

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

**DIRETRIZES PARA DESBASTE DE *Pinus taeda* L.  
EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Veridiana Padoin**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2007**

**DIRETRIZES PARA DESBASTE DE *Pinus taeda* L. EM  
FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE.**

por

**Veridiana Padoin**

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

**Orientador: Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2007**

P124d

Padoin, Veridiana, 1980-

Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante / por Veridiana Padoin ; orientador César Augusto Guimarães Finger. – Santa Maria, 2007.

95 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2007.

1. Engenharia florestal 2. Desbaste 3. *Pinus taeda* 4. Manejo Florestal 5. Altura dominante I. Finger, César Augusto Guimarães, orient. II. Título

CDU: 630.2

Ficha catalográfica elaborado por  
Luiz Marchiotti Fernandes CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial CCR / UFSM

---

© 2007

Todos os direitos autorais reservados a Veridiana Padoin. É permitida a reprodução de partes ou do todo deste trabalho com a devida citação da fonte.

Endereço Eletrônico: [veridiana.padoin@uol.com.br](mailto:veridiana.padoin@uol.com.br)

---

**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

**DIRETRIZES PARA DESBASTE DE *Pinus taeda* L. EM FUNÇÃO DA  
ALTURA DOMINANTE**

elaborada por  
**Veridiana Padoin**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**César Augusto Guimarães Finger, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Luciano Weber Scheeren, Dr.**

---

**Sidinei José Lopes, Dr.**

Santa Maria, 26 de outubro de 2007.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por iluminar mais um degrau de minha vida e por estar sempre comigo nos momentos de dificuldade e de alegria.

A meus pais Jorge e Terezinha, pelo trabalho e esforço que enfrentaram para que eu pudesse estudar; ao meu esposo Sidy, pelo amor, carinho, compreensão e, acima de tudo, companheirismo nas horas difíceis quando tudo parecia estar ruim; a minha irmã Ana Valéria, Everson e Angelo que sempre estão na torcida para que eu alcance o sucesso.

Ao professor César Augusto Guimarães Finger, que pacientemente me orientou durante todo esse período e que me mostrou o caminho brilhante da pesquisa científica.

Aos amigos e colegas: Felipe, que mesmo sem tempo, pois tinha que se dedicar a sua dissertação, me ajudou na coleta dos dados com muita alegria; Camila e Tatiane, que sempre estiveram dispostas a me ajudar a coletar os dados não importando o local, mostrando a força feminina em meio a tanto preconceito; Lorenzo, que um dia depois da sua festa de aniversário também me ajudou na coleta dos dados “naquele frio” e sempre está disposto a ajudar qualquer pessoa a qualquer hora, até virtualmente; César e Tarso por estarem sempre dispostos a ajudar.

À Bruna, pela amizade, pela paciência em me ajudar em qualquer coisa que eu pedisse, pelas “caronas” e por agüentar os desabafos ao telefone. A todos os meus amigos, pois sem amizade nenhum ser humano vive feliz.

Aos professores, sobretudo meus co-orientadores Paulo Renato Schneider e Frederico Dimas Fleig, e a Tita do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – PPGEF, da Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade e apoio na realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, pelo apoio financeiro, sem o qual seria difícil realizar este trabalho.

Às empresas Cambará S. A., Klabin S. A. – Unidade Otacilio Costa, Petropar – Unidade São Francisco de Paula e Reflorestadores Unidos S. A. pela ajuda e pelo aporte logístico ao longo de toda a coleta de dados.

Muito Obrigada!

*Quando algo der errado em sua vida, lembre-se que o errado é o contrário do certo e que o mundo gira, portanto hora dá errado, hora dá certo, e lá vamos nós...*

(Veridiana Padoin)

## RESUMO

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

### **DIRETRIZES PARA DESBASTE DE *Pinus taeda* L. EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE.**

AUTORA: VERIDIANA PADOIN

ORIENTADOR: CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de outubro de 2007.

O estudo utiliza árvores dominantes para descrever o desbaste, pois são aquelas que possuem maior vigor dentro de um povoamento florestal. O principal objetivo do trabalho é modelar e selecionar modelos para descrever a relação entre o número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante, elaborando um sistema de curvas guias como auxiliar na determinação do desbaste. Os municípios e distritos onde estão localizadas as florestas são: Cambará do Sul (RS), São Francisco de Paula (RS), Distrito de Tainhas (RS), Distrito dos Kroeff (RS), Bocaina do Sul (SC), Correia Pinto (SC), Curitibaanos (SC), Lages (SC), Otacílio Costa (SC), Ponte Alta do Norte (SC) e Santa Cecília (SC). As unidades amostrais temporárias foram instaladas aleatoriamente utilizando o Método de Prodan modificado, ou seja, foram medidas 12 árvores por unidade amostral sendo o centro da unidade a árvore dominante da amostra. As unidades foram instaladas em florestas em competição de 5 a 40 metros de altura dominante. Nessas unidades foram medidas: a distância das 11 árvores até a árvore dominante central; o DAP e a altura das 12 árvores; o diâmetro de copa, o comprimento de copa total e o comprimento de copa exposto à luz das 2 árvores dominantes da amostra. As variáveis calculadas foram o número de árvores potenciais por hectare, o Índice de espaçamento relativo, a percentagem de copa e o índice de concorrência de Glover e Hool. A modelagem foi calculada pelo pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) versão 8.0 e o ajuste das equações e análise de covariância pelo procedimento GLM (*General Linear Models*). As equações que melhor descrevem o número potencial de árvores por hectare foram  $\ln(N_p) = 10,31285 - 1,28518 \cdot \ln(h_{dom})$  com um  $R^2_{aj}$  de 0,68 e CV de 4,76% para a classe de S' de 14–20% e  $\ln(N_p) = 10,36304 - 1,16938 \cdot \ln(h_{dom})$  com um  $R^2_{aj}$  de 0,34 e CV de 5,24% para a classe de S' de 14–20%. O uso da altura dominante como variável independente é eficiente para descrever as diretrizes para desbaste nos povoamentos de *Pinus taeda*. O modelo de regressão exponencial negativo ajusta com boa precisão e baixo erro a relação entre o número potencial de árvores por hectare e a altura dominante. A variação dos valores de frequência potencial por hectare para uma dada altura dominante é fortemente reduzida com a estratificação dos dados em classes de Índice de espaçamento relativo de Hart Becking maior do que 14% e menor do que 14% permitindo elaborar curvas de frequência por hectare para essas duas situações. O desenvolvimento das curvas de frequência estratificado por Índice de espaçamento relativo influi na dimensão do diâmetro das árvores para uma mesma altura dominante.

Palavras-chave: desbaste; *Pinus taeda*; altura dominante.

## ABSTRACT

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

### **GUIDELINES FOR THINNING OF *Pinus taeda* L. IN FUNCTION OF THE DOMINANT HEIGHT.**

AUTHOR: VERIDIANA PADOIN

ADVISER: CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER

Date and Place of the Defense: Santa Maria, october 26<sup>th</sup>, 2007.

The study uses dominant trees to describe the thinning, because they are those that possess larger energy inside of a forest settlement. The main objective of the work is to model and to select models to describe the relationship among the potential number of trees for hectare in function of the dominant height, elaborating a system of curves guides how to aid in the determination of the thinning. The municipal and districts where are located the forests are: Cambará do Sul (RS), São Francisco de Paula (RS), Distrito de Tainhas (RS), Distrito dos Kroeff (RS), Bocaína do Sul (SC), Correia Pinto (SC), Curitibanos (SC), Lages (SC), Otacilio Costa (SC), Ponte Alta do Norte (SC) and Santa Cecília (SC). The units temporary sample random were installed using the Method of modified Prodan, or be, 12 trees were measured by unit sample being the center of the unit the dominant tree of the sample. The units were installed at forests in competition from 5 to 40 meters of dominant height. In those units they were measured: the distance of the 11 trees to the central dominant tree; diameter and the height of the 12 trees; the crown diameter, the length of total crown and the exposed crown length to the light of the 2 dominant trees of the sample. The calculated variables were the number of potential trees for hectare, the Index of relative spacing, the crown percentage and the index of competition of Glover and Hool. The modelling made calculations by the statistical package (Statistical Analysis System) version 8.0 and the adjustment of the equations and covariance analysis for the procedure GLM (General Lineal Models). The equations that best describes the potential number of trees for hectare were  $\ln(N_p) = 10,31285 - 1,28518 \cdot \ln(h_{dom})$  with a  $R^2_{aj}$  0,68 and CV of 4,76% for the class of S% of 14-20% and  $\ln(N_p) = 10,36304 - 1,16938 \cdot \ln(h_{dom})$  with a  $R^2_{aj}$  0,34 and CV of 5,24% for the class of S% of 14-20%. The use of the dominant height as independent variable is efficient to describe the guidelines for thinning in the settlements of *Pinus taeda*. The model of negative exponential regression adjusts with good precision and low mistake the relationship among the potential number of trees for hectare and the dominant height. The variation of the values of potential frequency for hectare for a given dominant height is strongly reduced with the bedding of the data in classes of Index of relative spacing of Hart Becking larger than 14% and smaller than 14% allowing to elaborate frequency curves for hectare for those two situations. The development of the frequency curves stratified by Index of relative spacing influences in the dimension of the diameter of the trees for a same dominant height.

Key-words: thinning; *Pinus taeda*; dominant height.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cidades e distritos onde estão localizadas as florestas de <i>Pinus taeda</i> L. que serviram como base para a coleta de dados.....	31
Figura 2 – Médias anuais de temperatura para a Região Sul. ....	32
Figura 3 – Medidas descritivas de copa de uma árvore modelo. ....	37
Figura 4 – Comparação do ajustamento da linha de regressão da equação selecionada, equação 5, com a equação 6. ....	46
Figura 5 – Resíduos contra o valor estimado da variável dependente $N_p/ha$ para as árvores dominantes. ....	47
Figura 6 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do número potencial de árvores por hectare para as árvores dominantes de Cambará do Sul e São Francisco de Paula.....	49
Figura 7 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do número potencial de árvores por hectare para as árvores dominantes de Otacílio Costa.....	49
Figura 8 – Diretrizes para desbaste representadas pelas curvas de regressão ajustadas por classes de altura dominante para cada local. ....	50
Figura 9 – Tendência do número potencial de árvores por hectare e o Índice de espaçamento relativo para todos os locais de amostragem.....	52
Figura 10 – Tendência entre os dados observados da altura dominante e o Índice de espaçamento relativo para todos os locais.....	52
Figura 11 – Tendência entre o Índice de Concorrência de Glover e Hool e a altura dominante para os três locais de amostragem.....	53
Figura 12 – Ajuste da curva de regressão do diâmetro de copa ( $b$ ) em função da altura dominante para os três locais de amostragem.....	55
Figura 13 – Ajuste da curva de regressão da percentagem ( $P_c$ ) de copa em função da altura dominante para os três locais de amostragem. ....	58
Figura 14 – Ajuste da curva de regressão do comprimento de copa exposta à luz ( $l_o$ ) em função da altura dominante para todos os locais de amostragem. ....	61
Figura 15 – Curvas de regressão para diferentes conjuntos de dados considerando o local e o desbaste ajustadas por classe de altura dominante.....	65

- Figura 16 – Diretrizes para desbaste representadas pelas curvas de regressão ajustadas por classes de altura dominante para o conjunto de dados sem desbaste e com desbaste. ....67
- Figura 17 – Curvas de regressão para diferentes classes de Índice de espaçamento relativo ( $S'$ %) ajustadas para o número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante. ....70
- Figura 18 – Diretrizes para desbaste representadas pelas curvas de regressão ajustadas por classes de Índice de espaçamento relativo em função da altura dominante.....73
- Figura 19 – Efeitos das diretrizes para desbaste representados pelas curvas de regressão ajustadas por classes de Índice de espaçamento relativo para a variável diâmetro à altura do peito. ....75
- Figura 20 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do DAP para as árvores dominantes correspondentes a classe de  $S'$ % 10-14%.....77
- Figura 21 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do DAP para as árvores dominantes correspondentes a classe de  $S'$ % 14-20%.....77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de unidades amostrais coletadas em cada classe de altura dominante e total de unidades. ....	36
Tabela 2 – Número e tipo de desbastes praticados nas florestas amostradas. ....	36
Tabela 3 – Modelos de regressão testados para a seleção de uma equação da variável $N_p$ em função da variável $h_{dom}$ . ....	44
Tabela 4 – Parâmetros estatísticos para a seleção do modelo a estimar o valor de $N_p$ (número potencial de árvores por hectare) em função da $h_{dom}$ (altura dominante). ....	45
Tabela 5 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante. .	48
Tabela 6 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para descrever o número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.....	48
Tabela 7 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever o diâmetro de copa (b) em função da altura dominante. ....	54
Tabela 8 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável diâmetro de copa (b). ....	56
Tabela 9 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para a variável diâmetro de copa. ....	56
Tabela 10 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a percentagem de copa ( $P_c$ ) em função da altura dominante. ....	57
Tabela 11 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável percentagem de copa ( $P_c$ ).....	59
Tabela 12 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para a variável percentagem de copa. ....	59
Tabela 13 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para a seleção da equação comprimento de copa exposto à luz ( $l_o$ ) em função da altura dominante.....	60
Tabela 14 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável comprimento de copa exposto à luz ( $l_o$ ). ....	62
Tabela 15 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para a variável comprimento de copa exposto à luz.....	63

Tabela 16 – Coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo $\ln(N_p) = b_0 + b_1 * \ln(h_{dom})$ para diferentes conjuntos de dados considerando o local e o desbaste. ....	64
Tabela 17 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões com desbaste e sem desbaste para o número potencial de árvores por hectare. ....	66
Tabela 18 – Parâmetros estatísticos das equações de regressão para os dados observados sem desbaste e com desbaste do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante. ....	66
Tabela 19 – Coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo $\ln(N_p) = b_0 + b_1 \ln(h_{dom})$ para diferentes classes de Índice de espaçamento relativo. ....	69
Tabela 20 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões por classe de Índice de espaçamento relativo para o número potencial de árvores por hectare. ....	71
Tabela 21 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões por classe de Índice de espaçamento relativo para o número potencial de árvores por hectare. ....	72
Tabela 22 – Parâmetros estatísticos das equações de regressão por classe de Índice de espaçamento relativo do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante. ....	72
Tabela 23 – Coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo $\ln(DAP) = b_0 + b_1 * (\ln(h_{dom})) + b_2 * (\ln(N_p))$ para cada grupo de classes de Índice de espaçamento relativo. ....	74
Tabela 24 – Diferenças na estimativa do diâmetro em função da altura dominante e do número potencial de árvores por hectare para cada classe de Índice de espaçamento relativo. ....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a	Altura da base da copa (metros)
b	Diâmetro ou largura de copa (metros)
°C	Graus centígrados
cm	Centímetro
CV	Coeficiente de variação (percentagem)
$D_i$	Variável Dummy
DAP	Diâmetro a altura do peito (centímetros)
EMD	Espaço médio desejado (metros)
Eq.	Equação
F	Valor de F calculado
FV	Fonte de variação
GL	Graus de liberdade
h	Altura total (metros)
$h_{dom}$	Altura total da árvore dominante (metros)
$h_{100}$	Altura dominante de Assmann (metros)
$h_{dom}^2$	Altura dominante ao quadrado (metros quadrados)
ha	Hectare
$I_{GH}$	Índice de Glover e Hool
km	Quilômetro
l	Comprimento de copa (metros)
$l_o$	Comprimento de copa exposta à luz (metros)

$l_u$	Comprimento de copa de sombra (metros)
$m$	Metro
$m^2$	Metro quadrado
$mm$	Milímetro
$N_p$	Número potencial de árvores por hectare
$P_c$	Percentagem de copa
$Pr > F$	Probabilidade de significância para F
QM	Quadrado médio
$R^2_{aj}$	Coeficiente de determinação ajustado
$R_c$	Raio de copa (metros)
S	Área da unidade amostral (metros quadrados)
$S'\%$	Índice de espaçamento relativo
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
$S_c$	Área de copa (metros quadrados)
SQ	Soma de quadrados
$W_i$	Peso de ponderação
$\chi^2$	Estatística do Qui-quadrado

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>12</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1 OBJETIVOS .....	19
1.1.1 <i>Objetivo geral</i> .....	19
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 A ESPÉCIE <i>PINUS TAEDA</i> L. ....	21
2.2 DESBASTE .....	22
2.3 CRESCIMENTO EM ALTURA .....	25
2.4 MORFOMETRIA DAS COPAS E COMPETIÇÃO ENTRE AS ÁRVORES .....	27
2.5 MÉTODO DE AMOSTRAGEM DE PRODAN .....	29
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM .....	30
3.1.1 <i>Planalto do Rio Grande do Sul</i> .....	31
3.1.2 <i>Planalto de Santa Catarina</i> .....	33
3.2 MATERIAL.....	34
3.3 METODOLOGIA.....	34
3.3.1 <i>Instalação da unidade amostral</i> .....	34
3.3.2 <i>Determinação das variáveis</i> .....	37
3.3.3 <i>Modelagem do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante</i> .....	39
3.3.4 <i>Modelos ponderados</i> .....	40

3.3.5	<i>Ajuste e seleção dos modelos</i> .....	40
3.3.6	<i>Análise de Covariância</i> .....	41
3.3.7	<i>Construção da linha diretriz para desbaste</i> .....	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>
4.1	VARIAÇÃO DO NÚMERO POTENCIAL DE ÁRVORES POR HECTARE EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE E DO LOCAL DE AMOSTRAGEM.....	44
4.2	ANÁLISE DE COVARIÂNCIA .....	47
4.3	RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO POTENCIAL DE ÁRVORES POR HECTARE, O ÍNDICE DE ESPAÇAMENTO RELATIVO E A ALTURA DOMINANTE.....	51
4.4	RELAÇÃO ENTRE AS DIMENSÕES DA COPA E A ALTURA DAS ÁRVORES.....	53
4.4.1	<i>Relação entre o diâmetro da copa e a altura dominante</i> .....	53
4.4.2	<i>Relação entre a percentagem de copa e a altura dominante</i> .....	57
4.4.3	<i>Relação entre o comprimento de copa exposto à luz e a altura dominante</i> .....	60
4.5	VARIAÇÃO DO NÚMERO POTENCIAL DE ÁRVORES POR HECTARE EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE E DO EFEITO DO DESBASTE.....	63
4.6	VARIAÇÃO DO NÚMERO POTENCIAL DE ÁRVORES POR HECTARE EM FUNÇÃO DA ALTURA DOMINANTE E DA COMPETIÇÃO ENTRE AS ÁRVORES.....	68
4.7	EFEITO DO DESBASTE SOBRE O CRESCIMENTO DO DIÂMETRO SEGUNDO AS LINHAS AJUSTADAS POR CLASSE DE ÍNDICE DE ESPAÇAMENTO RELATIVO .....	74
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>78</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>80</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A demanda por matéria-prima de qualidade para o abastecimento da indústria madeireira está, cada vez mais, em ascensão. Sem oferta adequada, essa situação provoca uma valorização expressiva das florestas bem manejadas, as quais podem gerar lucros altos ao final de sua rotação.

Sendo assim, não só as empresas do setor florestal como também qualquer investidor desse setor estão voltados para a produção de madeira de qualidade, sempre intervindo por meio do manejo florestal e tratos culturais no crescimento adequado dos plantios florestais homogêneos.

Portanto, para um máximo crescimento e produção florestal de qualidade, são necessários estudos científicos sobre técnicas de manejo que venham resultar em um maior retorno econômico.

Uma técnica muito utilizada na produção de florestas é o desbaste, pois aumenta o crescimento individual das árvores remanescentes. Porém, sabe-se que há redução do volume de madeira no final da rotação, compensada por um produto diferenciado. Por isso, é muito importante fazer análises de mercado locais para ver o tipo de demanda, antes de aplicar as técnicas necessárias.

Para Assmann (1970), a eliminação de árvores defeituosas causa elevação na produção de árvores bem formadas e um melhoramento na qualidade do tronco. O crescimento subsequente contribuiria para uma maior excelência do estoque e madeira mais valiosa, elevando assim a qualidade da produção total.

A determinação do espaço horizontal nas florestas e a sua relação com o volume e dimensão das árvores, tem sido preocupação de vários pesquisadores

(SCHNEIDER, 2004). Portanto, as relações entre diâmetro de copa, altura e diâmetro da árvore; e, diâmetro e comprimento de copa, também são alvo de pesquisas, pois são muito importantes nos estudos de competição em povoamentos florestais, sustentando futuras decisões sobre desbaste.

O planejamento do manejo de uma floresta envolve uma série de questões, tais como: a melhor estratégia de manejo, a utilização ou não do desbaste, a intensidade e a idade do desbaste e a variação do desbaste em relação aos diferentes sítios. Isso tudo pode conduzir o engenheiro florestal a uma série de dúvidas, as quais podem levá-lo ao erro na decisão da melhor estratégia no crescimento e na produção florestal. Deste modo, é importante, na tomada de decisões sobre o desbaste, guiar-se mediante informações sólidas, eliminando variáveis como idade e sítio e inserindo somente a variável altura dominante.

O estudo proposto envolve árvores dominantes, pois são aquelas que possuem um maior vigor dentro do povoamento florestal, as quais futuramente, terão maior valor comercial, produção de matéria-prima de qualidade e maior incremento que as co-dominantes ou dominadas. Vale ressaltar também, que o gênero *Pinus* é indicado para a produção de toras para serraria, e sua demanda no mercado é maior do que a oferta, valorizando ainda mais sua produção. Portanto, o estudo sobre as espécies desse gênero não são excessivos, visando o estabelecimento de florestas que resultem em investimentos economicamente viáveis quando bem manejados.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Elaborar um sistema de curvas guias para expressar o número potencial de árvores por hectare que a floresta poderá manter em função da altura dominante, como auxiliar na determinação dos desbastes.

### 1.1.2 Objetivos específicos

a) Modelar e selecionar modelos para descrever a relação entre o número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

b) Determinar a relação do número potencial de árvores por hectare e diferentes alturas dominantes com o Índice de espaçamento relativo.

c) Relacionar a curva de desbaste com o Índice de espaçamento relativo.

d) Relacionar a concorrência entre os indivíduos com a altura dominante por meio de índice de competição.

e) Modelar e testar modelos para descrever a relação entre diâmetro de copa e altura das árvores dominantes.

f) Modelar e testar modelos para a percentagem de copa e o comprimento de copa exposto à luz em função da altura dominante.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O manejo florestal e a silvicultura abrangem todas as operações culturais que são aplicadas a uma floresta durante sua rotação. O objetivo dessas operações é o tratamento adequado das árvores para aumentar o crescimento e maximizar a produção, correlacionando espécie florestal e meio físico.

### 2.1 A espécie *Pinus taeda* L.

Segundo Marchiori (1996), o *Pinus taeda* é a espécie madeireira mais importante dos Estados Unidos, sendo cultivada no sul do Brasil nas terras mais altas da Serra Gaúcha e Planalto Catarinense. As fibras são longas e adequadas à fabricação de papel.

A espécie é originária das planícies adjacentes do Golfo do México e costa atlântica do sudeste dos Estados Unidos podendo alcançar mais de 20 m de altura e 100 cm de diâmetro a altura do peito (DAP). É indicada para construções, caixotaria, móveis e produção de celulose (MARCHIORI, 1996).

Conforme Fortes et al. (2004), o gênero *Pinus* difundiu-se amplamente no Brasil, na década de 60, em função dos incentivos fiscais para florestamentos. No Brasil existem, aproximadamente, 1,8 milhão de hectares de plantações do gênero *Pinus*, com destaque para as regiões Sul e Sudeste (AMBIENTE BRASIL, 2006). Para Fortes et al. (2004), esse gênero é representado por 56% das florestas plantadas no Rio Grande do Sul. Segundo Shimizu (2006), nos Estados Unidos,

estima-se uma cobertura florestal com essa espécie de, aproximadamente, 11,7 milhões de hectares.

As estimativas indicam que 35% do volume de madeira produzida no Brasil são provenientes de madeira do gênero *Pinus*, contudo, apesar da demanda, a indústria madeireira está preocupada com a progressiva diminuição da sua oferta (BEATRIZ et al., 2006).

## **2.2 Desbaste**

Segundo Monteiro e Cordeiro (1993), quando a densidade populacional não é a ideal, o crescimento do povoamento fica prejudicado, pois um número exagerado de árvores numa determinada área originará forte concorrência entre as plantas, provocando um desbaste precoce antes do programado, o qual é dispensável e antieconômico.

Conforme Assmann (1970), o efeito do desbaste, especialmente sobre a qualidade do tronco e desenvolvimento da copa, depende também do início e da frequência das intervenções subseqüentes. Além disso, o desbaste inicial pode interferir no incremento acelerando o crescimento. Desse modo, a idade na qual os desbastes começam é de grande importância.

De acordo com Alves (1982), há maior influência no crescimento e na produção quando se executa um desbaste pesado em povoamentos jovens, enquanto que ocorre o contrário em povoamentos mais velhos. Por isso, o maior rendimento somente será obtido se a intensidade de desbaste for maior em povoamentos mais jovens do que em povoamentos de maior idade.

Para Scolforo et al. (1997), os objetivos da execução de um desbaste são: aumentar o espaço entre as árvores diminuindo a competição e evitando a ocorrência da mortalidade com conseqüente retomada no crescimento; atenuar o estresse das árvores, como forma de proteção ao ataque de pragas e doenças; obter uma produção intermediária ao longo da rotação; e, aprimorar o padrão das árvores remanescentes com a retirada daquelas de menor porte e defeituosas. De modo similar, conforme Scheeren (2003), o principal objetivo do desbaste é distribuir

o potencial de crescimento do sítio florestal para um menor número de árvores selecionadas pelas suas melhores características e vigor de crescimento, de vitalidade e qualidade do fuste, evitando que os indivíduos com menor vigor utilizem os recursos disponíveis no sítio florestal.

A eliminação natural de indivíduos em uma floresta e a diminuição do crescimento são conseqüências freqüentes em virtude da competição existente entre as árvores. Isso faz com que ocorra uma diferenciação das copas nas diversas classes como: árvores dominantes, co-dominantes, dominadas, entre outras (SCHNEIDER, 2004).

A relação entre crescimento das árvores, tamanho e volume de copa é diretamente proporcional, pois copas densas captam mais radiação e, conseqüentemente, terão maior volume de carbono assimilado e maior acúmulo de biomassa (BERGER et al., 2004). Conforme Montagu et al. (2003 apud BERGER et al., 2004), a captação de energia e assimilação de carbono mantêm-se ativas até o fechamento do dossel, quando ocorre uma mudança significativa no desenvolvimento da árvore, pois ocorre o sombreamento das partes inferiores da copa comprometendo a assimilação de carbono.

Segundo Berger et al. (2004), o aumento do espaço vital, seja pela adoção de espaçamentos iniciais mais amplos ou pelas intervenções de desbaste, permite postergar o processo de captação de radiação e assimilação de carbono, prolongando os saldos positivos de assimilação de carbono e maior acúmulo de biomassa.

Para Schneider (1993), há uma relação linear entre diâmetro do fuste (DAP) e diâmetro de copa. Segundo Assmann (1970), essa relação permite a determinação do espaço vital necessário para atingir um diâmetro objetivo e a escolha apropriada da intensidade de desbastes que resultará maior diâmetro e melhor qualidade, sem perdas significativas de volume.

Para manipular a competição entre os indivíduos de um povoamento florestal, o silvicultor deve utilizar técnicas de desbaste eliminando as árvores que não terão futuro, pois possuem má formação de fuste (SCHNEIDER, 2004).

Segundo Schneider (2004), no fim de uma rotação, o volume total produzido geralmente é maior para densidades maiores, porém, são as condições econômicas

(mercado, sortimento e preços) que vão determinar se é melhor produzir maior volume total com diâmetro de menor dimensão ou menor volume total, mas com diâmetro de maior dimensão.

Conforme o mesmo autor, com a utilização do desbaste, pode-se melhorar a qualidade do povoamento, mas o volume total será menor. Porém, árvores de maiores dimensões possuem um maior valor comercial por metro cúbico, pois a serraria desdobra uma determinada quantia de tábuas com menos custos e perdas. Além disso, os custos com transporte são menores se um determinado volume de madeira estiver concentrado em poucas árvores.

Assim, o desbaste ganha importância como regulador da densidade, do espaço disponível para o crescimento e da distribuição espacial, sendo sua intensidade determinada por vários métodos dentre os quais o método do Índice de espaçamento relativo, o qual pode variar para os diferentes pesos de desbastes. Obtendo-se o Índice de espaçamento relativo desejado ( $S'\%$ ), ou seja, o número ótimo de indivíduos que devem permanecer na floresta após o desbaste, pode-se determinar o peso do desbaste (SCHNEIDER, 2004).

De acordo com Marcolin e Couto (1993), modelar o crescimento de povoamentos sem desbaste torna-se mais simples do que para povoamentos desbastados, pois as variáveis intensidade e idade dos desbastes influenciam de diferentes modos no crescimento florestal.

O desbaste, sobretudo no caso do gênero *Pinus*, é uma das mais importantes opções silviculturais, influenciando o crescimento e a produção por meio do vigor, da qualidade e do tamanho das árvores, associado com a regulação da densidade. A representação do desbaste por meio de modelos matemáticos é uma opção consistente e objetiva para implementação de simulações de desbastes mediante de sistemas de crescimento e produção, facilitando análises econômicas para definir um regime ótimo de manejo (SCOLFORO e MACHADO, 1996).

A decisão sobre a execução dos desbastes, muitas vezes tem sido feita de maneira empírica. Conforme Lamprecht (1990), a decisão da idade do desbaste de forma empírica é determinada após um período de tempo em que as copas já estão se tocando. Sendo assim, o método empírico de desbaste depende apenas da visão e do conhecimento do engenheiro em relação à floresta.

Porém, às vezes, a decisão é tomada pelo crescimento em área basal ou em diâmetro médio. Para Veiga (1962), as variáveis área basal e diâmetro médio são úteis na decisão do desbaste, pois por meio delas pode-se determinar a concorrência dos indivíduos pela água, pelos nutrientes e pela luz. Conforme o mesmo autor, utilizando a área basal ou o diâmetro médio, a determinação do momento ideal da execução do desbaste pode ser realizada mediante as taxas de acréscimo e também, segundo Campos et al. (1988), por meio de modelos de crescimento e produção que estimem essas variáveis. Contudo, como o diâmetro médio depende diretamente do número de árvores por hectare e a área basal não avalia eficientemente o porte das árvores, o uso dessas variáveis se torna ineficiente na execução de um desbaste.

Outro método para determinar a idade do desbaste é por meio de modelos de árvores individuais como o modelo PTAEDA, apresentado por Daniel e Burkhart (1975 apud DAVIS e JOHNSON, 1987), o qual utiliza como variáveis os índices de concorrência.

Conforme Drew e Fleweling (1979 apud DAVIS e JOHNSON, 1987), os diagramas de densidade de manejo também são utilizados para determinar a realização do desbaste. Segundo o mesmo autor, o diagrama desenvolvido utilizou o índice de densidade de povoamento como variável independente. Já, Dean e Baldwin (1993) desenvolveram um diagrama de densidade de manejo que utiliza como variável independente o Índice de Reineke (1933). Porém, o tempo necessário e o custo elevado inviabilizam a utilização dessa metodologia.

Estudos realizados por Sanquetta et. al (1998), em povoamentos de *Pinus taeda*, submetidos a diferentes tipos de desbaste, mostram que um dos métodos mais utilizado para essa espécie é baseado na redução do número de árvores por hectare de forma sistemática, seletiva por baixo ou a combinação das duas formas.

### **2.3 Crescimento em altura**

O crescimento em altura é muito importante no estudo de sítios florestais quando se deseja obter o comportamento de uma espécie em determinado local

(FINGER, 1992). A altura das árvores em crescimento livre está correlacionada com a capacidade de sítio (SPURR, 1964 *apud* BRUM, 1979).

De acordo com Schneider e Finger (1993), a altura, como elemento dendrométrico, foi proposta na Alemanha no século XVIII como melhor variável para a classificação da produção florestal, pois possui menor influência pela densidade populacional do que as demais variáveis.

Segundo Brum (1979), o crescimento é o resultado das condições ambientais e a altura dominante é o melhor parâmetro dendrométrico representativo dessas condições, além da sua alta correlação com a produção em volume.

Em estudo sobre a influência da intensidade do desbaste sobre o crescimento em altura dominante de *Pinus elliottii* E., verificou-se que as diferentes intensidades de desbaste (0, 25, 50 e 75% da área basal) não influenciaram significativamente no crescimento da altura dominante. Porém, observando o seu comportamento pela variável idade, houve diferentes respostas para o crescimento em altura dominante (SCHNEIDER e FINGER, 1993).

Conforme Leite e Andrade (2003), a altura dominante, geralmente obtida ao conduzir inventários contínuos, quando usada como variável independente em modelos hipsométricos, pode contribuir significativamente para redução da soma de quadrado dos resíduos, especialmente por permitir representar diferentes capacidades produtivas de sítios florestais. Segundo os autores, é mais adequado utilizar equações hipsométricas que tenham a altura dominante como uma das variáveis independentes, pois os resultados obtidos por esses modelos contribuem para o menor erro na variável volume.

Um estudo de crescimento da altura dominante realizado para os povoamentos de *Quercus pyrenaica* Willd., com o conseqüente estabelecimento das classes de qualidade, permitiu verificar a existência de uma ampla gama de variação do índice de sítio, com um mínimo de 7,0 e máximo de 22,0 m à idade de referência de 50 anos. Isso retrata diferente desenvolvimento da altura dominante nos povoamentos e, portanto, diferente capacidade produtiva das estações. Diversas práticas silviculturais podem ser aplicadas a povoamentos que expressam produtividade relativamente diferenciada e, assim, orientar diferentes objetivos de gestão dos povoamentos florestais (CARVALHO, 2006).

## 2.4 Morfometria das copas e competição entre as árvores

As árvores dominantes são aquelas que possuem copa bem desenvolvida e se encontram no povoamento florestal principal. Essas árvores possuem, na maioria das vezes, copas de menor comprimento em comparação com as árvores co-dominante e dominadas, pois o sombreamento causado pela patê superior da copa sobre a parte inferior faz com que essa seja eliminada, diminuindo a área de projeção de copa. Por isso, geralmente, as árvores dominantes com área de projeção de copa pequena, são aquelas de maior eficiência (STERBA, 2006).

Segundo Assmann (1970), o comprimento de copa é dividido em comprimento de copa exposto à luz solar e comprimento de copa sombreada. A projeção de copa ou área de cobertura é determinada medindo-se de quatro a oito raios. O diâmetro médio de copa é definido como largura de copa (b), sendo duas vezes o raio médio encontrado.

De acordo com Prodan et al. (1997), a densidade de copas ou percentagem de cobertura pode ser determinada facilmente por fotos aéreas ou por terra. Comumente a densidade das copas é determinada visualmente, porém há uma tendência natural de subestimar os valores.

Conforme Godinho e Tomé (2001), em amostragem de copa para avaliação da biomassa, as medições das variáveis da copa podem ser realizadas da seguinte maneira:

Antes de abater a árvore, foi medida a projeção horizontal da copa, segundo os azimutes  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$  e  $315^\circ$ , partindo do centro do tronco a 1,30 m de altura, de acordo com a seguinte metodologia: uma pessoa coloca o zero da fita métrica coincidente com o centro da árvore, à altura de 1,30 m e, com o auxílio de uma bússola, indica a uma segunda pessoa os referidos ângulos. Esta se desloca, com a fita métrica na horizontal, segundo tais direções até o final da copa (borda da copa), que é indicado por uma terceira pessoa, que está anotando os valores e que facilmente visualiza uma reta imaginária que une o final da copa à fita métrica, num eixo perpendicular ao solo.

Segundo Tonini e Arco-Verde (2005), o diâmetro da copa pode ser obtido pela medição de oito raios, em direções fixas, com o auxílio de uma régua, estacas e trena.

Para Assmann (1970), as medidas descritivas de copa mais importantes são: a percentagem de copa ( $l/h$ ), a proporção de copa exposta à luz solar ( $lo/l$ ), a proporção de copa sombreada ( $lu/l$ ), o grau de expansão ( $b/h$ ) e a relação de abundância de copa ( $b/l$ ), que quanto maior esta relação mais arredondada é a copa.

Conforme Sterba (2006), a percentagem de copa não depende da posição sociológica em florestas de mesma idade e espécie e, sim, da altura das árvores. Portanto, quando se executa um desbaste, o progresso das copas remanescentes ocorre lentamente com o crescimento em altura.

A competição decorrente da densidade é freqüentemente considerada como sendo uma avaliação em que o potencial da planta é prejudicado ou favorecido, potencializando ou reduzindo o desenvolvimento da planta vizinha (DRAPER e GUTTMAN, 1980; HÜHN, 1973).

Os índices de competição estimam a competição total para as árvores mais próximas as quais afetam o desenvolvimento de outro indivíduo. Tais índices usualmente levam em conta, direta ou indiretamente, o número de competidores, o tamanho do indivíduo, o tamanho do competidor e a distância entre os competidores (PIUTTI e CESCATTI, 1997; MANGNUSSEN, 1994).

Conforme Schneider e Finger (2000), a competição pode ser descrita em função do comprimento, altura e diâmetro de copa, posição sociológica e tendências de crescimento, originando diferentes índices, conforme a disponibilidade de dados.

O Índice de competição de Glover e Hool pode ser calculado tanto em função do diâmetro a altura do peito como em função da altura. Segundo Prodan et al. (1997), o índice de Glover e Hool independe da distância entre as árvores concorrida e concorrente, pois se baseia somente em variáveis de fácil obtenção em campo. Quanto menor for o índice maior será a competição entre a árvore concorrida e a concorrente, ou seja, maior a concorrência sofrida pela árvore considerada.

## 2.5 Método de amostragem de Prodan

Segundo Netto (1996), para efeito de minimização de custos dos inventários contínuos, as unidades amostrais devem ser de pequeno tamanho para compensar o aumento de sua intensidade distributiva dentro dos talhões. Sugere-se, nesse caso, a utilização de unidades cujo critério probabilístico de seleção das árvores seja proporcional a um tamanho especificado, como é caso da unidade de Strand ou a de Prodan.

O método de Prodan é vantajoso por vários motivos, pois é prático e de fácil operacionalidade em campo, dado o tamanho da unidade, é possível levantar várias unidades em pouco tempo, sendo este o menor comparando com outros métodos. Além disso, não ocorrem erros de demarcação de unidades amostrais e com uma rede de pontos bem distribuída dentro do povoamento, pode-se conseguir uma visão mais abrangente do mesmo (NETTO e BRENA, 1997).

De acordo com Moscovich et al. (1999), comparando diferentes métodos de amostragem de área fixa e variável, como o de Prodan, em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, verificou-se, pela análise de variância, que os distintos métodos não apresentaram diferenças significativas na estimativa do volume, área basal e número de árvores por hectare. A diferença significativa no número de espécie amostradas foi a única encontrada, sendo o método de área fixa o que apresentou maior média.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Características dos locais de amostragem**

Os locais onde foram coletados os dados pertencem a florestas privadas localizadas no Planalto do Rio Grande do Sul, na região dos Campos de Cima da Serra e no Planalto de Santa Catarina. As empresas que serviram como base da coleta de dados foram: Cambará S. A., Klabin S. A., Reflorestadores Unidos S. A. e Petropar.

Os municípios e distritos onde estão localizadas as florestas são: Cambará do Sul (RS), São Francisco de Paula (RS), Distrito de Tainhas (RS), Distrito dos Kroeff (RS), Bocaína do Sul (SC), Correia Pinto (SC), Curitibanos (SC), Lages (SC), Otacílio Costa (SC), Ponte Alta do Norte (SC) e Santa Cecília (SC) conforme a Figura 1.

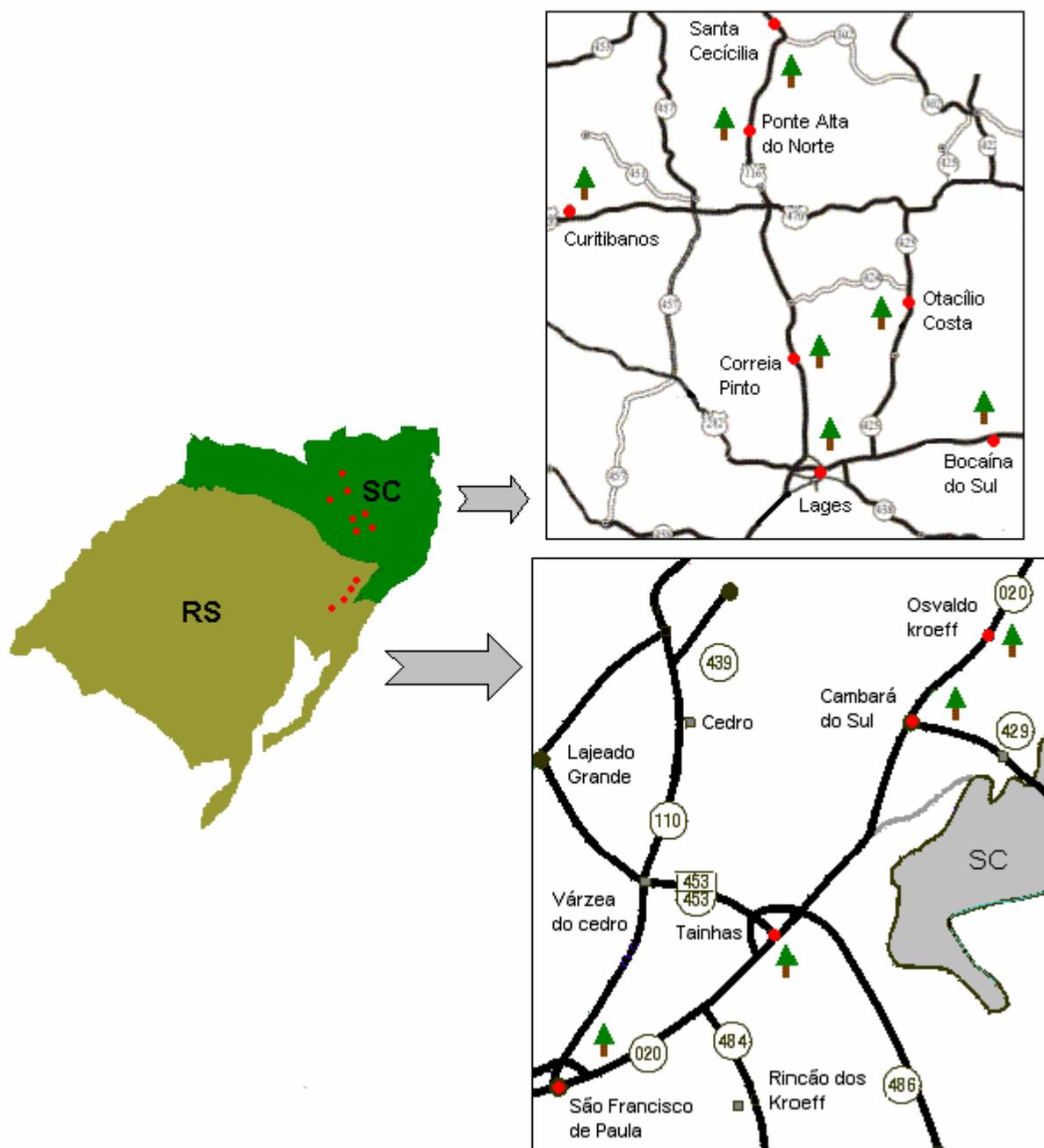


Figura 1 – Cidades e distritos onde estão localizadas as florestas de *Pinus taeda* L. que serviram como base para a coleta de dados.

### 3.1.1 Planalto do Rio Grande do Sul

A maior parte das florestas da região dos Campos de Cima da Serra, onde foram coletados os dados, está localizada no município de São Francisco de Paula, com altitude acima de 900 m, conforme Nimer (1989). Segundo o autor a

precipitação é ativada por correntes polares registrando o mais alto índice pluviométrico da Região Sul com média anual de 2.456 mm. O clima predominante do Planalto do Rio Grande do Sul e também do Planalto Catarinense é subtropical do tipo Cfb com invernos frios e verão ameno resultando em temperaturas médias anuais frias, como pode ser observado na Figura 2 (CLIMA BRASILEIRO, 2007).

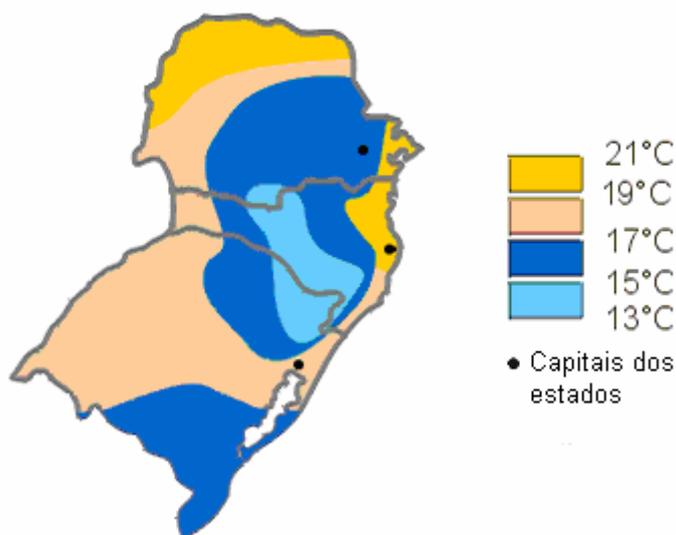


Figura 2 – Médias anuais de temperatura para a Região Sul.

Fonte: Clima Brasileiro, 2007.

A região possui uma amplitude térmica de 8,4°C, sendo a temperatura média do mês mais quente de 18,3°C (Janeiro) e do mês mais frio, 9,9°C (Julho). Os ventos predominantes são o Nordeste e o Norte nos meses de inverno. A ocorrência de geadas chega a valores mínimos de oito vezes e máximos de 44 vezes em um ano. A umidade relativa do ar, em média, fica em torno de 87% (MORENO, 1961).

Segundo Streck et al. (2002), na região dos Campos de Cima da Serra predominam os Cambissolos rasos a profundos, bem drenados a imperfeitamente drenados e em processo de transformação comprovada pela presença de fragmentos de rochas em seu perfil. Os Cambissolos Hísticos e Húmicos encontrados na região dos Campos de Cima da Serra em relevo ondulado a forte ondulado são alumínicos (extremamente ácidos) e ocorrem em ambientes onde há

alta pluviosidade e as baixas temperaturas favorecem o acúmulo de matéria orgânica. Os Cambissolos Hísticos, por ocorrerem em situações de maior altitude, com geada e baixa insolação, são indicados para cultivos anuais e silvicultura. Os Cambissolos Húmicos apresentam aptidão para culturas anuais, fruticultura, silvicultura e pastagens.

Conforme Ambiente Brasil (2006), a vegetação predominante na região pertence às florestas do tipo Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) e intercalando-se à vegetação arbórea rala, extensos campos secundários formados por gramíneas.

### 3.1.2 Planalto de Santa Catarina

As principais florestas do estado de Santa Catarina, onde foram coletados os dados, estão localizadas no município de Otacílio Costa na região do planalto serrano, a 45 Km da cidade de Lages. Com altitude média de 884 metros, o clima da região é mesotérmico úmido do tipo temperado, enquadrado como Cfb pela classificação de Köppen, sendo o inverno acentuadamente frio e o verão brando (NIMER, 1989). Segundo o mesmo autor, a temperatura do ar média anual é de 15,9°C, tendo como mínima 7,3°C e máxima 35,3°C, com umidade relativa anual em torno de 79% e precipitação média anual na ordem de 1.384 mm. De acordo com Golfari et al. (1978), a ocorrência de geadas na região é comum nos períodos de inverno, com registros de até 27 geadas por ano, aproximadamente. Pode haver a incidência de neve nesse mesmo período nos pontos mais altos dessa região.

Conforme Potter et al. (2004), a associação predominante é de solos Cambissolo Álico húmico de textura argilosa e Cambissolo Álico latossólico também com textura argilosa, e relevo suave ondulado. A predominância nessa associação é do Cambissolo Álico húmico sendo o Cambissolo Álico latossólico predominante nas áreas com declives mais suaves. Essa associação ocorre na microrregião dos Campos de Lages especialmente nos municípios de Correia Pinto, Otacílio Costa e Lages. Segundo o mesmo autor, a baixa fertilidade é inferida pelos índices de pH (< 4,5), pelos altos teores de alumínio trocável e pela baixa soma e saturação de

bases. O uso restringe-se ao reflorestamento com *Pinus*, cultivos anuais, sobretudo de milho em lavouras isoladas, e algumas áreas transformadas em pastagem.

As florestas subtropicais perenifólias que ocorrem nessa região se caracterizam por suas essências serem mais resistentes ao frio. Essa floresta é constituída por três estratos, sendo o superior integrado por araucária, imbuia, canela, cedro e outras espécies folhosas de grande porte; o médio, por podocarpus, erva-mate, bracatinga, guaramirim e outras; e o inferior, por ervas, arbustos, fetos arbóreos e samambaias (POTTER et al., 2004).

### **3.2 Material**

Para a instalação das unidades amostrais e medição das árvores, foram utilizados o hipsômetro Vertex, fita métrica de 20 m de comprimento, fita dendrométrica, prancheta de campo, ficha de campo para medições de unidades amostrais em florestas plantadas (Anexo A), hipsômetro de Suunto, bússola, plaquetas numeradas (1-12) para a identificação das árvores na unidade amostral.

### **3.3 Metodologia**

#### **3.3.1 Instalação da unidade amostral**

As unidades amostrais temporárias foram instaladas utilizando o Método de Prodan (“Seis Árvores”) modificado, tendo sido medidas 12 árvores por unidade amostral, sendo o centro da unidade amostral a árvore dominante da amostra selecionada aleatoriamente. Quando encontrado um número de árvores dominantes maior do que 1, foi selecionada aquela de menor diâmetro de copa como árvore central. Por causa da limitação de tempo para a coleta de dados quando a árvore dominante não atendia às características de boa formação de fuste e copa, em

algumas unidades amostrais, a árvore central teve maior diâmetro de copa do que a segunda árvore dominante da unidade amostral.

No Método de Prodan modificado, selecionou-se a árvore de maior diâmetro à altura do peito, árvore dominante, como centro da unidade amostral. Para isso a árvore dominante selecionada atendeu às seguintes características: forma de fuste normal (cilíndrico e retilíneo), sem bifurcação e copa não-danificada. Partindo desta, foram consideradas as 11 árvores mais próximas como pertencentes à unidade amostral. O raio tomado entre o centro da unidade (centro da árvore dominante) e o centro da 12<sup>a</sup> árvore (a mais distante) foi utilizado para determinar a área da unidade amostral.

As unidades foram instaladas em florestas com idade entre 5 e 33 anos, sobre sítio natural bom e ruim, localizadas em Cambará do Sul, São Francisco de Paula, Distrito dos Kroeff e Tainhas, no estado do Rio Grande do Sul, e em Bocaína do Sul, Correia Pinto, Curitibanos, Lages, Otacílio Costa, Ponte Alta do Norte e Santa Cecília no estado de Santa Catarina. Para melhor entendimento, serão citadas apenas as cidades de Cambará do Sul (RS), Otacílio Costa (SC) e São Francisco de Paula (RS) como locais de amostragem.

Para fins de controle na amostragem, foram consideradas florestas com altura dominante entre 5 e 40 metros. Essa amplitude foi dividida em intervalos de classe de 5 m, totalizando sete classes de altura dominante, as quais serviram como orientação para a coleta dos dados. A Tabela 1 mostra o número de unidades amostrais que foram coletadas distribuídas por classe de altura e o total de unidades.

Tabela 1 – Número de unidades amostrais coletadas em cada classe de altura dominante e total de unidades.

<i>Intervalo de classes de altura dominante (m)</i>	<i>Número de unidades amostrais</i>
5,1-10	12
10,1-15	24
15,1-20	29
20,1-25	18
25,1-30	50
30,1-35	28
35,1-40	26
Total	187

As unidades amostrais foram, prioritariamente, alocadas em florestas que se encontravam em competição. Florestas desbastadas só foram selecionadas para amostragem se transcorrido um período de mais de 2 anos após a realização do desbaste. Em florestas onde já havia ocorrido o desbaste, instalaram-se as unidades amostrais em locais onde as árvores estavam mais próximas, ou seja, com espaçamento menor. A Tabela 2 apresenta o número e o tipo de desbaste praticado pelas empresas em cada local.

Tabela 2 – Número e tipo de desbastes praticados nas florestas amostradas.

<i>Local</i>	<i>N. de desbastes</i>	<i>N. de UA</i>	<i>Tipo de desbaste</i>
Cambará do Sul	0	5	-
	1	12	Sistemático (L. 6) + Seletivo
	2	10	Seletivo
Otacílio Costa	0	56	-
	1	67	Sistemático (L. 3, 4, 5 e 10) + Seletivo
São Francisco de Paula	0	16	-
	1	21	Sistemático (L. 7 e 8) + Seletivo
Total	-	187	-

Em que: N. = número; UA = unidade amostral; L. = linha.

### 3.3.2 Determinação das variáveis

Para cada árvore da unidade amostral, foram medidas as variáveis: distância das 11 árvores até a árvore dominante central utilizando-se trena; o diâmetro à altura do peito (DAP) com o auxílio de fita dendrométrica e altura total das árvores ( $h$ ) utilizando-se o hipsômetro Vertex.

Das árvores dominantes, centro das unidades amostrais, foi medida, além do “DAP” e “ $h$ ”, a variável diâmetro de copa ( $b$ ), sob oito raios, com o auxílio de fita métrica e hipsômetro de Suunto, que contribuiu no posicionamento correto da fita métrica e do observador na borda da copa indicando o fim do raio medido. O primeiro raio foi tomado partindo do ponto cardeal Norte, sendo que os seguintes foram medidos na direção Noroeste, Oeste, Sudoeste, Sul, Sudeste, Leste e Nordeste com o auxílio da bússola.

Nas árvores dominantes também foram coletadas as variáveis comprimento de copa total ( $l$ ) e comprimento de copa exposto à luz ( $l_0$ ), os quais foram obtidos com o hipsômetro Vertex no mesmo momento em que se obteve a altura total. Essas medições também foram realizadas na segunda árvore dominante da unidade amostral, totalizando 374 árvores dominantes em 187 unidades amostrais (Figura 3).

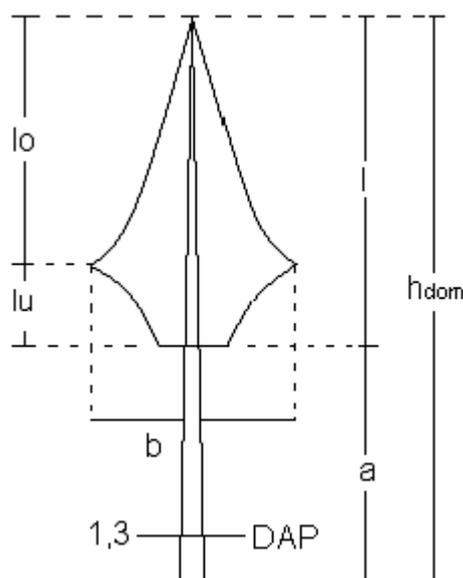


Figura 3 – Medidas descritivas de copa de uma árvore modelo.

Fonte: Assmann, 1970.

Após a determinação das variáveis em campo, foram calculadas as seguintes variáveis:

a) Diâmetro de copa (b): foi calculado pela média aritmética dos oito raios de copa, em metros:

$$b = 2R_c$$

Em que: b = diâmetro de copa;  $R_c$  = raio médio da copa.

b) Área de copa ( $S_c$ ): as superfícies de copa das árvores dominantes foram calculadas pelo raio de copa:

$$S_c = \pi R_c^2$$

Em que:  $S_c$  = área de projeção da copa;  $R_c$  = raio médio da copa.

c) Número potencial de árvores por hectare para cada área de projeção de copa ( $N_p$ ):

$$N_p = \frac{10.000}{S_c}$$

Em que:  $N_p$  = número potencial de árvores por hectare;  $S_c$  = área de projeção da copa.

d) Área da unidade amostral (S): as superfícies das unidades amostrais foram calculadas pelo raio medido entre a árvore dominante central e a árvore mais distante desta:

$$S = \pi R^2$$

Em que: S = área da unidade amostral; R = raio da unidade amostral.

e) Índice de Espaçamento Relativo ( $S'\%$ ):

Na determinação do Índice de espaçamento relativo, levam-se em consideração a altura dominante e o espaço médio entre árvores do povoamento. O cálculo do Índice de espaçamento relativo foi realizado do seguinte modo:

$$\text{EMD} = \sqrt{S} / 12$$

$$S'\% = (\text{EMD} / h_{100}) * 100$$

Em que: S = área da unidade amostral (m<sup>2</sup>); EMD = espaço médio desejado pós desbaste (m); S'% = Índice de espaçamento relativo; h<sub>100</sub> = altura dominante de Assmann (m).

f) Percentagem de copa (P<sub>c</sub>):

Esse índice foi calculado pela razão entre o comprimento de copa total e a altura total das árvores dominantes:

$$P_c = (l / h_{\text{dom}}) * 100$$

Em que: P<sub>c</sub> = percentagem de copa; l = comprimento total de copa; h<sub>dom</sub> = altura total da árvore dominante.

g) Índice de Glover e Hool (1979):

O Índice de competição de Glover e Hool foi calculado pela razão entre a altura da árvore dominante central da unidade amostral e a altura média das demais árvores (11 árvores) da amostra.

$$I_{GH} = h_i / h$$

Em que: h<sub>i</sub> = altura da árvore concorrida (m); h = altura média das 11 árvores concorrentes mais próximas.

### 3.3.3 Modelagem do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante

A modelagem foi calculada pelo pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) versão 8.0, tendo como forma geral  $Y = b_0 + b_1X_1$  sendo a variável dependente o número potencial de árvores por hectare (N<sub>p</sub>) calculado a partir da área de projeção da copa das árvores dominantes, e, como variável independente, a altura dominante (h<sub>dom</sub>). Essas variáveis foram transformadas para a forma logarítmica, quadrática e inversa com o propósito de identificar o modelo com melhor ajuste.

Com o mesmo procedimento também foram modeladas, para as árvores dominantes, equações de regressão do diâmetro de copa, da percentagem de copa, comprimento de copa exposto à luz em função da variável altura dominante, e do diâmetro a altura do peito em função da altura dominante e do número potencial de árvores por hectare.

### 3.3.4 Modelos ponderados

A utilização do peso ( $W_i$ ) nos mínimos quadrados é feita quando há heterogeneidade da variância das observções da variável dependente. Sendo assim, o procedimento de regressão ponderada foi utilizado para os modelos de regressão do diâmetro de copa, percentagem de copa e comprimento de copa exposto à luz em função da altura dominante, resultando modelos de maior precisão.

Os pesos ( $W_i$ ) utilizados para ponderação dos dados foram o inverso da altura dominante ( $W_i = 1/h_{dom}$ ), quando a variância da variável dependente era proporcional a  $h_{dom}$ , e o inverso da altura dominante ao quadrado ( $W_i = 1/h_{dom}^2$ ), quando a variância da variável dependente era proporcional a  $h_{dom}^2$ . Nos casos em que a variância da variável dependente era homogênea não foi necessária a ponderação da regressão como nos modelos de regressão do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante e do diâmetro a altura do peito em função da altura dominante e do número potencial de árvores por hectare.

### 3.3.5 Ajuste e seleção dos modelos

O ajuste das equações de regressão foi calculado no programa SAS (*Statistical Analysis System*) Versão 8.0, pelo procedimento GLM (*General Linear Models*) utilizando-se, primeiramente, todos os pares de dados sem distinção de local, tratamento de desbaste ou classes de índice de espaçamento relativo. Após os resultados da análise da covariância foram ajustadas equações para novos conjuntos de dados.

A equação selecionada foi aquela que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), menor coeficiente de variação (CV), maior valor de F calculado, maior valor do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ).

Além disso, na seleção do melhor modelo matemático, foi observada a distribuição gráfica, em um sistema de eixos ortogonais, dos resíduos em função dos valores estimados das variáveis dependentes para a verificação do ajuste da equação em toda a amplitude dos dados observados. Sendo assim, o modelo matemático que apresentou menor variação nos resíduos foi o selecionado.

### 3.3.6 Análise de Covariância

Na análise de covariância foram realizados dois testes de hipóteses, o primeiro para verificar se havia ou não diferença significativa de inclinação entre as regressões. Caso não existisse diferença de inclinação, o segundo teste de hipótese foi realizado para verificar a não-diferença de níveis entre as regressões (SCHNEIDER, 1998).

O teste foi realizado pelo programa SAS, procedimento GLM, com uso da variável Dummy associada, primeiramente à variável discreta “Local”; em seguida à variável discreta “Desbaste”; e por último, foi utilizada a variável Dummy associada à variável discreta “Índice de espaçamento relativo (S’%)”. Em todos os casos a variável Dummy foi utilizada para verificar a necessidade de estratificação dos dados sendo representada da seguinte maneira:

a) Primeira análise de covariância (diferentes locais):

- \* Dummy 1 = Local 1 = Cambará do Sul (RS);
- \* Dummy 2 = Local 2 = Otacílio Costa (SC);
- \* Dummy 3 = Local 3 = São Francisco de Paula (RS).

b) Segunda análise de covariância (diferentes tratamentos de desbaste):

\* Dummy 1 = Com desbaste;

\* Dummy 2 = Sem desbaste.

c) Terceira análise de covariância (diferentes classes de Índice de espaçamento relativo):

\* Dummy 1 = <10%

\* Dummy 2 = 12-10%

\* Dummy 3 = 14-12%

\* Dummy 4 = 16-14%

\* Dummy 5 = 18-16%

\* Dummy 6 = 20-18%

Com o procedimento de regressão, foi verificado, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade de erro, se o modelo previamente selecionado pode ou não ser ajustado para todos os pares de dados sem distinção de “Local”, “Desbaste” ou “Índice de espaçamento relativo”.

Primeiramente foi observada a significância da estatística F relacionada à interação “ $h_{dom}$ \*Local”, para verificar a hipótese de igualdade de inclinação das regressões dos Locais 1 e 2 em relação ao Local 3. Em seguida, foi observada a significância de nível das regressões dos Locais 1 e 2 em relação ao Local 3. Essa análise foi realizada para as variáveis: número potencial de árvores por hectare, diâmetro de copa, percentagem de copa e comprimento de copa exposto à luz, em função da altura dominante.

Na segunda análise de covariância foi observada a significância da estatística F relacionada à interação “ $h_{dom}$ \*Desbaste”, para verificar a hipótese de igualdade de inclinação das regressões dos dados com desbaste em relação aos dados sem desbaste. Após, foi observada a significância de nível das regressões dos dados com desbaste em relação aos dados sem desbaste.

Na terceira análise de covariância foi observada a significância da estatística F relacionada à interação " $h_{dom} * S'$ ", para verificar a hipótese de igualdade de inclinação das regressões das classes <10, 12-10, 14-12, 16-14 e 18-16% em relação à classe 20-18%. Em seguida, foi observada a significância de nível das regressões das classes <10, 12-10, 14-12, 16-14 e 18-16% em relação à classe 20-18%. A segunda e terceira análises foram realizadas apenas para a variável número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

### 3.3.7 Construção da linha diretriz para desbaste

Com base no modelo ajustado entre o número potencial de árvores por hectare e altura dominante, foi traçada a linha que descreve a relação permitindo observar graficamente o número potencial de árvores que o povoamento comporta com o crescimento da altura dominante e, conseqüentemente, com o crescimento das dimensões da copa. Essa linha representa o crescimento máximo das árvores, ou seja, para um coletivo de árvores com dimensões de altura e de copa iguais a das árvores dominantes. Em seguida foi traçada a linha que descreve o efeito do desbaste, ou seja, do crescimento em DAP, em relação a  $h_{dom}$  e ao  $N_p$ .

Dessa forma, a leitura da linha de regressão ajustada permitiria a orientação na execução do desbaste projetando-se o número de árvores remanescentes em função da altura dominante do povoamento, definindo-se a prática do desbaste em intervalos de altura dominante, eliminando-se as variáveis idade, sítio e área basal freqüentemente utilizadas nesses estudos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variação do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante e do local de amostragem

Inicialmente, utilizando todos os dados coletados em relação às árvores dominantes, foram avaliados seis modelos de regressão, pelo procedimento *forward*, conforme relacionado na Tabela 3. Todos apresentaram a variável  $N_p$ , número potencial de árvores por hectare, baseado na área de copa das árvores dominantes, como variável dependente na forma logarítmica, e  $h_{dom}$ , altura dominante, como a variável independente, na forma aritmética, quadrática e logarítmica. As equações resultantes pelo procedimento *stepwise* e com variáveis na forma inversa, não tiveram bons ajustes e, portanto, foram excluídas do trabalho.

Tabela 3 – Modelos de regressão testados para a seleção de uma equação da variável  $N_p$  em função da variável  $h_{dom}$ .

<i>Número</i>	<i>Modelo</i>
1	$\ln(N_p) = b_0 + b_1 h_{dom} + b_2 h_{dom}^2$
2	$\ln(N_p) = b_0 + b_1 h_{dom}$
3	$\ln(N_p) = b_0 + b_1 h_{dom}^2$
4	$\ln(N_p) = b_0 + b_1 \ln(h_{dom}) + b_2 (\ln(h_{dom}))^2$
5	$\ln(N_p) = b_0 + b_1 \ln(h_{dom})$
6	$\ln(N_p) = b_0 + b_1 (\ln(h_{dom}))^2$

Em que:  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $N_p$  = número potencial de árvores por hectare;  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  e  $b_2$  = coeficientes angulares;  $h_{dom}$  = altura dominante.

Na seleção da equação foram considerados os parâmetros estatísticos do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), coeficiente de variação (CV), valor de F calculado e valor do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (Tabela 4). A equação selecionada foi a de número 5, porém, observa-se que as equações 5 e 6 são muito próximas em relação a todos os critérios de seleção utilizados.

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos para a seleção do modelo a estimar o valor de  $N_p$  (número potencial de árvores por hectare) em função da  $h_{dom}$  (altura dominante).

Equação	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2_{aj}$	CV (%)	F	$\chi^2$
1	7,81894	-0,07257	0,00069	0,50	5,58	187,62	7,63
2	7,49690	-0,04032		0,49	5,62	361,65	7,78
3	7,06285	-0,00081		0,45	5,83	309,65	8,35
4	8,35293	-0,30445	-0,09043	0,50	5,57	188,61	7,61
<b>5</b>	<b>9,11058</b>	<b>-0,83478</b>		<b>0,50</b>	<b>5,57</b>	<b>376,50</b>	<b>7,63</b>
6	7,91511	-0,14205		0,50	5,56	377,67	7,62

Em que:  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  e  $b_2$  = coeficientes angulares;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado; CV = coeficiente de variação; F = Valor de F calculado;  $\chi^2$  = estatística do Qui-quadrado.

A análise gráfica da dispersão dos valores observados em torno da curva mostrou estimativas muito próximas entre as duas equações exceto para a primeira classe de altura, optando-se pela equação 6, a qual pode ser observada na Figura 4.

Nessa Figura, verificou-se que a tendência dos dados estimados foi a mesma dos dados observados, porém houve uma maior discrepância dos dados especialmente nas primeiras classes de altura. A maioria dos valores extremos superiores a linha de regressão que ocorrem nessas classes decorrem da prática da desrama na área amostrada em São Francisco de Paula, onde foram coletados parte dos dados. Conforme diminuíram os raios de copa, também diminuía a área de copa, aumentando o número de árvores potenciais por hectare.

O emprego de dados oriundos de árvores desramadas deveu-se à falta de evidências iniciais de possíveis diferenças entre a largura da copa em árvores de mesma altura não-desramadas, ou seja, de que as árvores já teriam recuperado a proporcionalidade da copa com o crescimento em altura.

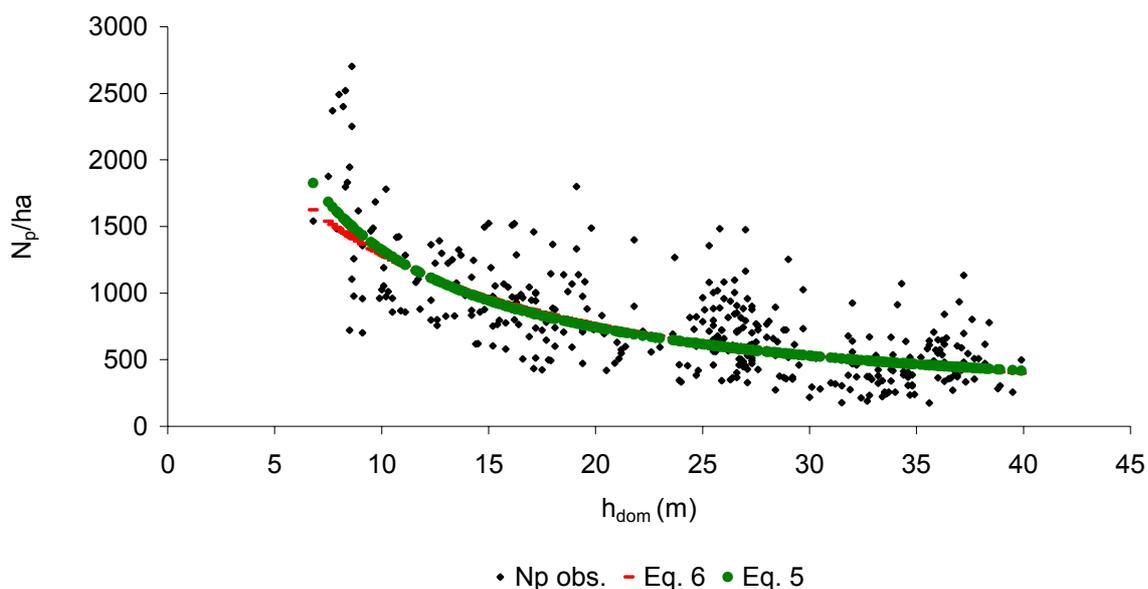


Figura 4 – Comparação do ajustamento da linha de regressão da equação selecionada, equação 5, com a equação 6.

Segundo o exame dos resíduos expresso na Figura 5, o modelo selecionado foi o que apresentou menor discrepância dos resíduos sem apresentar tendências de superestimação ou subestimação da variável dependente ( $N_p/ha$ ) ao longo da distribuição dos valores observados. O erro expresso nesse gráfico foi muito grande, variando em torno de de -500 a 1000 árvores por hectare, o que impede o uso seguro da equação selecionada e mostra que a variação nos dados pode estar sendo influenciada, apenas, pela variável “Local” ou outros fatores como o manejo e o Índice de espaçamento relativo ( $S\%$ ).

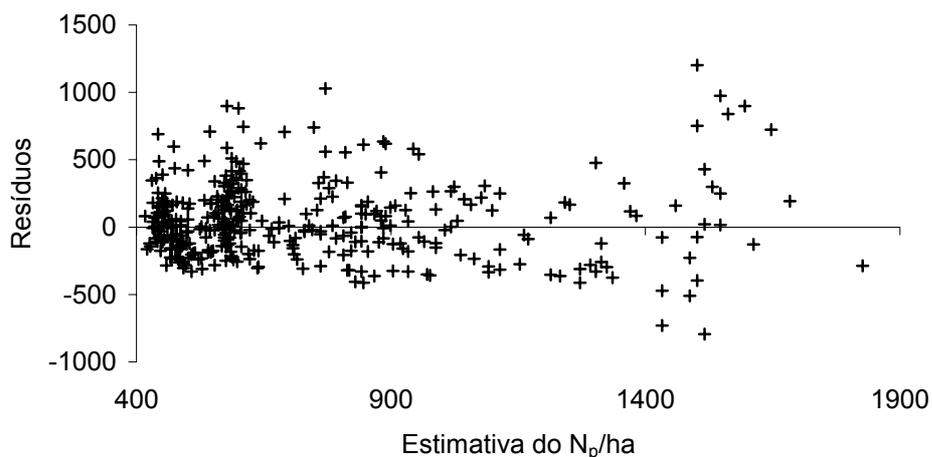


Figura 5 – Resíduos contra o valor estimado da variável dependente  $N_p/ha$  para as árvores dominantes.

#### 4.2 Análise de covariância

A análise comparativa das equações de regressão desenvolvidas de forma independente para as três regiões de amostragem apontou haver diferença significativa entre elas.

A análise de covariância mostrou que não houve diferença significativa, ao nível de 1% de probabilidade de erro, para a inclinação entre os modelos  $(\ln(h_{dom}) \cdot D1)$  e  $(\ln(h_{dom}) \cdot D2)$  em relação a  $(\ln(h_{dom}) \cdot D3)$ , conforme a Tabela 5. No teste de hipótese para níveis comuns, verificou-se que há diferença significativa de níveis apenas entre os locais 2 e 3 ( $Pr > F = 0,0013$ ), sendo os locais 1 e 3 iguais em nível ( $Pr > F = 0,7765$ ), conforme pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
Modelo	5	50,9683	10,1937	78,74	<,0001
Erro	368	47,6386	0,1295	.	.
Ln( $h_{dom}$ )	1	49,6001	49,6001	383,15	<,0001
Local 1 (D1)	1	0,0105	0,0105	0,08	0,7765
Local 2 (D2)	1	1,3526	1,3526	10,45	0,0013
Local 3 (D3)	0	0,0000	.	.	.
Ln( $h_{dom}$ )*D1	1	0,0022	0,0022	0,02	0,8966
Ln( $h_{dom}$ )*D2	1	0,0030	0,0030	0,02	0,8793
Ln( $h_{dom}$ )*D3	0	0,0000	.	.	.
Total	373	98,6069	.	.	.

Em que: FV = Fonte de Variação; GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr > F = Probabilidade de significância para F; Ln = logaritmo neperiano;  $h_{dom}$  = altura dominante; D1 = Cambará do Sul; D2 = Otacílio Costa; D3 = São Francisco de Paula.

Como não houve interação entre a variável “Local” e variável  $h_{dom}$ , foi calculada uma regressão para o Local 2 e outra para os Locais 1 e 3, pois essas regressões diferiram significativamente apenas quanto ao coeficiente linear sendo paralelas (Tabela 6).

Tabela 6 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para descrever o número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

<i>Local</i>	$b_0$	$b_1$	$R^2$	<i>CV (%)</i>
Cambará do Sul e São Francisco de Paula	9,28643	-0,9182	0,52	4,74
Otacílio Costa	9,48585	-0,94023	0,37	5,95

Em que:  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem.

O ajuste das curvas de regressão em relação aos dados observados para os Locais 1 e 3 está no Anexo B e a respectiva distribuição dos resíduos na Figura 6. Para o Local 2, a curva dos valores observados e ajustados encontra-se no Anexo C e a distribuição dos resíduos na Figura 7.

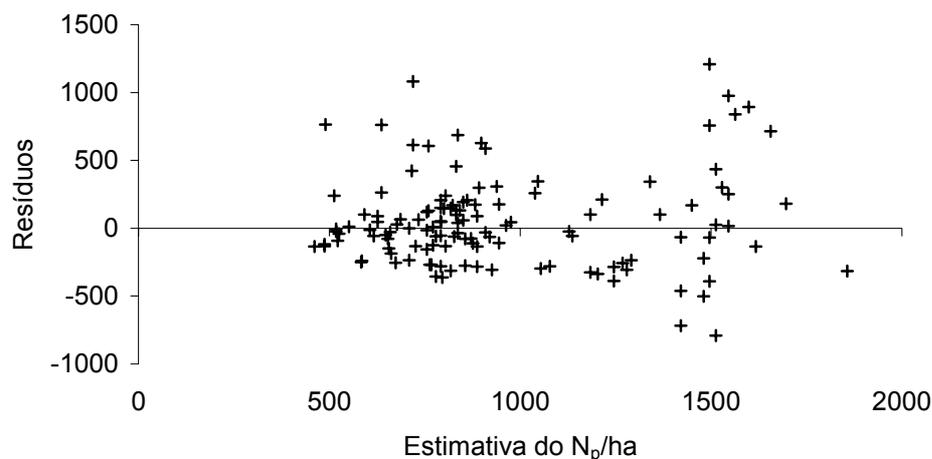


Figura 6 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do número potencial de árvores por hectare para as árvores dominantes de Cambará do Sul e São Francisco de Paula.

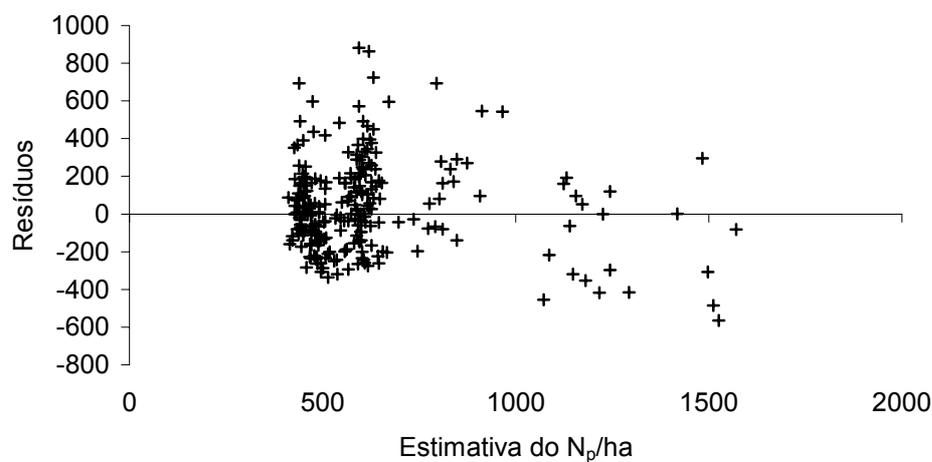


Figura 7 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do número potencial de árvores por hectare para as árvores dominantes de Otacílio Costa.

A análise gráfica dos resíduos mostrou que as equações desenvolvidas para cada local não apresentaram tendência de super ou subestimação. Entretanto, o uso de equações separadas não reduziu a dispersão dos resíduos de forma significativa quando comparada com a regressão dos dados formando um conjunto único, revelando assim uma grande variabilidade nos dois novos conjuntos de dados, ou

seja, Cambará do Sul e São Francisco de Paula (Locais 1 e 3) e Otacílio Costa (Local 2).

A observação gráfica das curvas de regressão calculadas para Otacílio Costa (Local 2) e para Cambará do Sul e São Francisco de Paula (Locais 1 e 3), representadas na Figura 8, evidenciou a diferença entre essas localidades, as quais apresentaram níveis diferentes na regressão e inclinações iguais estatisticamente, ou seja, as curvas de regressão têm tendência a serem paralelas.

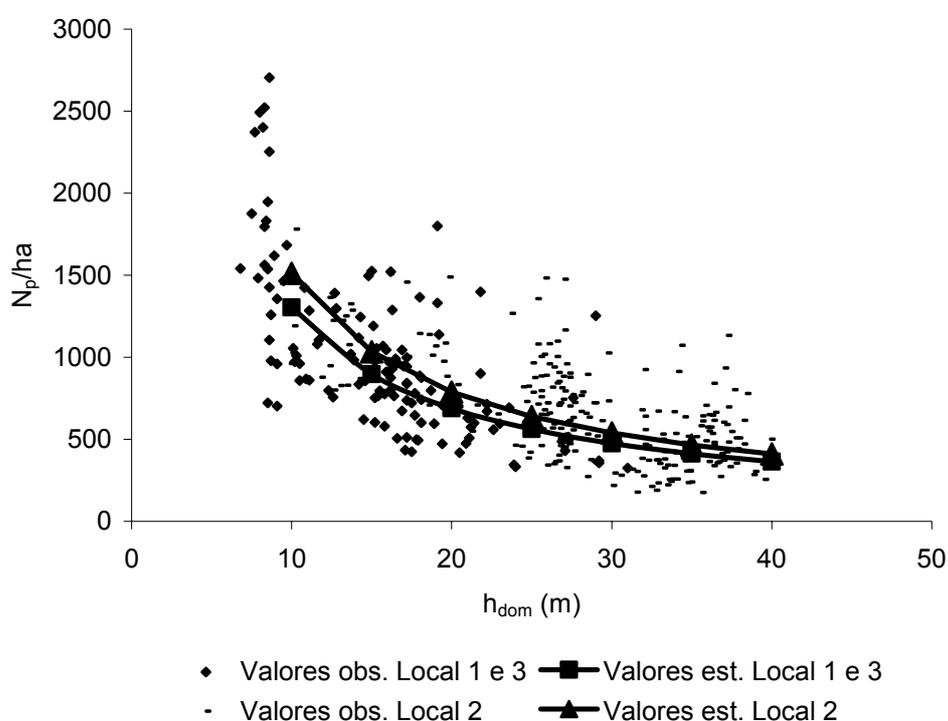


Figura 8 – Diretrizes para desbaste representadas pelas curvas de regressão ajustadas por classes de altura dominante para cada local.

Esse resultado se deve ao fato de que as florestas de *Pinus taeda* localizadas nas cidades de Cambará do Sul e São Francisco de Paula receberam um manejo semelhante, mas diferente das florestas de Otacílio Costa. Os desbastes aplicados nas florestas dos municípios de Cambará e São Francisco foram mais pesados e iniciaram em idades mais jovens comparando com Otacílio Costa, em Santa Catarina. Além disso, nas florestas dos Locais 1 e 3, houve a prática da desrama, com maior intensidade no Local 3, o que não ocorreu nas florestas de Otacílio Costa.

Assim, o número de árvores potenciais por hectare estimado para Cambará do Sul e São Francisco de Paula foi menor do que o número de árvores estimado para Otacílio Costa em razão do fato de que, nos locais onde o desbaste foi mais pesado, houve um aumento do espaço vital permitindo a expansão lateral da copa e da área de projeção da copa, fazendo com que o povoamento comporte um menor número de árvores potenciais por hectare (Veja 4.6). A reação de aumento da área ocupada pela copa leva a uma redução de sua eficiência, conforme os trabalhos apresentados por Assmann (1970).

No ajustamento das curvas de regressão da variável  $N_p$  em função da variável  $h_{dom}$ , pode ser observado que existe uma diferença no número potencial de árvores estimadas, entre os locais, mais acentuada nas classes de menor altura do que naquelas de maior altura dominante, tendendo a reduzir essa diferença a partir de uma determinada altura, não ocorrendo mais efeito de desbaste.

Por outro lado, a Figura 8 mostrou uma grande variação do número potencial de árvores observadas em uma mesma altura dominante, em qualquer um dos grupos formados pela análise de covariância. Também ficou evidente que a diferença no diâmetro da copa nos 2 grupos pode estar associada ao espaçamento disponível no talhão, pois as árvores de Cambará do Sul e São Francisco de Paula sofreram desrama e desbaste em anos anteriores.

#### **4.3 Relação entre o número potencial de árvores por hectare, o Índice de espaçamento relativo e a altura dominante**

A relação entre o número de árvores observadas por hectare e o Índice de espaçamento relativo calculado em função da altura dominante deve ser inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o número de árvores presentes em povoamento de mesma altura, menor o espaço entre elas. Porém, quando se relacionou o número potencial de árvores por hectare com o Índice de espaçamento relativo ( $S\%$ ) notou-se que árvores com maior área de copa e que originaram menor número de árvores por hectare, ocorreram nos locais com menor Índice de espaçamento relativo como mostra a Figura 9. Esse resultado se tornou evidente, pois a maioria das árvores de maior altura dominante e copas mais largas se

encontravam em áreas com o mesmo Índice de espaçamento relativo das árvores de menor altura e copas relativamente menores.

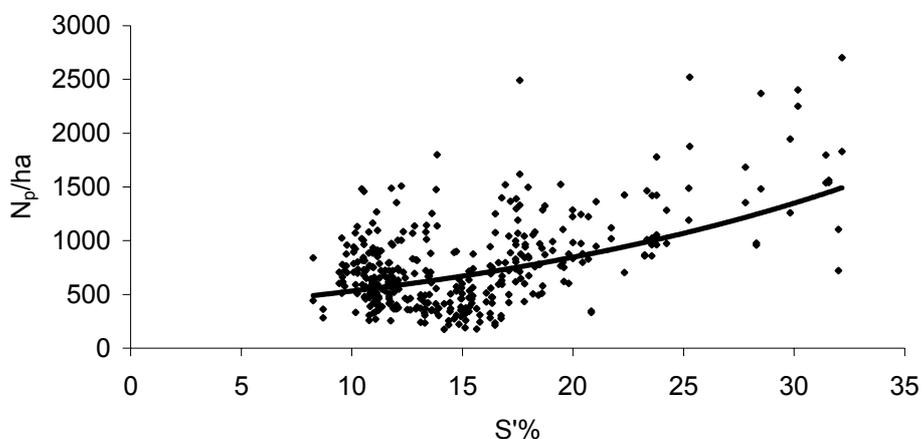


Figura 9 – Tendência do número potencial de árvores por hectare e o Índice de espaçamento relativo para todos os locais de amostragem.

A relação exposta na Figura 9 pode ser comprovada ao analisar a relação entre a altura dominante e o Índice de espaçamento relativo apresentado na Figura 10, em que se observou que as árvores mais altas do povoamento estão em maior competição do que aquelas com menor altura dominante, pois se encontram em um Índice de espaçamento relativo muito baixo.

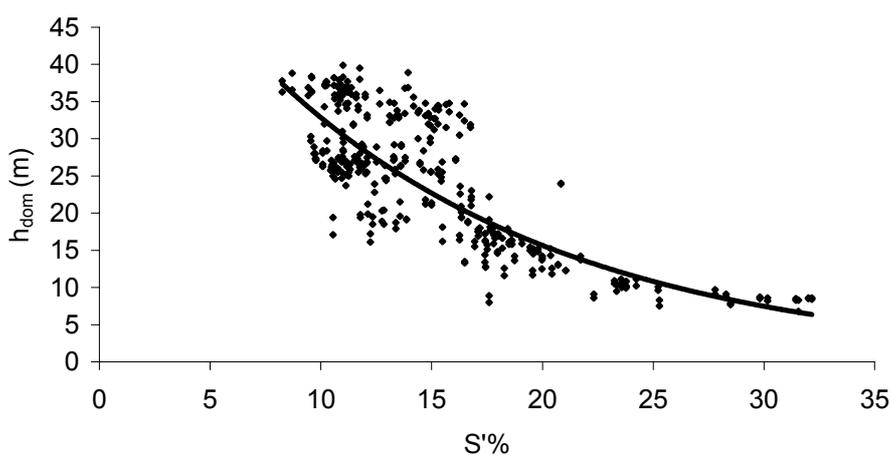


Figura 10 – Tendência entre os dados observados da altura dominante e o Índice de espaçamento relativo para todos os locais.

A concorrência existente entre as árvores de maior altura pode também ser observada na Figura 11 pelo Índice de Glover e Hool, pois quanto menor este índice maior a concorrência. De acordo com Assmann (1970), a competição nas florestas pode ser determinada como a falta de espaço em consequência da alta densidade intra-específica, a qual influi diretamente no desenvolvimento do indivíduo. Sendo assim, como todas as unidades amostrais foram alocadas em pontos nos quais a densidade era maior, mesmo em povoamentos já desbastados, a competição aqui registrada depende da altura das árvores, ou seja, quanto maior a altura, maior a concorrência entre os indivíduos (Figura 11).

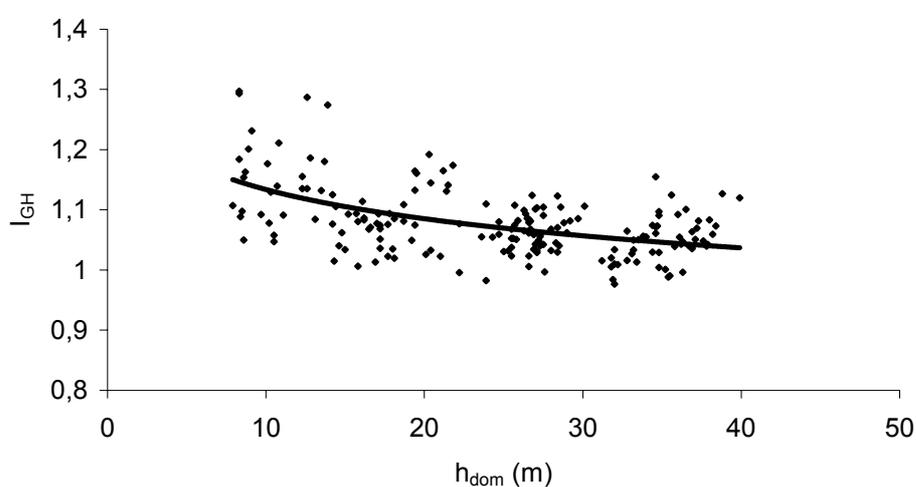


Figura 11 – Tendência entre o Índice de Concorrência de Glover e Hool e a altura dominante para os três locais de amostragem.

#### 4.4 Relação entre as dimensões da copa e a altura das árvores

##### 4.4.1 Relação entre o diâmetro da copa e a altura dominante

Na Tabela 7, foram relacionados os modelos, os coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão calculadas,  $R^2_{aj}$  e CV, valor de F calculado e valor do  $\chi^2$ , sendo selecionada como melhor equação a de número 9 por apresentar o maior coeficiente de determinação e também um baixo valor do coeficiente de variação.

Tabela 7 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever o diâmetro de copa (b) em função da altura dominante.

Eq.	Y	X	$W_i$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2_{aj}$	CV (%)	F	$\chi^2$
1	ln(b)	$(\log(h_{dom}^3))^2$	$1/h_{dom}^2$	0,73657	0,04404		0,59	0,72	529,06	8,25
2	log(b)	$(\log(h_{dom}^3))^2$	$1/h_{dom}^2$	0,31989	0,01913		0,59	0,72	529,06	3,58
3	ln(b)	$h_{dom}$ e $h_{dom}^2$	$1/h_{dom}^2$	0,71748	0,04697	-0,00058	0,58	0,73	261,29	8,34
4	ln(b)	$h_{dom}$	$1/h_{dom}$	0,94168	0,02163		0,56	2,85	474,28	8,48
5	ln(b)	$h_{dom}$	$1/h_{dom}^2$	0,90332	0,02354		0,56	0,74	477,62	8,6
6	ln(b)	$h_{dom}^2$	$1/h_{dom}$	1,14843	0,00047		0,51	3,02	386,28	9,28
7	ln(b)	$\ln(h_{dom})$ e $(\ln(h_{dom}))^2$	$1/h_{dom}^2$	-0,08814	0,61639	-0,03678	0,59	0,72	272,57	8,32
8	ln(b)	$\ln(h_{dom})$	$1/h_{dom}$	0,18699	0,41199		0,58	2,79	513,55	8,26
9	<b>ln(b)</b>	<b>ln(h<sub>dom</sub>)</b>	<b>1/h<sub>dom</sub><sup>2</sup></b>	<b>0,18054</b>	<b>0,41438</b>		<b>0,59</b>	<b>0,72</b>	<b>544,69</b>	<b>8,25</b>
10	ln(b)	$(\ln(h_{dom}))^2$	$1/h_{dom}^2$	0,73657	0,07476		0,59	0,72	529,06	8,25

Em que: Eq. = Equação; Y = variável dependente; b = diâmetro de copa; X = variável independente;  $h_{dom}$  = altura dominante; log = logaritmo decimal; ln = logaritmo neperiano;  $W_i$  = peso de ponderação;  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  e  $b_2$  = coeficientes angulares;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado;  $\chi^2$  = estatística do Qui-quadrado.

Comparando o diâmetro de copa e a altura dominante na Figura 12, verificou-se que árvores com maior altura dominante apresentaram maior diâmetro de copa. Sendo assim, nos povoamentos mais velhos, as copas são mais largas e necessitam de maior espaço de crescimento, pois, caso contrário, ocorre a competição entre os indivíduos como visto anteriormente. Portanto, o desbaste pode ser definido seguindo como referência a altura dominante, pois árvores mais altas possuem copas mais largas e maior competição do que as árvores mais jovens de menor altura dominante.

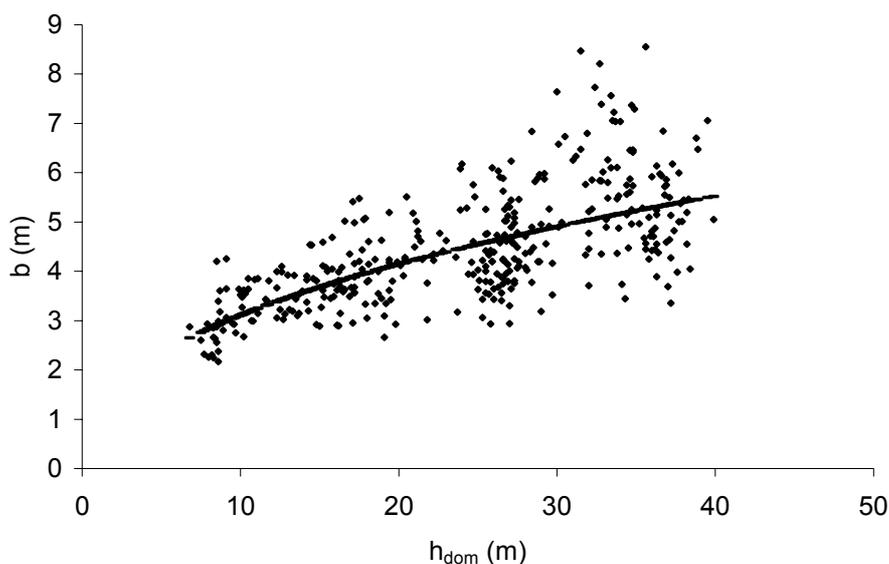


Figura 12 – Ajuste da curva de regressão do diâmetro de copa ( $b$ ) em função da altura dominante para os três locais de amostragem.

Segundo Assmann (1970), o espaço médio disponível para o crescimento de uma árvore num povoamento varia inversamente com o número de árvores por hectare e diretamente com o diâmetro médio das árvores, pois, com um aumento no diâmetro das árvores, o tamanho médio das copas também aumenta, e, por consequência, o espaço requerido para o crescimento.

O teste de hipótese exposto na Tabela 8 para verificar a diferença de inclinação da curva de regressão entre os locais mostrou diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, do Local 2 em relação aos Locais 1 e 3. No teste para verificação de níveis comuns, verificou-se que não houve diferença entre o Local 1 e o Local 3. Portanto, as curvas dos Locais 1 e 3 são coincidentes e paralelas, assim como ocorreu anteriormente na análise de covariância do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

Tabela 8 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável diâmetro de copa (b).

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
Modelo	5	0,0470	0,0094	115,01	<,0001
Erro	368	0,0301	0,0001	.	.
Ln( $h_{dom}$ )	1	0,0458	0,0458	560,35	<,0001
Local 1 (D1)	1	0,0001	0,0001	0,57	0,4492
Local 2 (D2)	1	0,0006	0,0006	6,89	0,0090
Local 3 (D3)	0	0,0000	.	.	.
Ln( $h_{dom}$ )*D1	1	0,0000	0,0000	0,26	0,6123
Ln( $h_{dom}$ )*D2	1	0,0006	0,0006	6,97	0,0086
Ln( $h_{dom}$ )*D3	0	0,0000	.	.	.
Total	373	0,0770	.	.	.

Em que: *FV* = Fonte de Variação; *GL* = Grau de Liberdade; *SQ* = Soma de Quadrados; *QM* = Quadrado Médio; *Pr > F* = Probabilidade de significância para *F*; *Ln* = logaritmo neperiano;  $h_{dom}$  = altura dominante; D1 = Cambará do Sul; D2 = Otacílio Costa; D3 = São Francisco de Paula.

O ajuste de regressões independentes para os dois grupos indicados pela análise da covariância (Tabela 9) mostrou que o coeficiente de determinação baixou de 0,59 (todos os dados) para 0,52 (Cambará e São Francisco de Paula) e 0,53 (Otacílio), porém é maior que o encontrado por Durlo (2001) ( $R^2 = 0,37$ ) utilizando a mesma equação, mas para espécie diferente. Assim, não houve grandes mudanças para  $R^2$  e CV com as novas equações ajustadas por local. O ajuste da equação e distribuição de resíduos para Cambará e São Francisco encontram-se no Anexo D e E, e para Otacílio Costa no Anexo F e G.

Tabela 9 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para a variável diâmetro de copa.

<i>Local</i>	$b_0$	$b_1$	$R^2$	<i>CV (%)</i>
Cambará do Sul e São Francisco de Paula	0,0507	0,47177	0,52	1,02
Otacílio Costa	0,19669	0,40314	0,53	0,50

Em que:  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem.

Nutto et al. (2001), utilizando os parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm., encontraram, no ajuste da equação

$b = 1,503 + 0,003455 * DAP^2$ , valores de  $R^2$  de 0,48 e CV de 22,43%. Comparando esses valores com os valores do presente estudo, notou-se que a equação logarítmica, tendo como variável independente a altura das árvores, teve melhores parâmetros do que a apresentada pelo autor.

#### 4.4.2 Relação entre a percentagem de copa e a altura dominante

O ajuste da equação de regressão da percentagem de copa, em função da altura dominante com 10 modelos ponderados pelo inverso da altura dominante ( $1/h_{dom}$ ), inverso da altura dominante ao quadrado ( $1/h_{dom}^2$ ) e não-ponderados, mostrou, conforme os critérios de seleção apresentados na Tabela 10, que a equação de número 10 teve melhor ajuste, conforme os critérios de seleção. A equação selecionada teve um bom ajustamento para os dados observados como pode ser visto na Figura 14 e na distribuição dos resíduos no Anexo H.

Tabela 10 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a percentagem de copa (Pc) em função da altura dominante.

Eq.	Y	X	$W_i$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2_{aj}$	CV (%)	F	$\chi^2$
1	Pc	$1/\ln(h_{dom})$	$1/h_{dom}$	-17,15157	163,11606		0,62	4,47	619,73	653,61
2	Pc	$1/\ln(h_{dom})$	$1/h_{dom}^2$	-13,22525	152,96788		0,60	1,02	564,56	655,56
3	$\ln(Pc)$	$\ln(h_{dom}^2)$	$1/h_{dom}^2$	5,21035	-0,26846		0,61	0,30	582,84	6,95
4	$\log(Pc)$	$\ln(h_{dom}^3)$	$1/h_{dom}^2$	2,26282	-0,07773		0,61	0,30	582,84	3,02
5	$\log(Pc)$	$h_{dom}$	$1/h_{dom}^2$	1,85954	-0,01347		0,60	0,31	549,98	3,30
6	$\ln(Pc)$	$h_{dom}$ e $h_{dom}^2$	$1/h_{dom}^2$	4,51570	-0,06049	0,00074	0,62	0,30	300,73	6,98
7	$\ln(Pc)$	$h_{dom}$	$1/h_{dom}^2$	4,28174	-0,03101		0,60	0,31	549,98	7,61
8	$\ln(Pc)$	$\ln(h_{dom})$ e $(\ln(h_{dom}))^2$	$1/h_{dom}^2$	4,51500	-0,01413	-0,09517	0,61	0,30	294,94	7,06
9	$\ln(Pc)$	$\ln(h_{dom})$	$1/h_{dom}^2$	5,21035	-0,53693		0,61	0,30	582,84	6,95
<b>10</b>	<b><math>\ln(Pc)</math></b>	<b><math>(\ln(h_{dom}))^2</math></b>	<b><math>1/h_{dom}^2</math></b>	<b>4,49609</b>	<b>-0,09773</b>		<b>0,61</b>	<b>0,30</b>	<b>591,47</b>	<b>7,06</b>

Em que: Eq. = Equação; Y = variável dependente; Pc = percentagem de copa; X = variável independente;  $h_{dom}$  = altura dominante; log = logaritmo decimal; ln = logaritmo neperiano;  $W_i$  = peso de ponderação;  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  e  $b_2$  = coeficientes angulares;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado;  $\chi^2$  = estatística do Qui-quadrado.

Mesmo que a percentagem de copa se reduza com o aumento da altura dominante, conforme exposto na Figura 13, a competição pela luz se dá horizontalmente e não verticalmente no povoamento. Desse modo, se houve um aumento da largura das copas com o aumento da altura dominante, então as árvores de povoamentos com maior altura dominante deveriam sofrer desbaste de forma a comportar um número potencial de árvores por hectare onde as copas não mais entrem em competição.

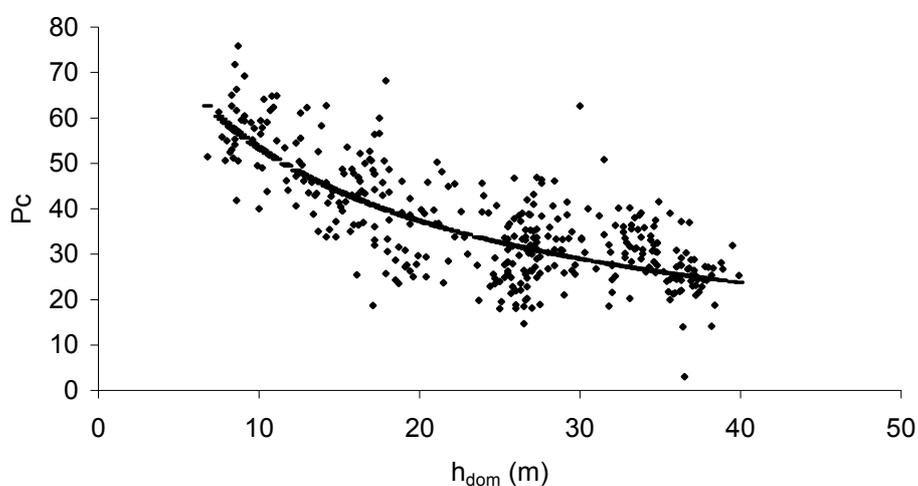


Figura 13 – Ajuste da curva de regressão da percentagem (Pc) de copa em função da altura dominante para os três locais de amostragem.

No resultado do teste de hipótese da análise de covariância na Tabela 11, verificou-se que a interação entre a variável independente ( $(\ln(h_{dom}))^2$ ) e a variável discreta (Local) foi significativa para todos os locais. Assim, o ajuste da equação de regressão foi realizado para cada um dos locais, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável percentagem de copa (Pc).

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
Modelo	5	0,0825	0,0165	140,11	<,0001
Erro	368	0,0433	0,0001	.	.
(Ln( $h_{dom}$ )) <sup>2</sup>	1	0,0773	0,0773	655,97	<,0001
Local 1 (D1)	1	0,00001	0,00001	0,06	0,8046
Local 2 (D2)	1	0,0029	0,0029	25,00	<,0001
Local 3 (D3)	0	0,0000	.	.	.
(Ln( $h_{dom}$ )) <sup>2</sup> *D1	1	0,0011	0,0011	9,71	0,0020
(Ln( $h_{dom}$ )) <sup>2</sup> *D2	1	0,0012	0,0012	9,79	0,0019
(Ln( $h_{dom}$ )) <sup>2</sup> *D3	0	0,0000	.	.	.
Total	373	0,1259	.	.	.

Em que: FV = Fonte de Variação; GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr > F = Probabilidade de significância para F; Ln = logaritmo neperiano;  $h_{dom}$  = altura dominante; D1 = Cambará do Sul; D2 = Otacílio Costa; D3 = São Francisco de Paula.

Segundo a Tabela 12, não houve mudança significativa dos parâmetros estatísticos na análise parcial do conjunto de dados, permanecendo um coeficiente de variação em torno de 0,30% e diminuindo o coeficiente de determinação quando comparado com a análise feita para o conjunto total dos dados. O ajustamento das curvas de regressão para descrever a percentagem de copa dos locais Cambará, Otacílio e São Francisco encontram-se nos Anexos I, L e N, e a distribuição dos resíduos para esses mesmos locais nos Anexos J, M e O.

Tabela 12 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para a variável percentagem de copa.

<i>Local</i>	$b_0$	$b_1$	$R^2$	<i>CV (%)</i>
Cambará do Sul	4,7130	-0,1273	0,58	0,28
Otacílio Costa	4,3619	-0,0886	0,45	0,30
São Francisco de Paula	4,2905	-0,0542	0,30	0,30

Em que:  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem.

Durlo (2001), estudando as relações morfométricas de copa para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. pelo modelo  $\ln(Pc) = b_0 + b_1 * \ln(h)$ , encontrou um coeficiente

de determinação de 0,06, o qual foi muito baixo comparado com os encontrados neste estudo.

Estudos em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. realizados por Nutto et al. (2001), encontraram valores de  $R^2$  de 0,38 e CV de 14,79% para a equação  $l = 2,528 + 0,221 * DAP$ , os quais também não superam os valores encontrados no presente trabalho com a espécie *Pinus taeda* (Tabela 12).

#### 4.4.3 Relação entre o comprimento de copa exposto à luz e a altura dominante

No ajustamento da equação de regressão do comprimento de copa exposto à luz em função da altura dominante foram analisados dez modelos ponderados semelhantes aos da equação da percentagem de copa em função da altura dominante (Tabela 13). As regressões sem fator de ponderação para o comprimento de copa exposto à luz não apresentaram parâmetros estatísticos adequados e, por isso, não foram expostas na Tabela 13.

Tabela 13 – Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para a seleção da equação comprimento de copa exposto à luz (lo) em função da altura dominante.

Eq.	Y	X	$W_i$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2_{aj}$	CV (%)	F	$\chi^2$
1	lo	$1/h_{dom}^2$	$1/h_{dom}^2$	3,75710	-71,63534		0,18	1,43	83,76	104,67
2	log(lo)	$1/h_{dom}^2$	$1/h_{dom}^2$	0,56004	-8,99656		0,19	1,16	86,36	9,83
3	ln(lo)	$1/h_{dom}^2$	$1/h_{dom}$	1,29044	-20,83861		0,13	4,85	56,02	22,63
4	<b>ln(lo)</b>	<b><math>1/h_{dom}^2</math></b>	<b><math>1/h_{dom}^2</math></b>	<b>1,28955</b>	<b>-20,71535</b>		<b>0,19</b>	<b>1,16</b>	<b>86,36</b>	<b>22,64</b>
5	log(lo)	$h_{dom}$	$1/h_{dom}^2$	0,41360	0,00508		0,13	1,20	57,55	10,33
6	ln(lo)	$h_{dom}$ e $h_{dom}^2$	$1/h_{dom}^2$	0,68270	0,04568	-0,00085	0,18	1,17	40,73	22,96
7	ln(lo)	$h_{dom}$	$1/h_{dom}^2$	0,95235	0,01170		0,13	1,20	57,55	23,78
8	ln(lo)	$\ln(h_{dom})$ e $(\ln(h_{dom}))^2$	$1/h_{dom}^2$	-0,89546	1,30834	-0,19761	0,18	1,16	43,43	22,65
9	ln(lo)	$\ln(h_{dom})$	$1/h_{dom}^2$	0,54830	0,22286		0,16	1,17	74,01	23,03
10	ln(lo)	$(\ln(h_{dom}))^2$	$1/h_{dom}^2$	0,85506	0,03914		0,15	1,18	68,44	23,27

Em que: Eq. = Equação; Y = variável dependente; lo = comprimento de copa exposto à luz; X = variável independente;  $h_{dom}$  = altura dominante; log = logaritmo decimal; ln = logaritmo neperiano;  $W_i$  = peso de ponderação;  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  e  $b_2$  = coeficientes angulares;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado;  $\chi^2$  = estatística do Qui-quadrado.

Segundo os critérios de seleção apresentados na Tabela 13, a melhor equação foi a número quatro. A equação selecionada teve um ajustamento significativo para os dados observados como pode ser visto na Figura 14 e na distribuição dos resíduos no Anexo P. Observando a Figura 14, nota-se que, nos dois primeiros intervalos de classe de altura, a curva é mais acentuada, ou seja, com o crescimento em altura, o comprimento de copa de luz cresce de forma definida. Tonini e Arco-Verde (2005), em estudos com espécies folhosas, também observaram que o comprimento de copa cresce à medida que aumenta a altura das árvores.

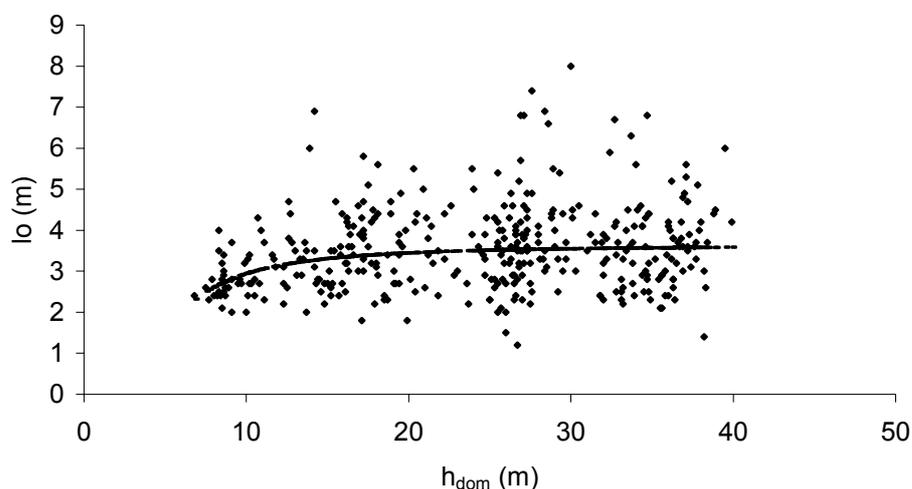


Figura 14 – Ajuste da curva de regressão do comprimento de copa exposta à luz ( $l_o$ ) em função da altura dominante para todos os locais de amostragem.

Ainda na Figura 14, partindo do terceiro intervalo de classe, o comprimento de copa exposto à luz cresce muito pouco tendendo a ser constante, pois como se tratam de árvores dominantes, todas possuíam valores de altura dominante próximos, não variando, assim, o comprimento de copa de luz.

O teste de hipótese para inclinação entre as regressões de cada local evidenciou que não há interação entre os locais com a variável comprimento de copa exposto à luz, sendo as curvas paralelas, conforme a Tabela 14. Ainda na Tabela 14, o teste de hipótese para níveis comuns mostrou diferença significativa entre os

Locais 2 e 3, ao nível de 1% de probabilidade de erro, sendo as curvas de regressão dos Locais 1 e 3 coincidentes.

Tabela 14 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável comprimento de copa exposto à luz (lo).

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
Modelo	5	0,0185	0,0037	22,26	<,0001
Erro	368	0,0612	0,0002	.	.
$1/(h_{dom})^2$	1	0,0150	0,0150	90,31	<,0001
Local 1 (D1)	1	0,0008	0,0008	4,55	0,0336
Local 2 (D2)	1	0,0020	0,0020	11,94	0,0006
Local 3 (D3)	0	0,0000	.	.	.
$1/(h_{dom})^2 * D1$	1	0,0005	0,0005	2,92	0,0882
$1/(h_{dom})^2 * D2$	1	0,0003	0,0003	1,59	0,2078
$1/(h_{dom})^2 * D3$	0	0,0000	.	.	.
Total	373	0,0798	.	.	.

Em que: FV = Fonte de Variação; GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr > F = Probabilidade de significância para F; Ln = logaritmo neperiano;  $h_{dom}$  = altura dominante; D1 = Cambará do Sul; D2 = Otacílio Costa; D3 = São Francisco de Paula.

Os parâmetros estatísticos das regressões para Cambará do Sul e São Francisco de Paula e para Otacílio Costa podem ser observados na Tabela 15. Comparando os parâmetros da Tabela 15 com aqueles obtidos para a equação 4 da análise conjunta dos dados (Tabela 13), notou-se que o coeficiente de determinação ajustado teve uma melhora significativa para o local Cambará do Sul e São Francisco de Paula. Isso não ocorreu para o local Otacílio Costa com um  $R^2$  muito baixo (0,04), porém com um coeficiente de variação (0,96) melhor do que o local anterior. O ajustamento das curvas de regressão e a distribuição dos resíduos para Cambará do Sul e São Francisco de Paula estão no Anexo Q e R e, para Otacílio Costa, no Anexo S e T.

Tabela 15 – Parâmetros estatísticos das equações selecionadas por local para a variável comprimento de copa exposto à luz.

<i>Local</i>	$b_0$	$b_1$	$R^2$	$CV$ (%)
Cambará do Sul e São Francisco de Paula	1,3345	-23,9904	0,28	1,45
Otacílio Costa	1,2579	-18,8177	0,04	0,96

Em que:  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação;  $CV$  (%) = coeficiente de variação em percentagem.

#### 4.5 Variação do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante e do efeito do desbaste

Conforme verificado no item 4.2, o número potencial de árvores por hectare diminuiu em locais onde o desbaste foi mais pesado, como em Cambará do Sul e São Francisco de Paula, ocorrendo o oposto em Otacílio Costa. Assim, para investigar a variação dos dados observados foram realizadas regressões considerando o local e a execução ou não do desbaste, conforme representado na Tabela 16. Em Otacílio Costa, nas áreas com desbaste, não houve regressão apresentando um  $R^2$  insignificante (0,00045). Em Cambará do Sul, nas áreas sem desbaste, o número de observações foi baixo, não sendo obtidas equações de regressão significantes. As demais equações foram significantes, mas a maioria dos coeficientes de determinação foram inferiores ao apresentado pela equação do número de árvores em função da altura com dados agrupados por local (item 4.2).

Tabela 16 – Coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo  $\ln(N_p) = b_0 + b_1 * \ln(h_{dom})$  para diferentes conjuntos de dados considerando o local e o desbaste.

<i>Local/Desb.</i>	<i>b0</i>	<i>b1</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>CV (%)</i>	<i>N obs.</i>
OC c/ desb.	6,31088	-0,06462	0,00045	6,38	134 ns
OC s/ desb.	8,41759	-0,55114	0,29	4,06	112 **
CS c/ desb.	10,11982	-1,17810	0,30	5,11	44 **
CS s/ desb.	8,92134	-0,75080	0,32	2,73	10 ns
SFP c/ desb.	9,07641	-0,86451	0,26	4,67	42 *
SFP s/ desb.	11,03377	-1,73107	0,42	4,43	32 **

Em que:  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; N obs. = número de árvores observadas; c/ desb. = com desbaste; s/ desb. = sem desbaste; OC = Otacílio Costa; CS = Cambará do Sul; SFP = São Francisco de Paula; ns = não significativo; \*\* = altamente significativo; \* = significativo.

Em razão da variabilidade dos dados observados em campo, as curvas separadas por local e tratamento de desbaste não apresentaram boas estimativas. A curva que descreveu São Francisco de Paula sem desbaste deveria estimar maior número potencial de árvores por hectare do que a do mesmo local com desbaste, o que não ocorreu (Figura 15). Para Otacílio Costa, em áreas com desbaste, também não foi obtida regressão significativa, e a estimativa do número de árvores não variou ficando em torno de quinhentas árvores por hectare para todas as classes de altura.

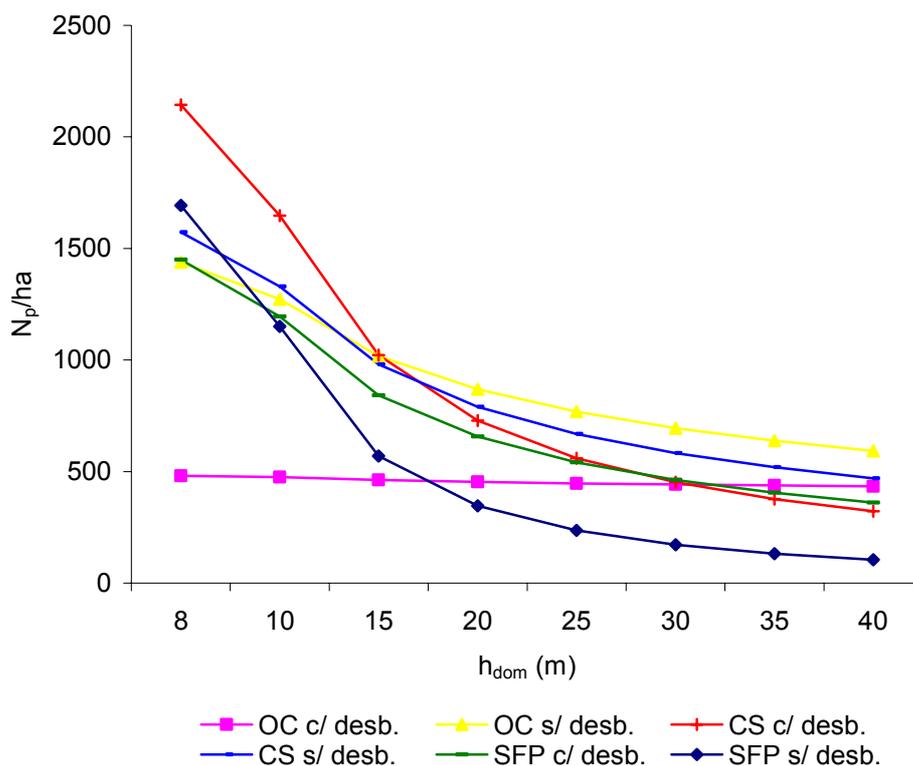


Figura 15 – Curvas de regressão para diferentes conjuntos de dados considerando o local e o desbaste ajustadas por classe de altura dominante.

Por outro lado, analisando-se todo o conjunto de dados sem distinção de local, pela análise da covariância, observou-se que há diferença significativa de inclinação entre as regressões dos dados com e sem desbaste ocorrendo o mesmo entre os níveis das equações (Tabela 17). Assim, as curvas não são paralelas e se cruzam em algum ponto, como demonstrado na Figura 15 e Figura 16.

Tabela 17 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões com desbaste e sem desbaste para o número potencial de árvores por hectare.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
Modelo	3	55,5693	18,5231	159,25	<,0001
Erro	370	43,0375	0,1163	.	.
Ln( $h_{dom}$ )	1	49,6001	49,6001	426,42	<,0001
S/ desb. (D1)	1	4,9260	4,9260	42,35	<,0001
C/ desb. (D2)	0	0,0000	.	.	.
Ln( $h_{dom}$ ) * D1	1	1,0432	1,0432	8,97	0,0029
Ln( $h_{dom}$ ) * D2	0	0,0000	.	.	.
Total	373	98,6069	.	.	.

Em que: *FV* = Fonte de Variação; *GL* = Graus de Liberdade; *SQ* = Soma de Quadrados; *QM* = Quadrado Médio; *Pr > F* = Probabilidade de significância para *F*; *Ln* = logaritmo neperiano;  $h_{dom}$  = altura dominante; D1 = sem desbaste; D2 = com desbaste.

Após os resultados obtidos na análise da covariância, foi realizada a regressão para os dados com desbaste e sem desbaste resultando em melhores parâmetros e estimativas do que aquelas obtidas separando os dados por local e desbaste (Tabela 18).

Tabela 18 – Parâmetros estatísticos das equações de regressão para os dados observados sem desbaste e com desbaste do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

<i>Desbaste</i>	$b_0$	$b_1$	$R^2$	<i>CV (%)</i>	<i>N obs.</i>
s/ desb.	8,51582	-0,58464	0,48	4,2	154 **
c/ desb.	9,11639	-0,86256	0,36	5,94	220 **

Em que:  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; *CV (%)* = coeficiente de variação em percentagem; *N obs.* = número de árvores observadas; c/ desb. = com desbaste; s/ desb. = sem desbaste; \*\* = altamente significativo.

Observando a Figura 16, verificou-se que a estimativa do número de árvores coincide para locais com e sem desbaste nas menores alturas dominantes diferenciando com o crescimento desta. Isso decorre da diferença de manejo das florestas. Conforme mostrou a Figura 8, do estudo da variação do número de árvores nos três locais de amostragem, ocorreram maiores valores de  $N_p$  no Local 2

(Otacílio Costa), onde as florestas, em sua maioria, não sofreram desbaste ou quando este ocorreu, foi de intensidade baixa.

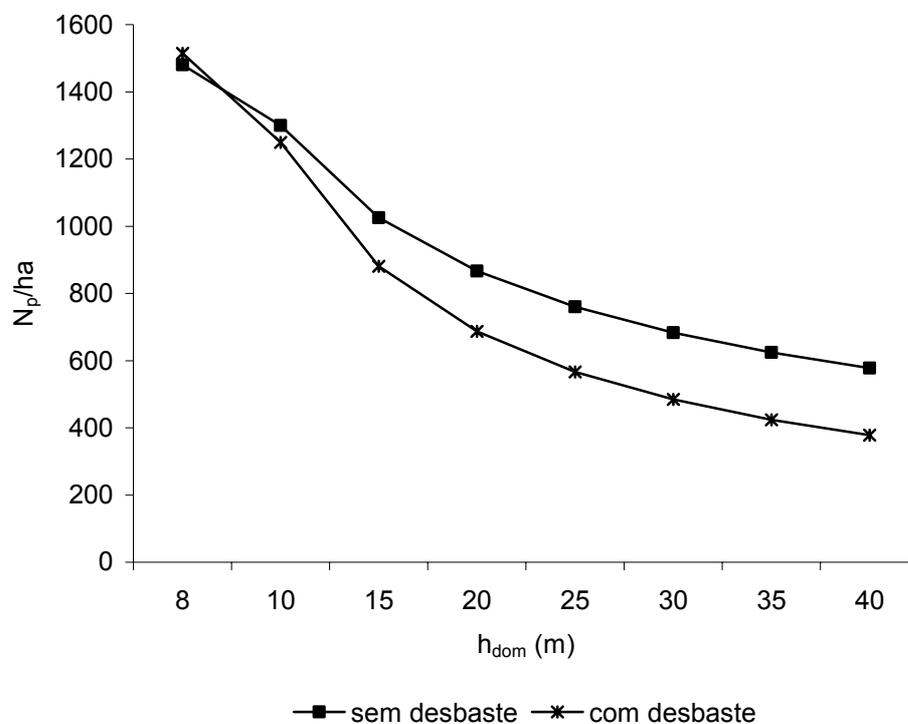


Figura 16 – Diretrizes para desbaste representadas pelas curvas de regressão ajustadas por classes de altura dominante para o conjunto de dados sem desbaste e com desbaste.

Analisando regimes de manejo com e sem desbaste em *Pinus taeda*, Gomes et al. (2002) constataram que o regime que proporcionou o máximo IMA (Incremento Médio Anual) em volume de madeira para laminação se caracterizou pelo menor número de árvores após o desbaste (400 árvores/ha). Conforme os autores, o melhor regime com desbaste apresentou rentabilidade superior em relação ao melhor regime sem desbaste.

#### **4.6 Variação do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante e da competição entre as árvores**

De acordo com os resultados obtidos para as dimensões da copa e índices de competição, verificou-se em todos eles que parte da grande variação nos dados foi explicada pelo local de origem e a ocorrência ou não de desbaste, ou seja, decorrente da prática de manejo adotada em Cambará do Sul, Otacílio Costa e São Francisco de Paula. Sobretudo em Cambará do Sul e São Francisco de Paula, embora o bom incremento das florestas e os mais de 2 anos transcorridos após a realização dos desbastes, as árvores não voltaram a competir com a mesma intensidade de antes do desbaste, embora tenham crescido em diâmetro e altura, parecendo não apresentar dimensões de copa proporcionais à altura das árvores e ao grau de competição a que estavam submetidas.

A análise da variação do número de árvores, em função da altura dominante, limitada a diferentes graus de competição entre as árvores, expressa por classes de Índice de espaçamento relativo ( $S'$ %), mostrou que os coeficientes lineares e angulares eram muito próximos, variando ao acaso (Tabela 19). A maioria dos modelos foi altamente significativa, porém os modelos da maior e menor classe de  $S'$ % não foram significantes. Por outro lado, os gráficos de resíduos não apresentaram tendências para qualquer estimativa do número potencial de árvores por hectare. Os dados coletados com  $S'$ % acima de 20% foram descartados, priorizando povoamentos em competição.

A não-significância do modelo de regressão para o  $S'$ % das classes 20-18 e <10% pode ser explicada pelo baixo número de observações nessa classe, combinado com a sua distribuição em relação às classes de altura dominante.

Tabela 19 – Coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo  $\ln(N_p) = b_0 + b_1 \ln(h_{dom})$  para diferentes classes de Índice de espaçamento relativo.

Classes de S' (%)	$b_0$	$b_1$	$R^2$	CV (%)	N obs.
20-18 (6)	9,77729	-1,11966	0,19	4,13	28 ns
18-16 (5)	10,81348	-1,44657	0,66	4,44	60 **
16-14 (4)	10,62121	-1,37231	0,39	5,61	44 **
14-12 (3)	11,36028	-1,52057	0,51	5,51	62 **
12-10 (2)	10,74579	-1,26562	0,36	4,65	112 **
<10 (1)	10,54673	-1,16981	0,26	4,56	18 ns

Em que: S' = Índice de espaçamento relativo;  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; N obs. = número de árvores observadas; ns = não significativo; \*\* = altamente significativo.

O ajuste das curvas de regressão exposto na Figura 17, mostrou a variação na estimativa do número potencial de árvores por hectare determinada para diferentes classes de Índice de espaçamento relativo. Nas maiores classes de S', como por exemplo, de 18 a 16%, a estimativa do número de árvores é menor do que nas classes de S' de 14-12, 12-10 e <10%, pois as árvores tiveram maior espaço vital para crescer e, conseqüentemente, maior largura de copa e maior altura dominante. Para a determinação do peso do desbaste em florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no Índice de espaçamento relativo, Schneider et al. (1999) observaram quatro diferentes pesos de desbaste: 100% (testemunha), 60, 50 e 40% de manutenção da área basal. Nesse experimento, também foi observado um aumento do Índice de espaçamento relativo com o crescimento da altura dominante para qualquer peso testado.

O comportamento das linhas de regressão das classes 20-18 e 14-12% nas primeiras classes de altura dominante, apresentando nas menores alturas o desenvolvimento da curva distinto do observado em alturas acima de 15 m, foi, possivelmente, em decorrência da baixa quantidade de observações nessas classes.

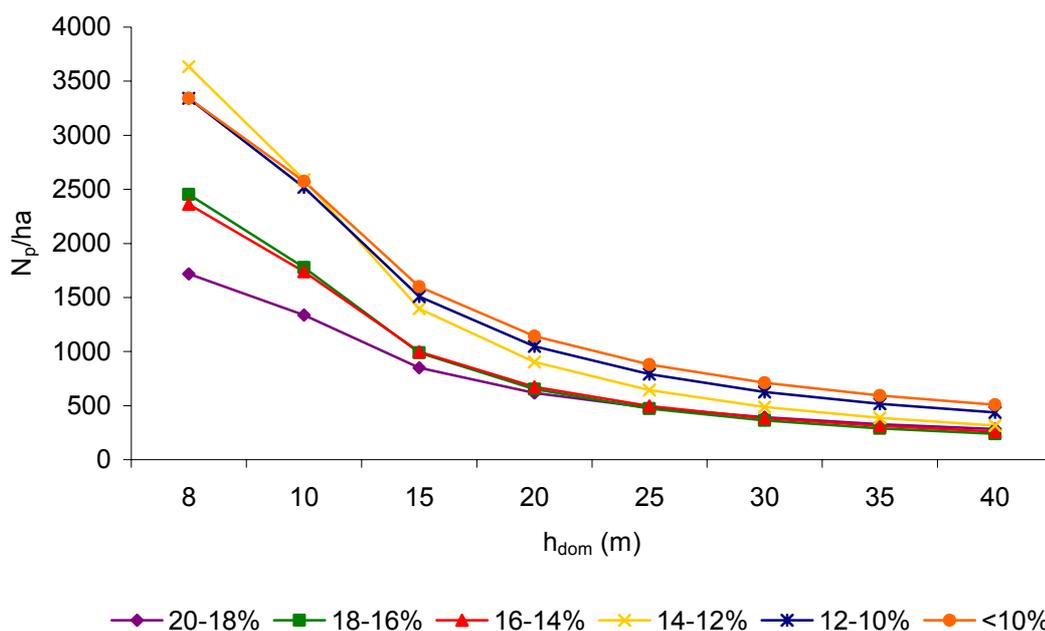


Figura 17 – Curvas de regressão para diferentes classes de Índice de espaçamento relativo (S'% ) ajustadas para o número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

Conforme a Tabela 20, a análise da covariância mostrou que não há diferença significativa de inclinação entre as regressões para cada classe de S'%. Porém, no teste de hipótese para verificação de nível, as equações das classes de S'% D1 (<10%), D2 (12-10%) e D3 (14-12%) tiveram diferença altamente significativa ( $Pr>F = <0,0001$ ) comparando com a maior classe D6 (20-18%). Sendo assim, as equações das três primeiras classes são paralelas em relação à classe D6 e para as maiores classes (4, 5 e 6), não houve diferença significativa entre as equações de regressão.

Tabela 20 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões por classe de Índice de espaçamento relativo para o número potencial de árvores por hectare.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
Modelo	11	39,7840	3,6167	37,04	<,0001
Erro	312	30,4687	0,0977	.	.
Ln( $h_{dom}$ )	1	26,3853	26,3853	270,19	<,0001
<10% (D1)	1	1,4490	1,4490	14,84	0,0001
12-10% (D2)	1	8,3224	8,3224	85,22	<,0001
14-12% (D3)	1	3,0231	3,0231	30,96	<,0001
16-14% (D4)	1	0,0653	0,0653	0,67	0,4141
18-16% (D5)	1	0,3693	0,3693	3,78	0,0527
20-18% (D6)	0	0,0000	.	.	.
Ln( $h_{dom}$ ) * D1	1	0,0180	0,0180	0,18	0,6683
Ln( $h_{dom}$ ) * D2	1	0,0839	0,0839	0,86	0,3548
Ln( $h_{dom}$ ) * D3	1	0,0268	0,0268	0,27	0,6005
Ln( $h_{dom}$ ) * D4	1	0,0030	0,0030	0,03	0,8608
Ln( $h_{dom}$ ) * D5	1	0,0379	0,0379	0,39	0,5336
Ln( $h_{dom}$ ) * D6	0	0,0000	.	.	.
Total	323	70,2526	.	.	.

Em que: *FV* = Fonte de Variação; *GL* = Graus de Liberdade; *SQ* = Soma de Quadrados; *QM* = Quadrado Médio; *Pr > F* = Probabilidade de significância para *F*; *Ln* = logaritmo neperiano;  $h_{dom}$  = altura dominante; D1, D2, D3, D4, D5, D6 = diferentes classes de índice de espaçamento relativo.

A comparação entre as classes de  $S'$ % menor que 14%, pela análise de covariância (Tabela 21), mostrou que não houve diferença significativa entre os interceptos e coeficientes angulares, permitindo agrupar esses dados em um único grupo e calcular uma regressão comum. Essa regressão forneceu valores de  $b_0 = 10,36304$  e  $b_1 = -1,16938$ , com  $R^2 = 0,34$  e CV 5,24% (Tabela 22).

Tabela 21 – Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões por classe de Índice de espaçamento relativo para o número potencial de árvores por hectare.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Valor de F</i>	<i>Pr &gt; F</i>
Modelo	5	13,7813	2,7563	27,45	<,0001
Erro	186	18,6794	0,1004	.	.
Ln( $h_{dom}$ )	1	13,4702	13,4702	134,13	<,0001
<10% (D1)	1	0,0246	0,0246	0,25	0,6211
12-10% (D2)	1	0,1611	0,1611	1,60	0,2069
14-12% (D3)	0	0,0000	.	.	.
Ln( $h_{dom}$ ) * D1	1	0,0160	0,0160	0,16	0,6901
Ln( $h_{dom}$ ) * D2	1	0,1093	0,1093	1,09	0,2981
Ln( $h_{dom}$ ) * D3	0	0,0000	.	.	.
Total	191	32,4606	.	.	.

Em que: FV = Fonte de Variação; GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr > F = Probabilidade de significância para F; Ln = logaritmo neperiano;  $h_{dom}$  = altura dominante; D1, D2, D3 = diferentes classes de índice de espaçamento relativo.

No agrupamento dos dados de classes de S'% maior de 14% exposto na Tabela 22, verificou-se que o coeficiente de determinação aumentou alcançando 0,68, e o CV 4,76%, o qual é relativamente baixo quando comparado com os primeiros valores calculados.

Tabela 22 – Parâmetros estatísticos das equações de regressão por classe de Índice de espaçamento relativo do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante.

<i>Classes de S'% (%)</i>	$b_0$	$b_1$	$R^2$	<i>CV (%)</i>	<i>N obs.</i>
20-14	10,3129	-1,2852	0,68	4,76	132 **
14-10	10,3630	-1,1694	0,34	5,24	192 **

Em que: S'% = Índice de espaçamento relativo;  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; N obs. = número de árvores observadas; \*\* = altamente significativo.

Na Figura 18, verificou-se o efeito da redução do espaço entre árvores ocorrendo o aumento do número potencial de árvores por hectare para uma mesma altura dominante, para os dois grupos de espaçamento relativo. As duas linhas diferem quanto ao número potencial de árvores por hectare em função da altura

dominante permanecendo o menor número de árvores em talhões conduzidos com desbaste.

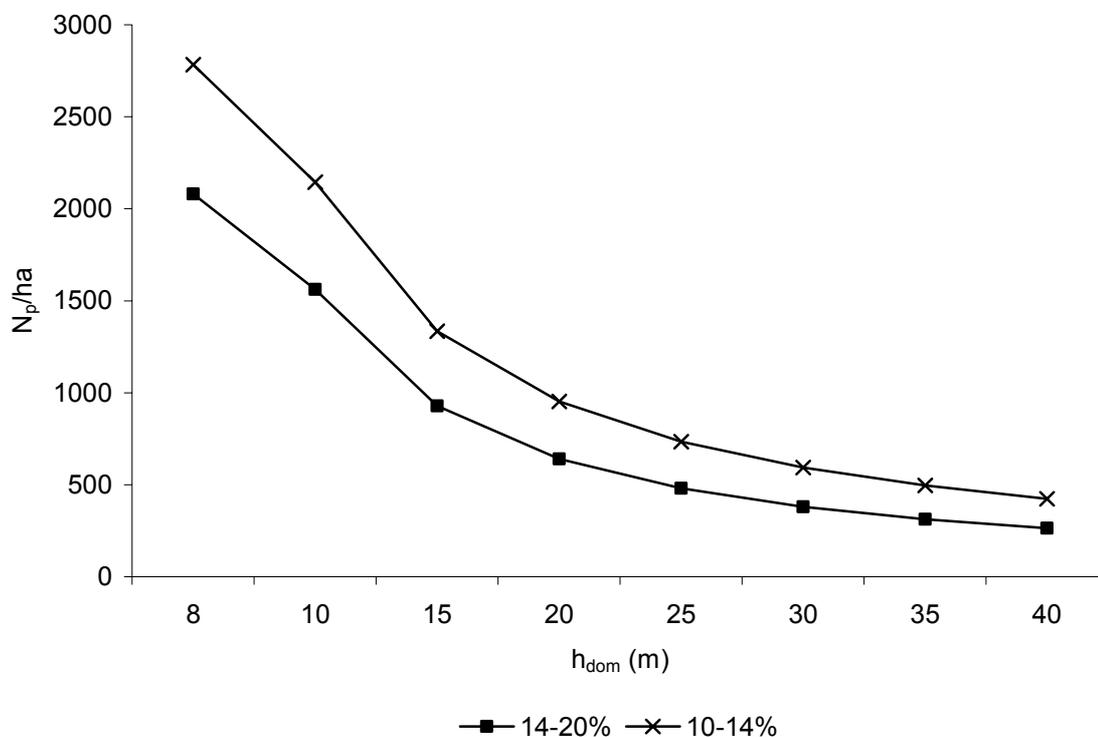


Figura 18 – Diretrizes para desbaste representadas pelas curvas de regressão ajustadas por classes de Índice de espaçamento relativo em função da altura dominante.

O procedimento de limitação de classes do Índice de espaçamento relativo para os dados permitiu gerar regressões com melhores valores paramétricos comparando com aquelas obtidas separadamente por local. Somente a equação gerada para os dados com S' menor que 10% foi inconsistente pelo baixo número de observações dos dados inventariados.

#### 4.7 Efeito do desbaste sobre o crescimento do diâmetro segundo as linhas ajustadas por classe de Índice de espaçamento relativo

O efeito do espaço vital sobre o crescimento em diâmetro para cada grupo estabelecido anteriormente, entre 10 e 14% e entre 14 e 20% de S'%, foi modelado e registrado na Tabela 23. Esse efeito foi expresso pela equação de regressão do DAP em função da altura dominante e do número de árvores potenciais por hectare para cada um dos grupos formados. Portanto, para seguir as linhas para desbaste por classe de S'% deve-se decidir, antecipadamente, pela dimensão do DAP desejado.

Tabela 23 – Coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo  $\ln(\text{DAP}) = b_0 + b_1 \cdot (\ln(h_{\text{dom}})) + b_2 \cdot (\ln(N_p))$  para cada grupo de classes de Índice de espaçamento relativo.

<i>Classes de S'% (%)</i>	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$CV (%)$	$N \text{ obs.}$
20-14	2,1489	0,6907	-0,1088	0,94	2,14	132 **
14-10	2,4870	0,7053	-0,1818	0,83	2,45	192 **

Em que: S'% = Índice de espaçamento relativo;  $b_0$  = coeficiente linear;  $b_1$  = coeficiente angular;  $R^2$  = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem; N obs. = número de árvores observadas; \*\* = altamente significativo.

A Tabela 23 mostrou que o coeficiente linear aumentou com a redução da classe de S'%. O comportamento dos coeficientes angulares  $b_1$  e  $b_2$  seguem uma tendência inversamente proporcional, pois enquanto a altura dominante aumenta ( $b_1 = 0,6907 \rightarrow 0,7053$ ), o número potencial de árvores por hectare diminui ( $b_2 = -0,1088 \rightarrow -0,1818$ ).

Ao analisar a Figura 19, em que foram traçadas as curvas de regressão do efeito do desbaste seguindo as classes de S'%, observou-se que o maior diâmetro para uma mesma altura dominante é dado pelo maior espaço entre as árvores. Assim, se o manejo de uma floresta tem como objetivo maior ou menor dimensão, basta seguir a linha diretriz para desbaste com maior ou menor classe de S'% respectivamente.

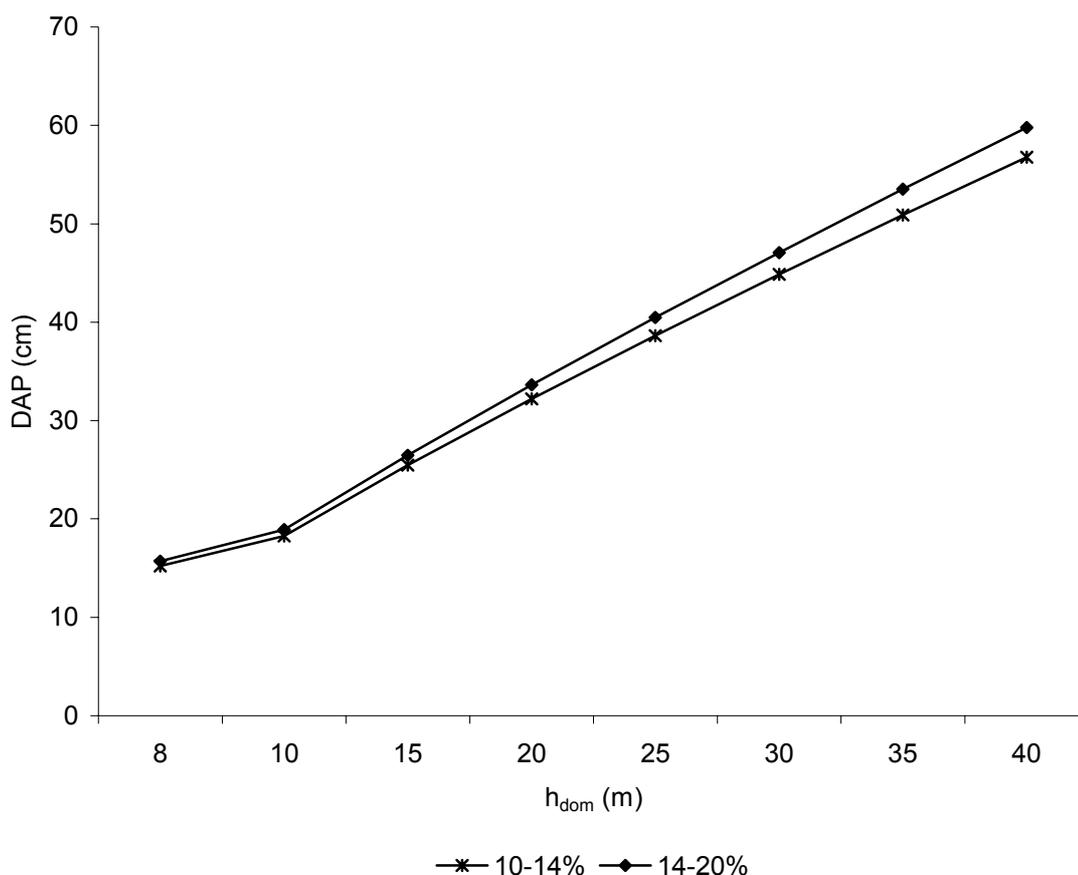


Figura 19 – Efeitos das diretrizes para desbaste representados pelas curvas de regressão ajustadas por classes de Índice de espaçamento relativo para a variável diâmetro à altura do peito.

Na análise gráfica das equações de regressão, ainda na Figura 19, observa-se que as linhas de efeito de desbaste são paralelas e sem grandes diferenças de inclinação e de diâmetro, conforme a Tabela 24. Assim, para uma mesma altura dominante, tem-se diferentes efeitos no incremento em DAP conforme a linha diretriz seguida. A linha do efeito da menor classe de S'% teve um menor incremento em diâmetro desde as primeiras classes de altura dominante, já que com menor espaço entre as árvores há maior competição, reduzindo o crescimento em diâmetro. Isso também foi observado por Eisfeld et al. (2005) na modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda*.

O mesmo fato foi observado por Reinstorf (1970), estudando a influência da densidade em povoamentos de *Pinus elliottii*, onde os desbastes pesados resultaram em menor número de árvores por hectare causando um incremento em

diâmetro superior aos povoamentos que sofrem desbastes leves, considerando um mesmo sítio. Portanto, a variável diâmetro é altamente influenciada com a execução do desbaste.

Tabela 24 – Diferenças na estimativa do diâmetro em função da altura dominante e do número potencial de árvores por hectare para cada classe de Índice de espaçamento relativo.

$h_{dom} (m)$	S'% de 14-20%		S'% de 10-14%		Diferença	
	$N_p/ha$	DAP (cm)	$N_p/ha$	DAP (cm)	$N_p/ha$	DAP (cm)
8	2081	15,7	2783	15,2	703	0,5
10	1562	18,9	2144	18,3	582	0,6
15	928	26,5	1334	25,4	407	1,0
20	641	33,6	953	32,2	312	1,4
25	481	40,5	734	38,6	253	1,8
30	381	47,1	593	44,9	213	2,2
35	312	53,5	495	50,9	183	2,6
40	263	59,8	424	56,8	161	3,0

Em que:  $h_{dom}$  (m) = altura dominante em metros; S'% = Índice de espaçamento relativo;  $N_p/ha$  = número potencial de árvores por hectare; DAP (cm) = diâmetro a altura do peito em centímetros.

Esse resultado também foi observado por Monteiro e Cordeiro (1993) que, em um ensaio de competição entre espaçamentos em *Pinus taeda*, verificaram a relação direta existente entre a diminuição dos espaçamentos e dos diâmetros. Nesse mesmo estudo, pela análise de variância, o crescimento em altura não foi significativo após o desbaste, ou seja, a variável altura não foi influenciada pelo desbaste.

Segundo o exame dos resíduos expressos nas Figuras 20 e 21, as equações apresentaram pouca discrepância sem apresentar tendências de superestimação ou subestimação da variável dependente DAP ao longo da distribuição dos valores.

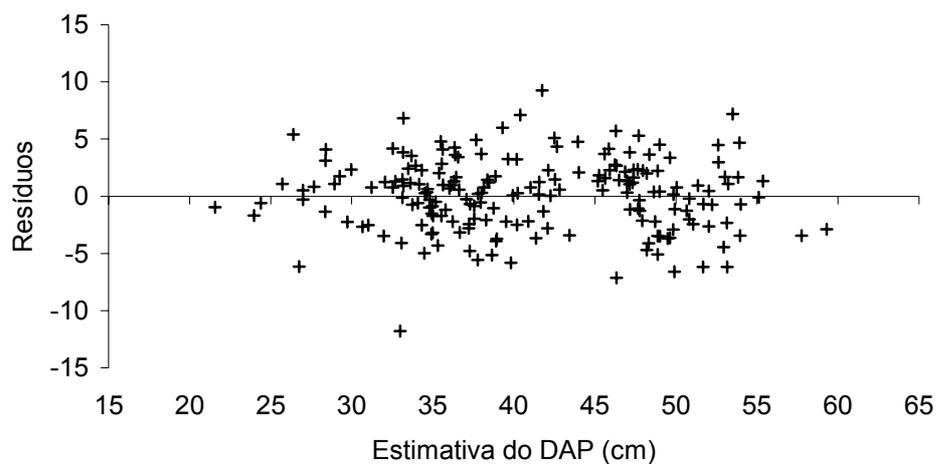


Figura 20 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do DAP para as árvores dominantes correspondentes a classe de S' % 10-14%.

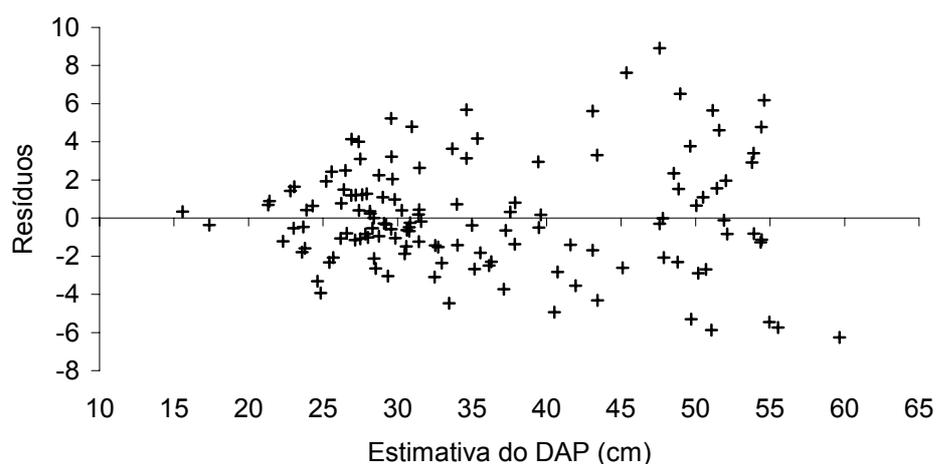


Figura 21 – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do DAP para as árvores dominantes correspondentes a classe de S' % 14-20%.

Os resultados mostraram que a variação no número potencial de árvores por hectare, em povoamentos de diferentes locais submetidos ou não a desbaste e desrama, pode ser descrita com o agrupamento dos dados em duas classes de S' % (>14 e <14%) formando duas curvas de densidade de árvores por hectare, as quais têm relação direta com a dimensão do diâmetro alcançado pelas árvores.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que:

1) O uso da altura dominante como variável independente é eficiente para descrever as diretrizes para desbaste nos povoamentos de *Pinus taeda* estudados.

2) O modelo de regressão exponencial negativo ajusta com boa precisão e baixo erro a relação entre o número potencial de árvores por hectare e a altura dominante.

3) A variação dos valores de freqüência potencial por hectare para uma dada altura dominante é fortemente reduzida com a estratificação dos dados em classes de Índice de espaçamento relativo de Hart Becking maior que 14% e menor que 14%.

4) As equações de regressão calculadas para cada um dos locais e por tratamento de desbaste foram menos eficientes do que aquelas consideradas por classe de S'.

5) O desenvolvimento das curvas de freqüência potencial estratificadas por Índice de espaçamento relativo influi na estimativa da dimensão do diâmetro das árvores para uma mesma altura dominante.

6) A relação existente entre o diâmetro de copa com a altura dominante e o comprimento de copa exposto à luz com a altura dominante podem ser descritas por um modelo matemático curvilíneo.

7) A relação da percentagem de copa com a altura dominante apresenta alta significância estatística, descrita por modelo curvilíneo, tendo sido separados três grupos distintos de curvas segundo o local de amostragem.

8) A relação entre comprimento e diâmetro de copa com a altura dominante, não reduz satisfatoriamente a variação da frequência para uma dada altura dominante.

## BIBLIOGRAFIA

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

AMBIENTE BRASIL. **Florestal**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 8 nov. 2006.

ASSMANN, E. **The Principles of Forest Yield Study**. München: BLV, 1970. 490 p.

BEATRIZ, G. et al. **Indicações para escolha de espécies de *Pinus***. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/revista/materia.php?edicao=99&id=953>>. Acesso em: 27 nov. 2006.

BERGER, R.; MAESTRI, R.; ASSIS, T. F. de. Uma abordagem de técnicas de manejo florestal para serraria na Aracruz. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR/PPGEF, 2004. 403-408.

BRUM, E., T. **Relações entre altura dominante e fatores do sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte. SC. 1979. 179 f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

CAMPOS, J. C. C.; CAMPOS, A. L. A. S.; LEITE, H. G. Decisão silvicultural empregando um sistema de predição do crescimento e da produção. **Revista Árvore**. V. 12, n. 2, p. 100-110, 1988.

CARVALHO, J. P. F. Curvas de Classes de Qualidade da Estação para Povoamentos de Carvalho-Negral (*Quercus pyrenaica*) Willd. **Silva Lusitana**, v. 14, n. 1, p. 75-84, 2006.

CLIMA BRASILEIRO. **Região Sul.** Disponível em: <http://www.climabrasileiro.hpg.ig.com.br/sul.htm>. Acesso em: 02/05/2007

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

DEAN, T. J.; BALDWIN, J. V. C. Using a density – management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations. **USDA. Forest Service.** SO research paper. n. 275, p. 1-7, 1993.

DRAPER, N. R.; GUTTMAN, I. Incorporating overlap effects from neighbouring units into surface models. Applied statistics. **Journal of the Royal Statistics Society (C)**, v. 29, p. 128-134, 1980.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.

EISFELD, R. L. et al. Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio do processo de difusão. **Revista Cerne**, v. 11, n. 2, p. 167-177, 2005.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal.** 1. ed., Santa Maria: CEPEF, 1992. 269 p.

FORTES, F. O.; SCHEEREN, L. W.; SOUZA, L. H. S. Predição da forma do tronco e volume segmentado de *Pinus elliottii* utilizando polinômio de 5°, considerando dados agrupados em classes de diâmetro. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR/PPGEF, 2004. p. 281-287.

GODINHO J., M.; TOMÉ M. **Avaliação do volume e biomassa em sobreiros abatidas: Protocolo de abate e recolha de amostras do fuste e da copa.** Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. Relatórios Técnico-Científicos do GIMREF, n. 8/2001.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Belo Horizonte: PRODEPEF/PNVD/FAO/BRA, 1978. 45 p. (Série Técnica, 11).

GOMES, F. S., et al. Efeitos do sítio e de cenários de custos e preços na análise de regimes de manejo com e sem desbaste em *Pinus taeda* L. **Revista Cerne**. v. 8, n. 1, p. 013-031, 2002.

HÜHN, M. Populationsgenetische Untersuchungen zur Phänotypischen selektion in Pflanzenbeständen mit Konkurrenz. **Silvae genetica**, v. 22, p. 2-145, 1973.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas, possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 301-310. 2003.

MAGNUSSEN, S. A method to adjust simultaneously for spatial microsite and competition effects. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, p. 985-995, 1994.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Gimnospermas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1996. 158 p.

MARCOLIN, M.; COUTO, H. T. Z. Modelos de produção e crescimento para povoamentos de *Pinus taeda* desbastados na região de Telêmaco Borba, PR. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF 1993. p. 528-530.

MONTEIRO, R. F. R.; CORDEIRO, A. C. Ensaio de competição entre espaçamentos em *Pinus taeda*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1983, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBS/SBEF, 1993. p. 357-360.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 31 p.

MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**. v. 9, n. 1, p. 193-209. 1999.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed., Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.

NETTO, S. P.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Ed. dos autores, 1997. 316 p.

NETTO, S., P. Amostragem em dois estágios com unidades primárias de tamanhos diferentes. **Ciência Florestal**. v. 6, n. 1, p. 147-155. 1996.

NUTTO, L. et al. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 42, p. 123-138. 2001.

PIUTTI, E.; CESCATTI, A. A quantitative analysis of the introductions between climatic response and intraspecific competition in European beach. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, p. 277-284. 1997.

POTTER, R. O. et al. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 745 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento ; 46)

PRODAN, M., et al. **Mensura Florestal**. San José: GTZ, 1997. 561 p.

REINSTORF, L. O. **The influence of stand density on growth of *Pinus elliottii***. 1970. 62 f. Dissertação (Mestrado) – University of Stellenbosch, Stellenbosch, 1970.

SANQUETTA, C. R. et. al. Produção de madeira para laminação em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental. **Revista Floresta**. v. 28, n. ½, p. 83-99. 1998.

SCHEEREN, L. W. **Estruturação da produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados em alto fuste**. 2003. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de Regressão Aplicada a Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM. CEPEF, 1998. 236 p.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1993. 348 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo Sustentado de Florestas Inequiâneas Heterogêneas**. Santa Maria: UFSM, 2000. 195 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Influência da intensidade do desbaste sobre o crescimento em altura de *Pinus elliottii* E. **Ciência Florestal**. v. 3, n. 1, p. 171-184. 1993.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: Planejamento da Produção Florestal**. Santa Maria: UFSM, 2004. 492 p.

SCHNEIDER, P. R. et al. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no Índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 79-87. 1999.

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

SCOLFORO, J. R. S.; MAESTRI, R.; MACHADO, S. A. Um modelo de crescimento e produção como suporte para manejo florestal. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1997, Colombo. **Anais...** Colombo: EMBRAPA 1997. p. 1 – 31.

SHIMIZU, J. Y. **Cultivo do Pinus**. Disponível em: <[http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03\\_2\\_pinus\\_taeda.htm](http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm)>. Acesso em: 25 out. 2006.

STERBA, H. **Waldwachstumskunde**: Skriptum zur Lehrveranstaltung 420.020. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 2006, 129 p.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D. C. **Experimentação II**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia, 2004. 207 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2002. 107 p.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

VEIGA, A. A. Desbastes de eucaliptos em função da área basal: método de determinação dessa área. **Silvicultura em São Paulo**, v.1, n. 1, p. 169-180, 1962.

## **ANEXOS**

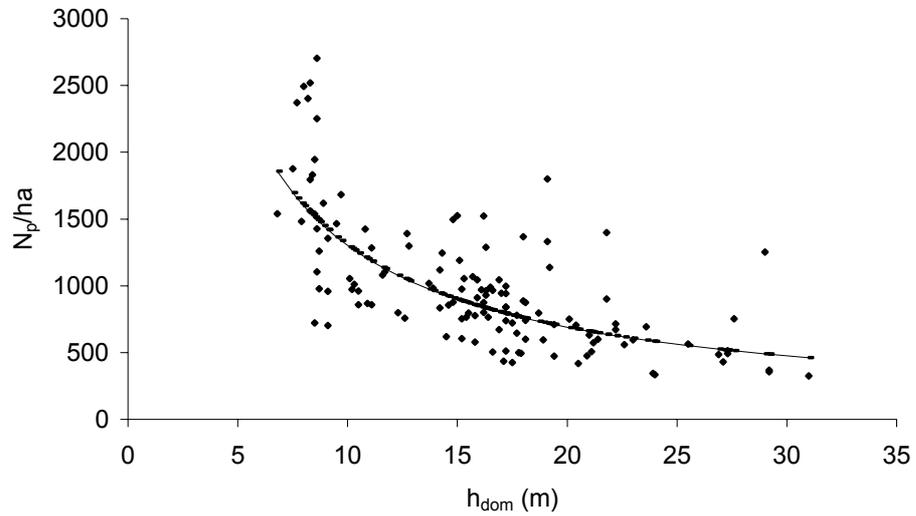
ANEXO A – Ficha de Campo utilizada para coleta de dados.

Data: \_\_\_\_\_ Talhão: \_\_\_\_\_ Exposição: \_\_\_\_\_  
 Local: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_ Sub-bosque: \_\_\_\_\_  
 Fazenda: \_\_\_\_\_ Sítio: \_\_\_\_\_

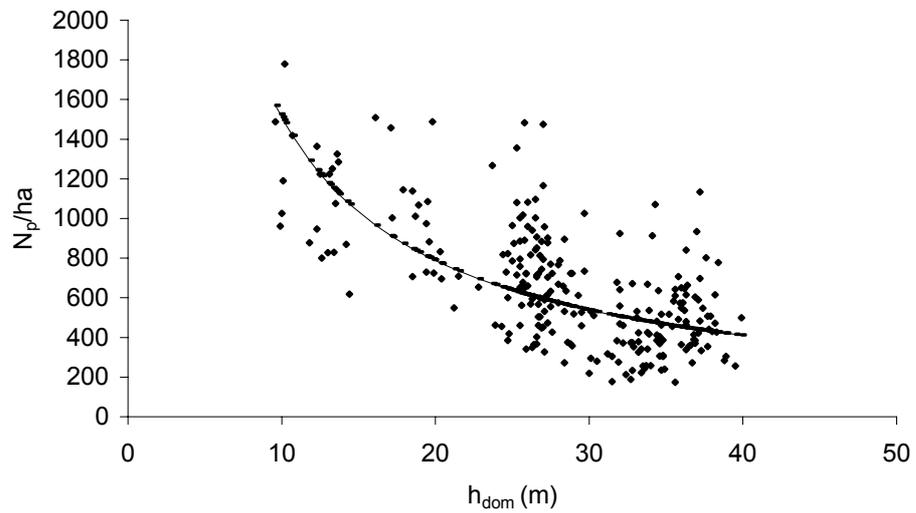
N.	DAP	h	R1	R2	R3	R4	R5	R5	R6	R7	R8	b	Dominantes		Dist.
													l	lo	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															

Em que: N. = número da cada árvore na unidade amostral; DAP = diâmetro a altura do peito; h = altura total; R1 = raio de copa na direção Norte; R2 = raio de copa na direção Noroeste; R3 = raio de copa na direção Oeste; R4 = raio de copa na direção Sudoeste; R5 = raio de copa na direção Sul; R6 = raio de copa na direção Sudeste; R7 = raio de copa na direção Leste; R8 = raio de copa na direção Nordeste; b = diâmetro de copa; l = comprimento de copa; lo = comprimento de copa exposto à luz; Dist. = distância da árvore central até cada árvore da unidade amostral.

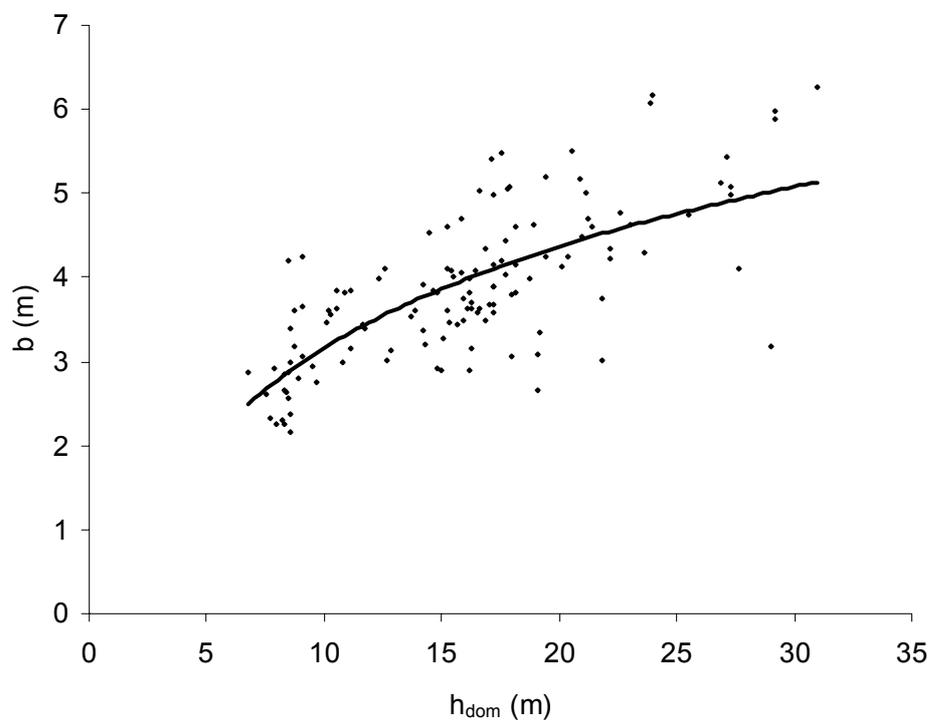
ANEXO B – Ajuste da curva de regressão do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante para Cambará do Sul e São Francisco de Paula.



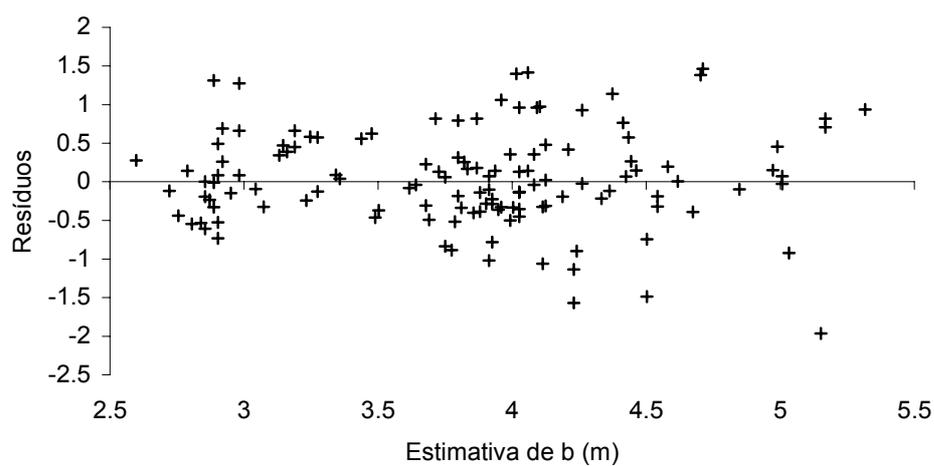
ANEXO C – Ajuste da curva de regressão do número potencial de árvores por hectare em função da altura dominante para Otacílio Costa.



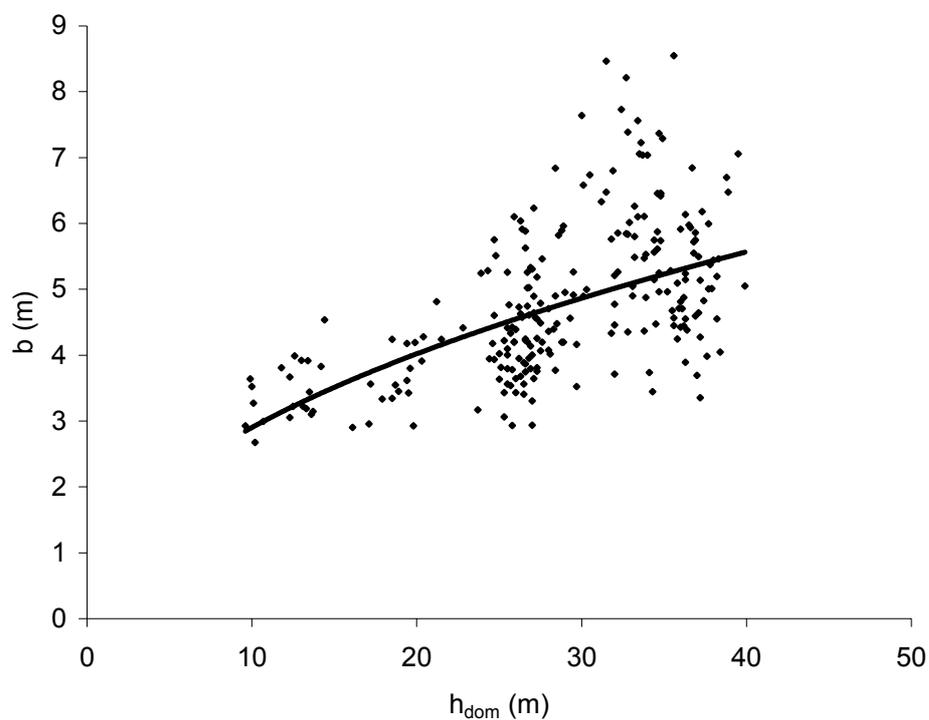
ANEXO D – Ajuste da equação de regressão do diâmetro de copa em função da altura dominante para Cambará do Sul e São Francisco de Paula.



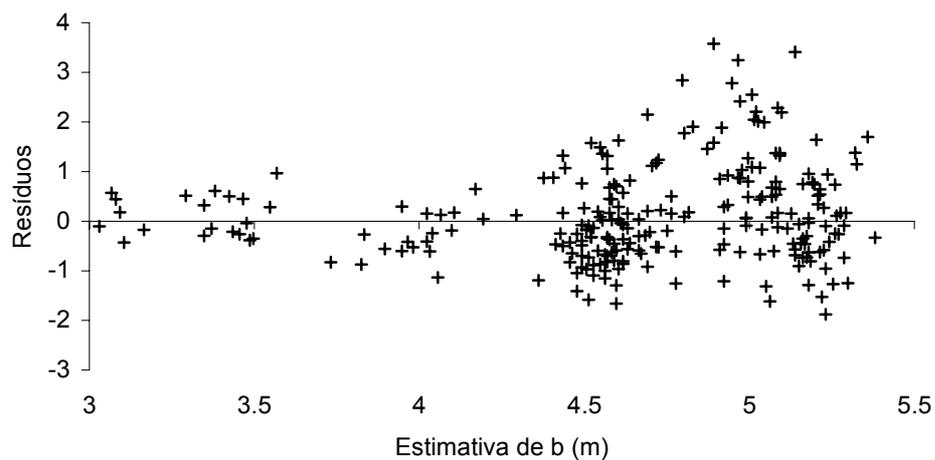
ANEXO E – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do diâmetro de copa das árvores dominantes para Cambará do Sul e São Francisco de Paula.



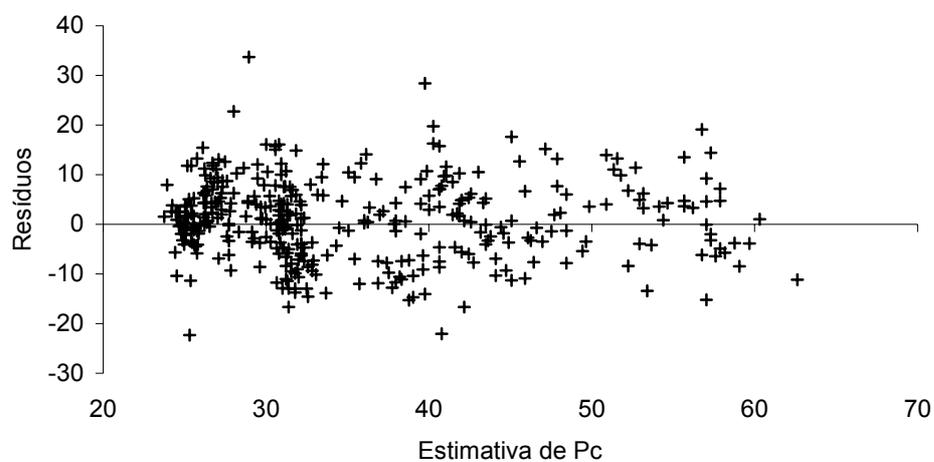
ANEXO F – Ajuste da equação de regressão do diâmetro de copa em função da altura dominante para Otacílio Costa.



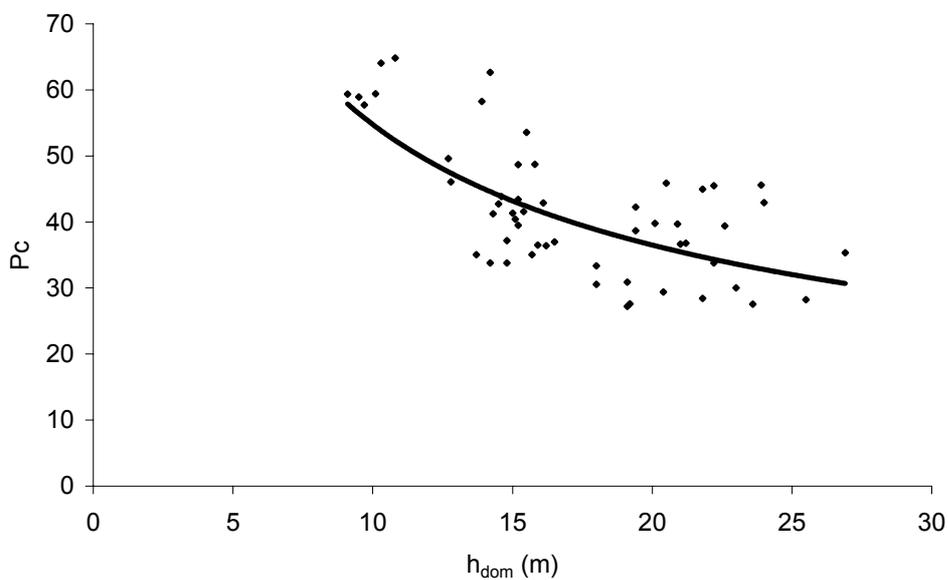
ANEXO G – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do diâmetro de copa das árvores dominantes para Otacílio Costa.



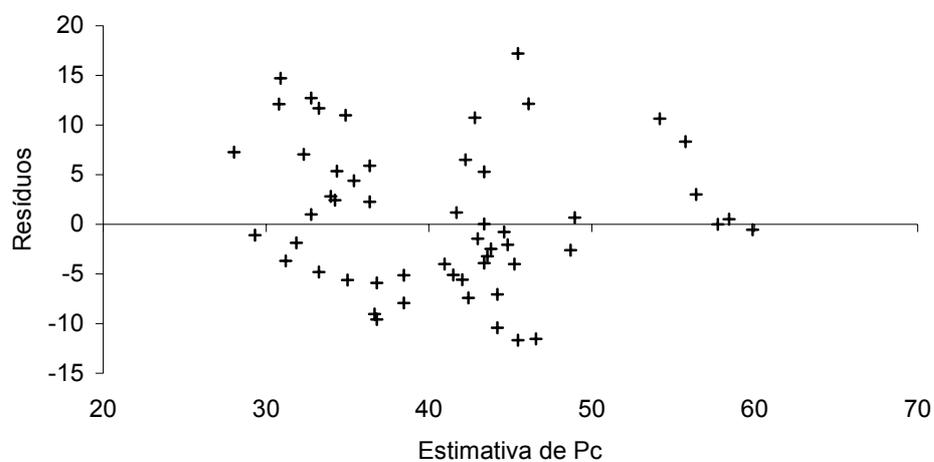
ANEXO H – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da percentagem de copa das árvores dominantes para todos os locais.



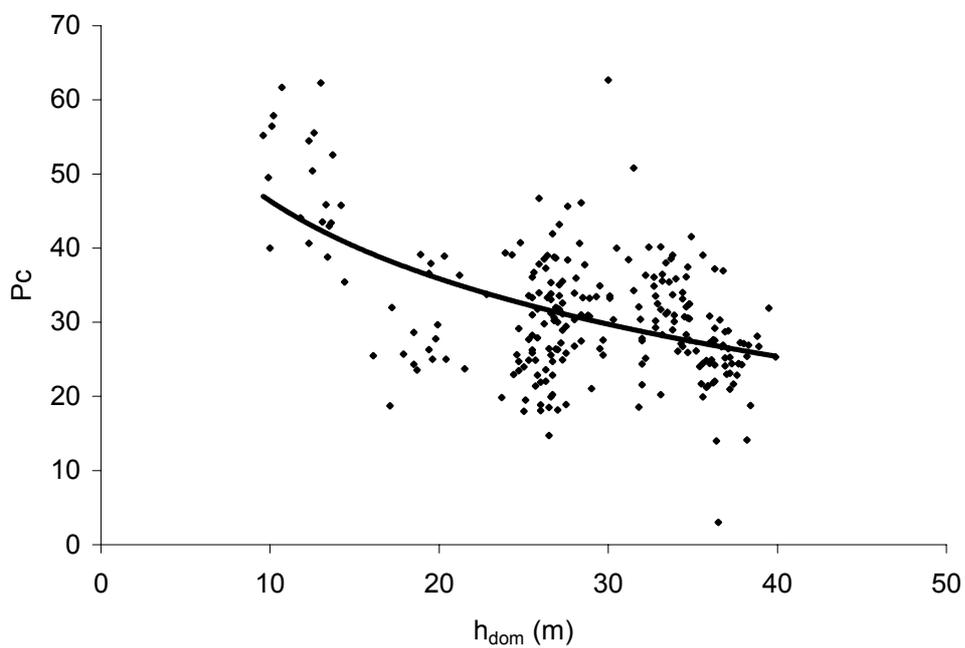
ANEXO I – Ajuste da equação de regressão da percentagem de copa em função da altura dominante para Cambará do Sul.



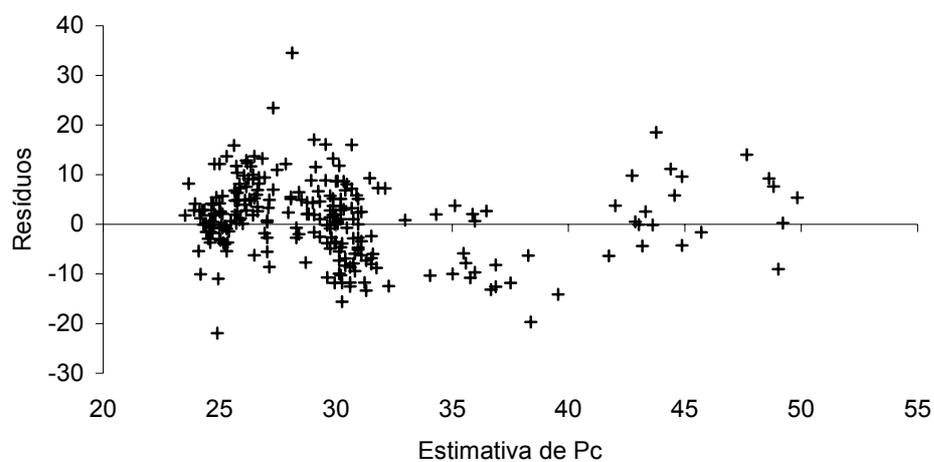
ANEXO J – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da percentagem de copa das árvores dominantes para Cambará do Sul.



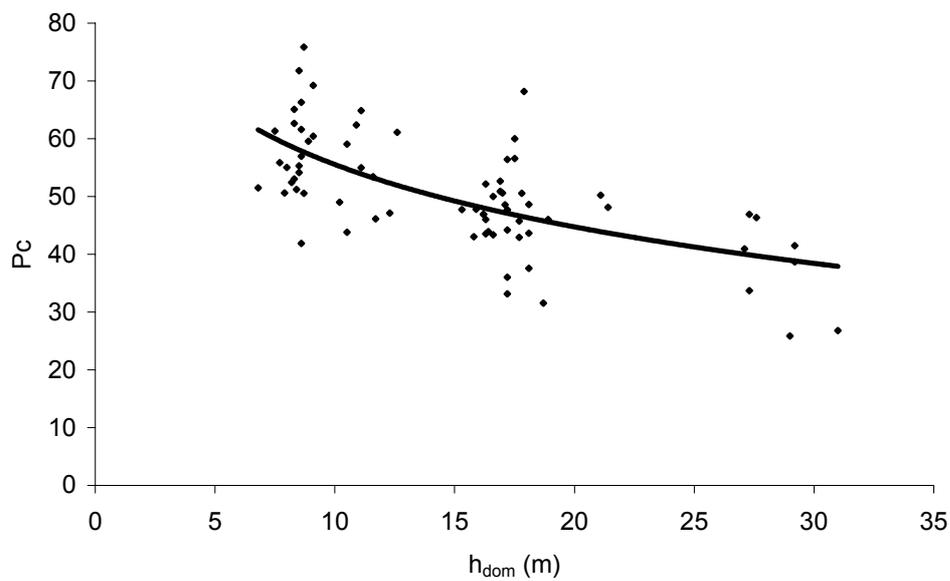
ANEXO L – Ajuste da equação de regressão da percentagem de copa em função da altura dominante para Otacílio Costa.



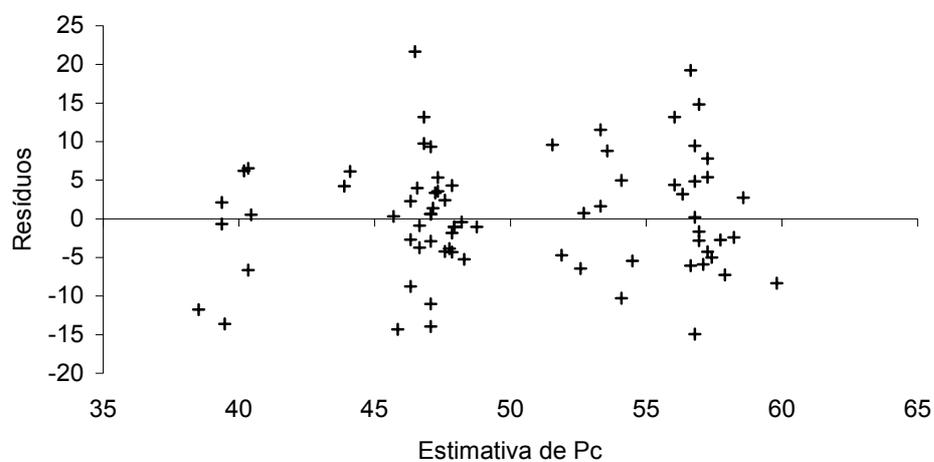
ANEXO M – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da percentagem de copa das árvores dominantes para Otacílio Costa.



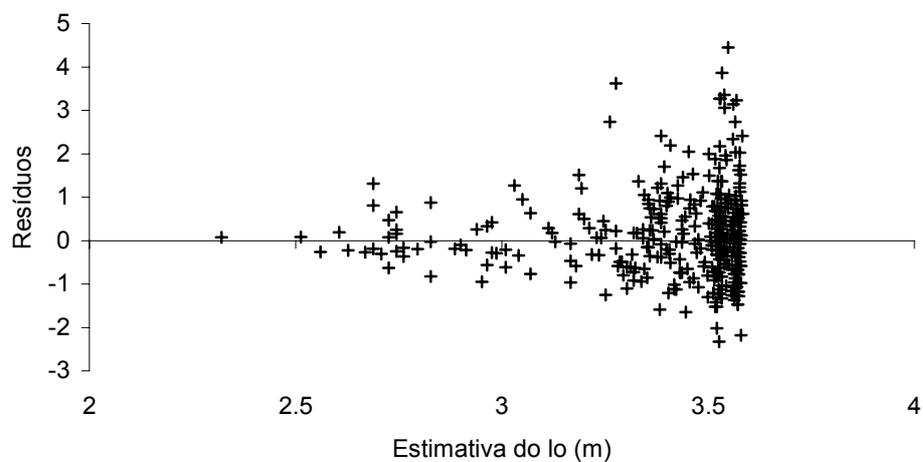
ANEXO N – Ajuste da equação de regressão da percentagem de copa em função da altura dominante para São Francisco de Paula.



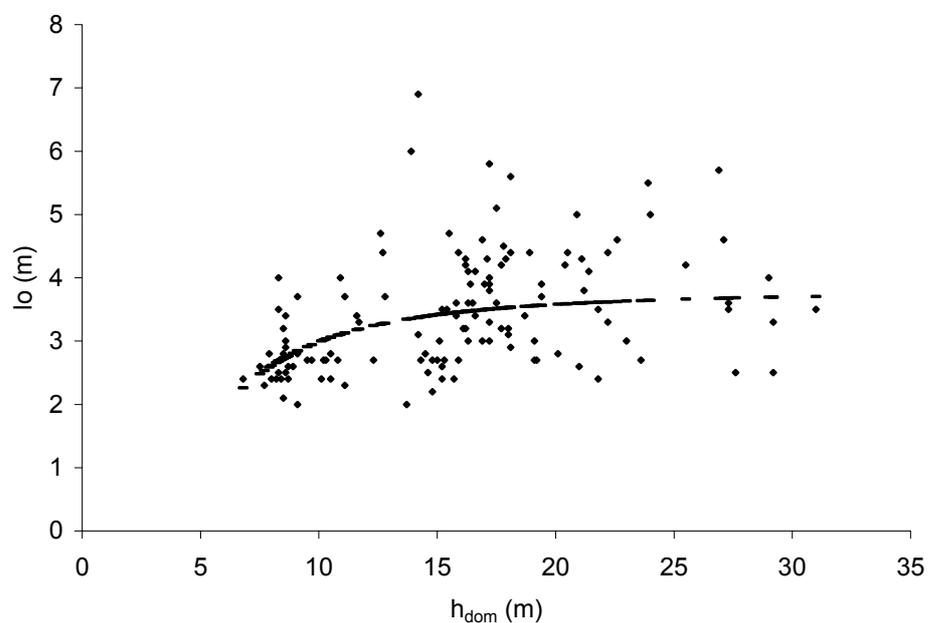
ANEXO O – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado da percentagem de copa das árvores dominantes para São Francisco de Paula.



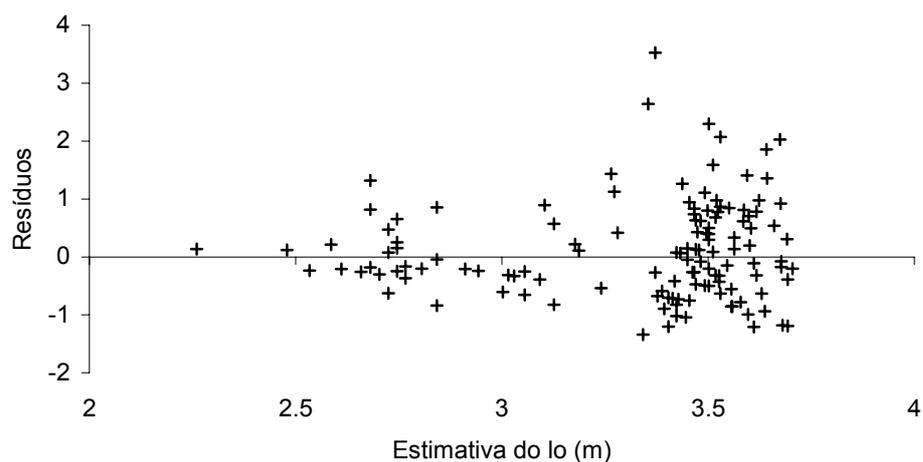
ANEXO P – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do comprimento de copa exposto à luz das árvores dominantes para todos os locais.



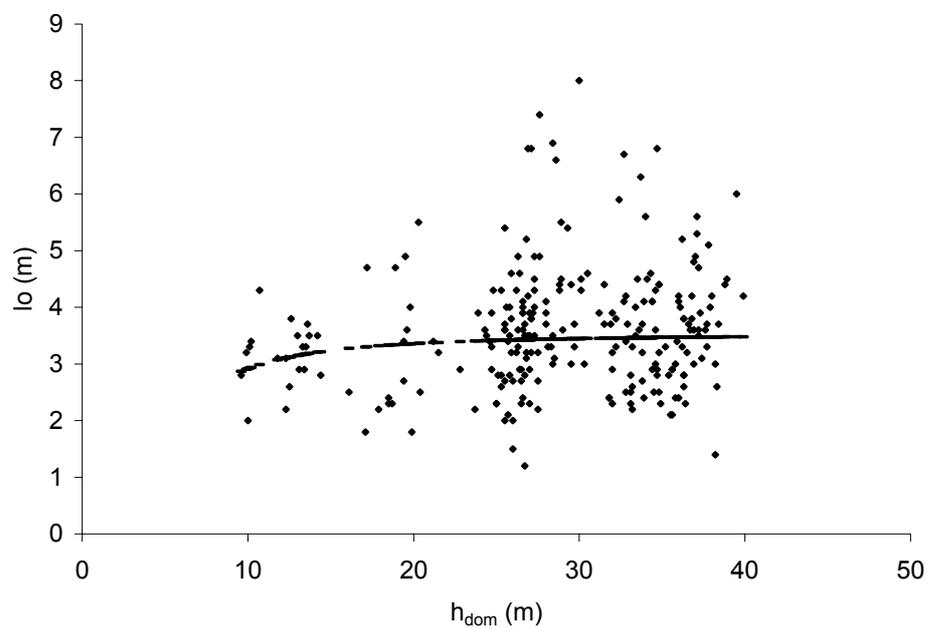
ANEXO Q – Ajuste da equação de regressão do comprimento de copa exposto à luz em função da altura dominante para Cambará do Sul e São Francisco de Paula.



ANEXO R – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do comprimento de copa exposto à luz das árvores dominantes para Cambará do Sul e São Francisco de Paula.



ANEXO S – Ajuste da equação de regressão do comprimento de copa exposto à luz em função da altura dominante para Otacílio Costa.



ANEXO T – Distribuição dos resíduos contra o valor estimado do comprimento de copa exposto à luz das árvores dominantes para Otacílio Costa.

