, pode-se aceitar as demais estatísticas de coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa dos modelos.

#### **4.7 Influência do desbaste na produção volumétrica**

Na Tabela 13, são apresentados os resultados de produção da população experimental, submetida a um desbaste, dois desbastes e testemunha, cujas variáveis encontram-se discriminadas para o povoamento atual, desbastes e produção total, aos 17 anos de idade.

A produção total das parcelas testemunhas sem desbaste foi de 886,3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, com a realização de um desbaste, de 756,6 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> e, com dois desbastes de 732,9 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, apresentadas na Figura 14.

Em termos relativos, até os 17 anos de idade, a população manejada com a execução de um desbaste produziu uma redução de produção de 14,6 % e, com dois desbastes de 17,3 % em relação à testemunha, sem desbaste. Estas perdas de produção, por realização de desbaste, são previsíveis no curto prazo, no caso 17 anos de idade, pela execução dos desbastes pesados, pois, ainda, não havia tempo para os povoamentos poderem recuperar toda área basal e a massa desbastada.

TABELA 13 - Parâmetros das parcelas submetidas a dois desbastes, com controle da área basal remanescente, e testemunha, aos 17 anos de idade.

Tratamento	Povoamento Atual						Desbaste		Produção	
	d cm	h m	h <sub>100</sub> m	G m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	N ha	V m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	v <sup>1)</sup> m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	v <sup>2)</sup> m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	V m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	IMA m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
1 D	33,4	25,4	28,5	34,1	390	457,6	298,9		756,6	44,5
2 D	33,5	25,4	28,4	25,0	286	335,6	297,5	99,8	732,9	43,1
Test.	24,3	24,0	28,3	69,7	1500	886,3	-	-	886,3	52,1

Onde: d = diâmetro médio; h = altura média; h<sub>100</sub> = altura dominante de Assmann; G = área basal; N = número de árvores; V = volume com casca; IMA = incremento médio anual; <sup>1)</sup> = primeiro desbaste; <sup>2)</sup> = segundo desbaste.

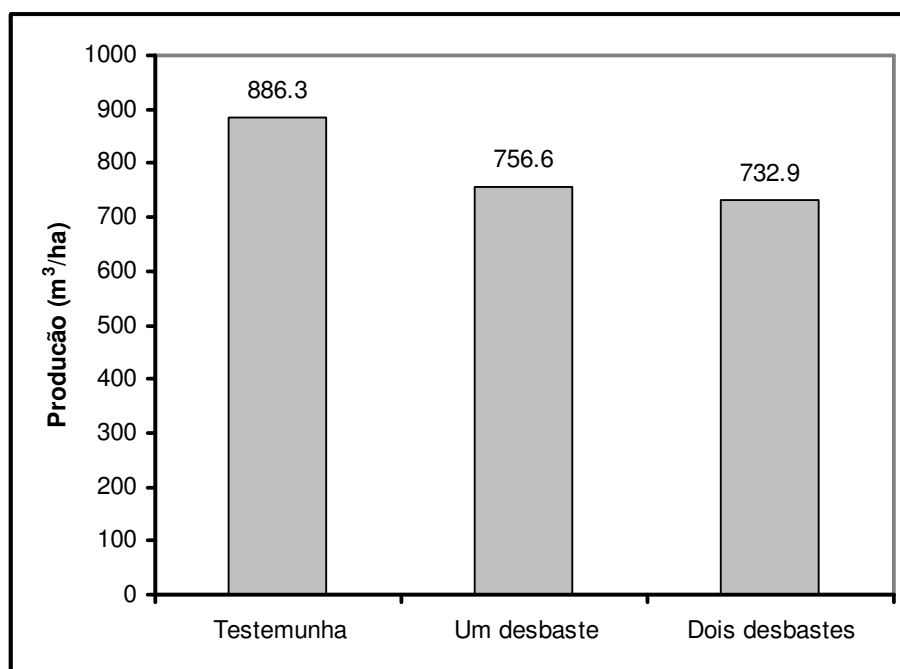


FIGURA 14 – Produção total aos 17 anos de idade.

Os resultados obtidos com a aplicação de um e dois desbastes não permitem confirmar a Teoria de Mar Müller de que; “dentro de certos limites de densidade, o incremento em volume não é afetado pelos desbastes”, pelo fato de os desbastes terem sido executados pesados e pelos povoamentos não terem ainda atingido a idade de rotação. Por outro lado, coincide com os resultados obtidos por Glufke (1976), para *Pinus elliottii*, de que se retirando

70% da área basal, em relação a uma testemunha sem desbaste, pode provocar perdas de 39% de produção.

Porém, os desbastes executados, quando comparados com a testemunha, sem desbaste, provocaram um ganho significativo em diâmetro, até os 17 anos de idade, pois, com a efetivação de um desbaste aos 11 anos, obteve-se um diâmetro médio de 33,4 cm e, com dois desbastes, aos 11 e 15 anos, de 33,5 cm, para 24,3 cm na testemunha, sem desbaste. Isto equivale a ganhos significativos em diâmetro de 9,1 cm, ou seja, 37,4 %, com a execução de um desbaste, e 9,2 cm, ou seja, 37,9 %, quando aplicados dois desbastes. Estes incrementos significativos são resultados da execução dos desbastes, mas que, inversamente, produzem uma redução na produção volumétrica, que deve ser compensada pelo valor econômico agregado aos produtos com maior dimensão, obtidos com a aplicação dos desbastes.

No entanto, é importante ressaltar que não houve um ganho de incremento diamétrico, com a aplicação de dois desbastes em relação a um desbaste, até os 17 anos de idade, que deve perdurar até da idade de rotação. Então, pode-se presumir que, nestas circunstâncias, a decisão técnica de ter realizado um segundo desbaste, 4 anos após o primeiro, não produziu efeitos positivos, nem em incremento diamétrico, como, também, em produção volumétrica.

Quanto ao crescimento em altura e altura dominante, não se pode atribuir influência ao peso e nem ao número de desbastes executados, pois os valores encontrados são numericamente semelhantes. Isto vem a confirmar a Teoria de Assmann, de que o peso do desbaste não produz efeito sobre o valor da altura dominante, porém pode afetar a altura média, como decorrência do tipo de desbaste executado. Estes resultados confirmam os obtidos por Schneider e Finger (1993).

#### **4.8 Influência do desbaste na distribuição de freqüência por classe de diâmetro**

Na Tabela 14, encontram-se os valores das freqüências por classe de diâmetro, para as áreas experimentais manejadas com um desbaste e dois desbastes por baixo.

TABELA 14 – Frequências absolutas por classe de diâmetro, nas populações manejadas com um e dois desbastes, aos 17 anos de idade.

.Classe DAP	Frequência Um Desbaste		Frequência Dois Desbastes	
	Amostra	ha	Amostra	ha
25 - 27	6	12	4	8
27 - 29	10	21	7	15
29 - 31	21	44	15	31
31 - 33	39	81	28	58
33 - 35	42	88	32	67
35 - 37	34	71	25	52
37 - 39	22	46	15	33
39 - 41	9	19	7	13
41 - 43	3	6	3	6
Total	186	388.	136	283.

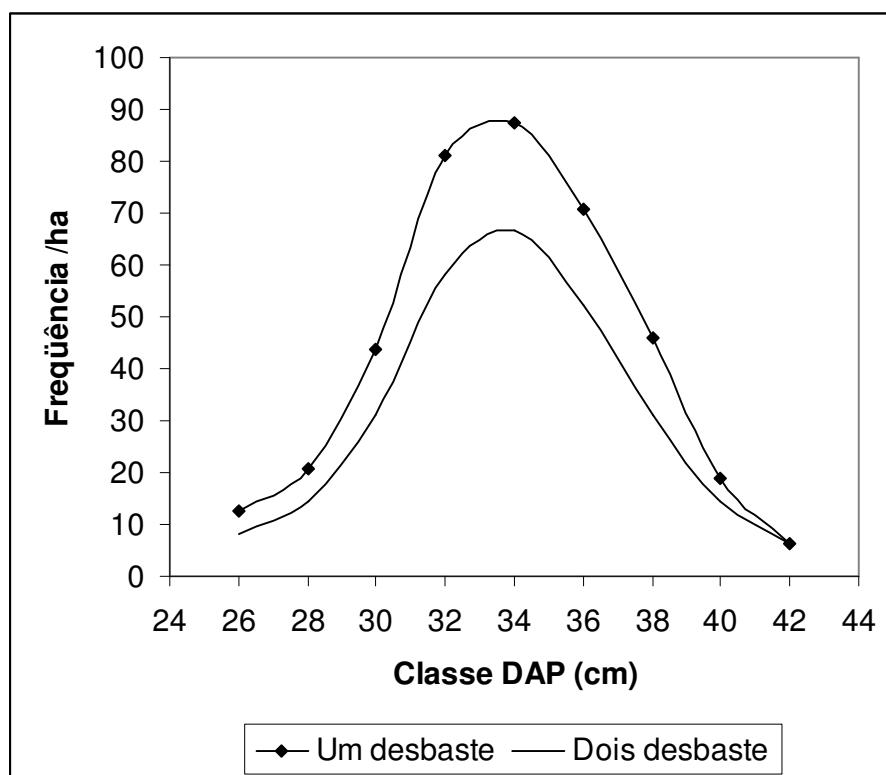


FIGURA 15 - Distribuição de frequência por classe de diâmetro das populações submetidas a um e dois desbastes, aos 17 anos de idade.

Observa-se nesta Figura 15 que, tanto com a execução de um desbaste como com dois desbastes, as distribuições de freqüência por classe de diâmetro, mantiveram-se, aproximadamente, normal, aos 17 anos de idade. Portanto, verifica-se que os desbastes não provocaram alterações na normalidade da distribuição de freqüência por classe de diâmetro nas duas populações analisadas. Isto, provavelmente, é uma decorrência da própria execução dos desbastes por baixo, em ambos os casos.

Por outro lado, quantitativamente, as freqüências por classe de diâmetro, alteraram-se de forma significativa. Isto permitiu constatar que a realização do segundo desbaste, além provocar perdas de produção volumétrica, não produz um recrutamento de indivíduos para as maiores classes de diâmetro – o que seria esperado, até da idade de 17 anos.

Nestas condições de manejo, com a realização de um desbaste, aos 11 anos de idade, se alcançaria um total de 387,6 árvores por hectare, enquanto que, com a aplicação de dois desbastes, aos 11 e 15 anos, obteriam 283,3 árvores por hectare, na idade de 17 anos. Isto equivale a uma diferença relativa de 26,9 %, que aliado às diferenças absolutas de freqüência nas classes de diâmetro, traduz-se inevitavelmente num reflexo negativo, nestas mesmas proporções, sobre o fluxo de caixa da empresa, ocasionado pelo simples fato de uma decisão técnica equivocada de realização de desbastes.

Espera-se que, no final da rotação, a distribuição das freqüências e volumes por classe diamétrica apresente uma maior diferenciação, talvez em favor do manejo com dois desbastes, em restrição ao com um desbaste.

Porém, nestas condições de crescimento, até os 17 anos de idade, a melhor opção de manejo seria a aplicação de um único desbaste. Porém, reside ainda a dúvida sobre o peso e ciclo ideais para a espécie e sítios, o que se deveria pesquisar com maior profundidade, enfocando a maximização da produção, ganho diamétrico e, conseqüentemente, o recrutamento das freqüências por classe de diâmetro.

## 5 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos no presente trabalho de pesquisa, sobre a influência dos desbastes por baixo com redução da área basal em populações de *Pinus taeda*, na região dos Campos de Cima da Serra, pode-se concluir:

a) Para o estudo do crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores médias e dominantes, foi selecionado o Modelo de Crescimento de Richards, por ter mostrado, em todos os casos, o maior coeficiente de determinação e um baixo erro padrão da estimativa.

b) A tendência do crescimento em diâmetro em função da idade das árvores médias, dominantes e totais amostrado apresentou diferença em torno dos 8 anos, acentuando-se após os 14 anos de idade, atribuída a influência do peso do desbaste sobre o desenvolvimento das árvores.

c) A tendência do crescimento em altura em função da idade das árvores médias, dominantes e totais amostrado, sob influência dos desbastes executados apresentou uma diferença constante em nível, ao longo do tempo, porém com inclinação constante.

d) A tendência de crescimento em volume em função da idade do total das árvores amostradas, das árvores médias e dominantes apresentou diferença a partir dos 15 anos, ocorrendo uma inversão da tendência de crescimento em volume das árvores médias em relação às dominantes, tendo sido atribuída a influência do peso do desbaste por baixo sobre o desenvolvimento das árvores médias, que tenderam a mudar a relação altura sobre o diâmetro.

e) A produção total das parcelas testemunhas, sem desbaste, foi de 886,3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, das com a realização de um desbaste aos 11 anos, de 756,6 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, resultando em perdas de 14,6 % de produção, com dois desbastes aos 11 e 15 anos, de 732,9 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, provocando perdas de 17,3 % de produção em relação à testemunha.

f) Os desbastes executados provocaram um ganho significativo em diâmetro, até os 17 anos de idade, pois com a execução de um desbaste aos

11 anos, obteve-se um diâmetro médio de 33,4 cm e, com dois desbastes, aos 11 e 15 anos, de 33,5 cm, para 24,3 cm na testemunha, sem desbaste.

g) Houve um ganho significativo em diâmetro de 9,1 cm, ou seja, 37,4 %, com a execução de um desbaste, aos 11 anos, e 9,2 cm, ou seja, 37,9 %, quando aplicados dois desbastes, aos 11 e 15 anos, quando comparado com a testemunha, sem desbaste.

h) A distribuição de freqüência por classe de diâmetro manteve-se normal, sem alteração substancial, até os 17 anos de idade, quando executado um e dois desbastes por baixo.

i) Os desbastes aplicados provocaram alteração significativa de freqüência por classe de diâmetro, sendo constatando que, com a execução do segundo desbaste, além de ter provocado perdas de produção volumétrica, não produziu ganho em incremento diamétrico e nem o recrutamento de indivíduos para as maiores classes de diâmetro, os 17 anos de idade.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. A. A. **Técnica de produção florestal: fundamentos, tipificação e métodos.** Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica, 1982. 331p.

ANDRAE, F. H. **Ecologia florestal.** Santa Maria: UFSM, 1978. 230p.

ASSMANN, E. **The principle of forest yield study.** [Oxford]: Pergamon press, 1970. 506 p.

ASSMANN, E. **Waldertragskunde.** München: BLV Verlagsgessellschaft, 1961.

ASSMANN, E. Zur Theorie der Grundflächenhaltung, **Fw. Gbl.** v. 78. p.321-330. 1968.

BOTELHO, S. A. Espaçamento. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal.** Lavras: Ed. UFV, 1997. 436p.

BRASIL. Programa Nacional de Floresta – PNF. Brasília: MMA/SBF/ DIFLOR, 2000.

COELHO, M. C. B.; FINGER, C. A. G. Crescimento em altura para *Pinus elliottii* Engelm originado por diferentes métodos de regeneração em Canela, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p. 139-155, 1997.

CRECHI, E. H.; FRIEDL, R. A.; FASSOLA. H. E.; FERNANDEZ R. A.; FAHLER, J. C. Efectos de la Intensidad y Oportunidad de Raleo en *Pinus taeda* L. sobre el crecimiento y la producción en el noroeste de Misiones, Argentina. In: **2° SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL.** Santa Maria: 13 e 14 de setembro de 2002. p 189-210.

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. **Principles of silviculture.** New York: McGraw-Hill, 1979, 500p.



DAVIS, K. P. **Forest management, regulation and valuation**. New York: McGraw - Hill, 1966. 519 p.

FLORIANO, E. P. **Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria - RS, Santa Maria, 2004. 93p.

FORTES, A. B. **Aspectos fisiográficos, demográficos e econômicos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Globo, 1956.

FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. **SAS for linear models: A guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary, NC: SAS institute, 1985, 230 p.

GLUFKE, C. **Crescimento de *Pinus elliottii* Engelm em povoamento desbastado**. Santa Maria: UFSM, 1996. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 1996.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123p.

IPAGRO. Instituto de Pesquisas Agronômicas. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas-agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, 1989. 3v.

JOHNSTON, D. R.; GRAYSON, A. J.; BRADLEY, R. T. **Planeamento Forestal**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1977. 798 p.

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.

LEMONS, R. C.; AZOLIN, M. A. D.; ABRÃO, P. V. R., *et al.* **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura, Departamento de Pesquisas Agropecuárias, Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

LOETSCH, F.; ZOHER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Berlim: BLV. v.2. 1973. 469p.

MAINARDI, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Produção de *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.39-52. 1996.

MONTAGNA, R. G.; YAMAZOC, G. Utilização da madeira de pequenas dimensões. **Silvicultura**, São Paulo, v. 2, n. 14, p. 178-179, 1978.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Oficinas Gráficas da Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.

MOTTA, F. S.; BEIRSDORF, M. J. C.; GARCEZ, R. B. **Zoneamento agrícola do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**: normas agro-climáticas. Pelotas: Ministério da Agricultura, 1971. 80p.

NEMEC, A. F. L. **Analysis of repeated measures and time series: na introduction with forestry examples**. Biom. Inf. Handb. 6. Res. Br., B.C.Min. For., Victoria, B.C. Work Pap. 15/1996. 90p.

OLIVER, C. D.; LARSON, B. C. **Forest stand dynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 517p.

REINSTORF, L. O. **The influence of stand density on growth of *Pinus elliottii***. Stellenbosch: Forestry University of Stellenbosch, 1970. 62p. Dissertação (Mestrado) - University of Stellenbosch, 1970.

SAS. **A simple regression model with correction of heteroscedasticity**. Cary: SAS Institute, 2004.

SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura. O setor florestal Brasileiro: Fatos e Números, 2002.

SCHNEIDER, P. R. **Betriebswirtschaftliche und ertragskundliche grundlagen der forsteinrichtung in sudbrasilien am beispiel von *Pinus elliottii***. 1984, 190 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade de Freiburg, Freiburg, 1984.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; COZER, E. *et al.* Efeito da intensidade de desbaste sobre o crescimento e produção de povoamentos de *Pinus elliottii* E. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE FLORESTAS PLANTADAS, set. 1991, Santa Maria. **Anais...** Esteio: UFSM, 1991. p.150-167.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo florestal.** Santa Maria: Ed. FACOS, 2008. 566 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Influência da intensidade do desbaste sobre o crescimento em altura de *Pinus elliottii* E. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p.95-103. 1993b.

SCHULTZ, J. P. **Curso de silvicultura I.** Merida: Univesidade de Los Andes, Centro de Estudios de Posgrado, 1969. 29p.

SCHWEINBRUGER, F. H. **Tree rings and environment dendroecology.** Viena: Haupt. 1996. 609p.

SPIECKER, H. **Análise do crescimento florestal.** Curitiba: FUPEF, Série Técnica nº 8, 1981. 62 p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics with special reference to the biological science.** New York: McGraw-Hill, 1960, 481p.

TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no Estado do Rio Grande do Sul.** 2000. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria - RS, Santa Maria, 2000.

## ANEXO 1 - Resultados da análise de tronco de uma árvore dominante 1.

Idade (ano)	DAP (cm)	ICA (cm)	IMA (cm)	Altura (m)	ICA (m)	IMA (m)	G (m <sup>2</sup> )	ICA (m <sup>2</sup> )	IMA (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	ICA (m <sup>3</sup> )	IMA (m <sup>3</sup> )	F	FH	DH
17	32.7	1.80	1.92	21.3	1.0	1.3	.084	.009	.005	.860	.112	.051	.481	.525	31.3
16	30.9	2.50	1.93	20.3	.7	1.3	.075	.012	.005	.748	.125	.047	.490	.527	29.8
15	28.4	2.10	1.89	19.6	1.1	1.3	.063	.009	.004	.623	.112	.042	.501	.529	27.6
14	26.3	2.15	1.88	18.5	1.1	1.3	.054	.009	.004	.510	.100	.036	.507	.529	25.7
13	24.1	2.00	1.86	17.5	1.9	1.3	.046	.007	.004	.410	.090	.032	.512	.528	23.8
12	22.1	2.20	1.85	15.6	1.1	1.3	.039	.007	.003	.320	.079	.027	.532	.543	21.9
11	20.0	2.10	1.81	14.5	1.3	1.3	.031	.006	.003	.240	.066	.022	.531	.538	19.8
10	17.9	2.05	1.79	13.2	1.3	1.3	.025	.005	.003	.175	.048	.017	.528	.529	17.8
9	15.8	2.50	1.76	11.9	1.8	1.3	.020	.006	.002	.127	.044	.014	.542	.478	16.8
8	13.3	2.50	1.66	10.1	1.6	1.3	.014	.005	.002	.083	.034	.010	.593	.411	16.0
7	10.8	2.55	1.54	8.5	1.8	1.2	.009	.004	.001	.049	.022	.007	.637	.352	14.5
6	8.3	1.90	1.38	6.7	1.3	1.1	.005	.002	.001	.027	.013	.005	.000	.311	12.9
5	6.3	2.15	1.27	5.4	.9	1.1	.003	.002	.001	.014	.007	.003	.000	.290	10.7
4	4.2	2.15	1.05	4.5	1.4	1.1	.001	.001	.000	.007	.004	.002	.000	.279	8.4
3	2.0	.75	.68	3.1	.7	1.0	.000	.000	.000	.003	.002	.001	.000	.300	6.0
2	1.3	1.30	.65	2.4	1.6	1.2	.000	.000	.000	.001	.001	.000	.000	.347	3.6
1	.0	.00	.00	.8	.8	.8	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.281	1.5





## ANEXO 4 - Resultados da análise de tronco de uma árvore dominante 4.

Idade (ano)	DAP (cm)	ICA (cm)	IMA (cm)	Altura (m)	ICA (m)	IMA (m)	G (m <sup>2</sup> )	ICA (m <sup>2</sup> )	IMA (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	ICA (m <sup>3</sup> )	IMA (m <sup>3</sup> )	F	FH	DH
17	33.0	1.95	1.94	20.0	.4	1.2	.086	.010	.005	.851	.124	.050	.498	.527	32.1
16	31.1	2.05	1.94	19.6	.3	1.2	.076	.010	.005	.727	.122	.045	.490	.517	30.2
15	29.0	1.75	1.93	19.3	.9	1.3	.066	.008	.004	.606	.102	.040	.476	.502	28.2
14	27.3	2.45	1.95	18.3	1.9	1.3	.058	.010	.004	.504	.096	.036	.471	.495	26.6
13	24.8	2.15	1.91	16.5	1.0	1.3	.048	.008	.004	.408	.092	.031	.512	.526	24.5
12	22.6	2.85	1.89	15.4	1.3	1.3	.040	.010	.003	.316	.094	.026	.508	.519	22.4
11	19.8	1.80	1.80	14.2	1.2	1.3	.031	.005	.003	.222	.061	.020	.509	.514	19.7
10	18.0	1.45	1.80	12.9	1.3	1.3	.025	.004	.003	.160	.041	.016	.487	.486	18.0
9	16.6	1.70	1.84	11.6	1.6	1.3	.022	.004	.002	.120	.036	.013	.478	.460	16.9
8	14.9	2.15	1.86	10.1	1.4	1.3	.017	.005	.002	.084	.031	.011	.482	.446	15.4
7	12.7	2.45	1.81	8.6	1.7	1.2	.013	.004	.002	.053	.024	.008	.487	.431	13.5
6	10.3	1.85	1.71	6.9	1.5	1.2	.008	.003	.001	.029	.013	.005	.511	.423	11.3
5	8.4	2.05	1.68	5.4	1.2	1.1	.006	.002	.001	.017	.008	.003	.550	.413	9.7
4	6.3	2.75	1.59	4.3	1.3	1.1	.003	.002	.001	.009	.006	.002	.670	.427	7.9
3	3.6	2.60	1.20	2.9	1.2	1.0	.001	.001	.000	.003	.002	.001	.000	.402	5.4
2	1.0	1.00	.50	1.8	1.0	.9	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.424	2.9
1	.0	.00	.00	.8	.8	.8	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.278	1.1









