

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

**RELAÇÃO MORFOMÉTRICA E DE COMPETIÇÃO NO  
CRESCIMENTO DE *Ocotea porosa* (Nees et Martius  
ex Nees) Liberato Barroso NA REGIÃO CENTRAL DE  
SANTA CATARINA**

**TESE DE DOUTORADO**

**Veridiana Padoin Weber**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

**RELAÇÃO MORFOMÉTRICA E DE COMPETIÇÃO NO  
CRESCIMENTO DE *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees)  
Liberato Barroso NA REGIÃO CENTRAL DE SANTA  
CATARINA**

**Veridiana Padoin Weber**

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

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

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Padoin Weber, Veridiana

RELAÇÃO MORFOMÉTRICA E DE COMPETIÇÃO NO CRESCIMENTO DE Ocotea porosa (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso NA REGIÃO CENTRAL DE SANTA CATARINA / Veridiana Padoin Weber.-2013.

101 f.; 30cm

Orientador: César Augusto Guimarães Finger

Coorientadores: Frederico Dimas Fleig, Paulo Renato Schneider

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Manejo Florestal 2. Ocotea porosa 3. Incremento 4. Morfometria 5. Competição I. Guimarães Finger, César Augusto II. Dimas Fleig, Frederico III. Schneider, Paulo Renato IV. Título.

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

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

**RELAÇÃO MORFOMÉTRICA E DE COMPETIÇÃO NO CRESCIMENTO  
DE *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso  
NA REGIÃO CENTRAL DE SANTA CATARINA**

elaborada por  
**Veridiana Padoin Weber**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA**

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

**Eduardo Pagel Floriano, Dr. (UNIPAMPA)**

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

**Magda Léa Bolzan Zanon, Dr. (UFSM)**

**Patrícia Povia de Mattos, Dr. (EMBRAPA)**

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2013.

*A Deus, por sempre deixar a Luz acesa em meu caminho  
para concretizar todos meus objetivos na vida,  
Agradeço.*

*Aos meus pais, Terezinha Aparecida Lucca Padoin e  
Jorge Padoin (in memoriam) por trabalharem de sol a sol  
para que eu pudesse estudar, e pelos ensinamentos de honestidade, lealdade e  
doação ao próximo,  
Dedico.*

*Ao meu esposo Sidy pelo amor, carinho e grande incentivo nas horas mais difíceis,  
sendo um grande companheiro mesmo estando distante,  
Ofereço.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Professor e Orientador César Augusto Guimarães Finger pela paciência e dedicação em me orientar no doutorado, além de todo o período de mestrado, sendo uma das poucas pessoas que, sem julgar, entenderam os momentos mais difíceis que passei durante o presente estudo. Tenho o Professor Finger como espelho e espero ter um por cento do seu profissionalismo.

Aos professores co-orientadores, o Professor Frederico Dimas Fleig pela compreensão e sempre estar à disposição para ajudar em qualquer momento, e o Professor Paulo Renato Schneider pelos grandes ensinamentos de Manejo Florestal e por transmitir serenidade nos momentos difíceis.

Aos Doutores(as) que fizeram parte das bancas de avaliação de qualificação e defesa, Professor Afonso Figueiredo Filho, Professor Eduardo Pagel Floriano, Professor Luis Felipe Dias Lopes, Professor Ivanor Müller e Professora Magda Léa Bolzan Zanon, que muito contribuíram para a concretização deste estudo com sugestões de grande relevância e grande experiência transmitida de forma construtiva. Agradeço em especial a Pesquisadora Patrícia Póvoa de Mattos, que além de fazer parte da banca de defesa, esclareceu-me inúmeras dúvidas em momentos críticos da elaboração da tese, tendo extrema paciência para explicar e transmitir tudo o que sabe.

A todos os órgãos envolvidos, CNPq, CAPES, UFSM e PPGEF, pelo apoio financeiro e oportunidade de realização de um doutorado de qualidade e de forma gratuita em estrutura de excelência na área de Manejo Florestal.

Ao meu GRANDE AMIGO Flavio Roberto Stefanello, que além de me apresentar ao “Imbuial”, levou-me até o local de coleta com veículo próprio, oferecendo apoio durante toda a estada em Calmon, um dos locais de coleta. Agradeço em especial ao Geraldo, proprietário da Fazenda São Pedro da Laminados AB, que gentilmente cedeu todas as instalações da Fazenda e apoio de seus funcionários durante a estada em Calmon.

À minha GRANDE AMIGA Bruna Denardin da Silveira, que por seu intermédio, foi possível coletar uma maior quantidade de dados para o presente estudo, juntamente com o Inventário Florestal Contínuo da Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI de Caçador. Agradeço em especial à pesquisadora Maria

Augusta Doetzer Rossot por permitir que eu coletasse meus dados juntamente com o inventário e todo o apoio logístico.

Aos meus queridos AMIGOS e colegas Ana Flávia Boeni, Anna Paula Lora Zimmermann, Cilmar Antônio Dalmaso, Emanuel Arnoni Costa, Gerusa Lazarotto, Guilherme Boeira Ivanov, Régis Villanova Longhi e Thiago Augusto da Cunha, que sempre estiveram dispostos a ajudar nas coletas, nas medições dos anéis de crescimento, nos cálculos, gráficos e interpretações. Cada um de vocês ajudou-me nos momentos em que eu realmente mais precisava, quando tudo parecia estar errado ou quando tinha vontade de desistir, vocês estenderam-me a mão. Eu aprendi muito com vocês, não apenas a Engenharia Florestal, mas também a ser uma pessoa bem melhor do que já fui. A todos os demais colegas do Laboratório de Manejo Florestal que de alguma forma também contribuíram para a realização de mais esta etapa em minha vida.

Ao Seu Nor e à Dona Cláudia, que nos acolheram na Fazenda São Pedro com muito carinho, refeições quentes naqueles dias frios e ajuda nas coletas até mesmo nos feriados, únicos dias que tinham para descansar. Ao Seu Osvaldo pela disponibilidade em ajudar a encontrar e identificar as imbuías na Reserva Florestal da EMBRAPA/EPAGRI.

À Tita que sempre se prontificou a fazer além do que devia para me ajudar, sabendo que eu estava distante, e pela amizade e carinho com que sempre me tratou. À Rone que, mesmo por pouco tempo, auxiliou nos momentos finais para os tramites da qualificação e defesa. Ao pessoal do departamento florestal, em especial ao Gerson, que sempre esteve disposto a ajudar em todos os momentos que precisasse.

Às minhas colegas e AMIGAS da UTFPR, Elisabete Vuaden, Fabiani das Dores Abati Miranda, Liane Barreto Alves Pinheiro, Paôla Regina Dalcanal e Simone Neumann Wendt que me apoiaram em vários momentos durante o doutorado, quando tudo parecia estar errado, levantando o astral e fazendo-me compreender que a vida não é como a gente quer, e sim, como a gente merece.

A todos, que de uma forma ou de outra ajudaram para a concretização deste estudo, meu muito obrigada e que Deus os retribua em dobro!

*“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse elas, eu não teria saído do lugar.  
As facilidades nos impedem de caminhar.  
Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”*

(Francisco Cândido Xavier)

*Não queiras ser como aquele cata-vento dourado do grande edifício;  
por muito que brilhe e por mais alto que esteja, não conta para a solidez da obra.  
Oxalá sejas sempre como um velho silhar oculto nos alicerces,  
debaixo da terra, onde ninguém te veja;  
por ti não desabará a casa.*

(Josemaria Escrivá)

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **RELAÇÃO MORFOMÉTRICA E DE COMPETIÇÃO NO CRESCIMENTO DE *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso NA REGIÃO CENTRAL DE SANTA CATARINA**

AUTORA: VERIDIANA PADOIN WEBER  
ORIENTADOR: CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER  
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2013

A copa das árvores é a maior responsável direta pelo crescimento, sendo influenciada pelo tipo de manejo adotado no povoamento florestal e pela concorrência entre os indivíduos. Assim, o objetivo do trabalho foi descrever a morfometria e as relações de crescimento de *Ocotea porosa* utilizando a modelagem matemática e considerando o efeito da concorrência. A coleta de dados foi realizada na Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI de Caçador (SC) e em floresta nativa da Empresa Laminados AB localizada no município de Calmon (SC). As dimensões de dap encontradas na amostragem foram de 10 cm até 80 cm, considerando uma amostragem aleatória e parcelas circulares de área variável, sendo o raio de cada parcela a distância entre a árvore concorrente mais distante e o ponto amostral (árvore central). Em cada árvore da unidade amostral foram tomadas: circunferência à altura do peito, espessura de casca, altura total, altura comercial, comprimento de copa, raio de copa, incremento periódico anual percentual em área basal, vitalidade da copa, distribuição dos galhos, qualidade do fuste, posição sociológica e exposição do terreno. As variáveis calculadas que descrevem a dimensão e competição foram o diâmetro à altura do peito com casca, diâmetro à altura do peito sem casca, área basal, diâmetro de copa, área de copa, número potencial de árvores por hectare, índice de abrangência, índice de saliência, formal de copa, relação h/d, percentagem de copa, índice de BAL (Basal Area Larger), índice de Hegyi, índices de Glover e Hool, índices de Tomé e Burkhardt, índice de Lorimer e índice de Clark e Evans. As variáveis de maior poder explicativo para o incremento periódico anual percentual em área basal foram o diâmetro à altura do peito e a vitalidade da copa, sendo também consideradas significativas no modelo o índice de saliência e o índice de concorrência de BAL. O melhor modelo para relação hipsométrica foi o de Chapman Richards ( $h = 20,6053 \cdot (1 - e^{-0,0615 \cdot \text{dap}})$ ), tendo como modelo alternativo o de Stofells ( $\ln(h) = 1,68412 + 0,32665 \cdot \ln(\text{dap})$ ) e para estimar o diâmetro de copa foi o logarítmico ( $\ln(\text{dc}) = -1,76773 + 11,05485 \cdot \ln(\text{dap})$ , para copas simétricas e,  $\ln(\text{dc}) = -1,19837 + 0,88682 \cdot \ln(\text{dap})$ , para representar as copas assimétricas). A estimativa do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito deve ser utilizada separadamente para locais onde há maior competição dos locais onde há menor competição devido a simetria diferenciada como consequência dessa variável.

**Palavras-chave:** incremento periódico anual percentual; área basal; copa.

## ABSTRACT

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

### **MORPHOMETRIC RELATIONSHIP AND COMPETITION ON GROWTH OF *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso IN CENTRAL REGION OF SANTA CATARINA**

AUTHOR: VERIDIANA PADOIN WEBER  
ADVISER: CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER  
Place and Date of the Defense: Santa Maria, 26<sup>th</sup> February, 2013

The canopy of trees is most directly responsible for the growth, being influenced by the type of management adopted in afforestation and competition between individuals. Thus, the aim of this study was to describe the morphology and growth of relations *Ocotea porosa* using mathematical modeling and considering the effect of competition. Data collection was conducted in EMBRAPA / EPAGRI Forest Reserve in Caçador (SC) and the native forest in Laminados AB Company located in Calmon (SC). The Diameter at Breast Height (DBH) dimensions have been found in the sample from 10 cm to 80 cm, whereas random sampling and circular plots of variable area, and the radius of each plot the distance between the tree and the competitor farthest point sampling (central tree). Calculated variables describing the size and competition were the Diameter at Breast Height in shell Diameter at Breast Height shelled, basal area, crown diameter, canopy area, the potential number of trees per hectare, comprehensiveness index, index overhang, formal canopy, the  $h / d$ , percentage of canopy index BAL (Basal Area Larger), Hegyi index, indexes Glover and Hool, indexes Tomé and Burkhardt, Lorimer index and index of Clark and Evans. The variables whose explained better of the regular annual percentage increase in basal area were diameter at breast height and vitality Cup, being also considered significant in the model the salience index and the BAL competition index. The best model for hypsometric relation was that of Chapman Richards ( $h = 20,6053.(1 - e^{-0,0615.dbh})$ ), taking as an alternative to model of Stofells ( $\ln(h) = 1,68412 + 0,32665.\ln(dbh)$ ) and to estimate the canopy diameter was the logarithmic ( $\ln(dc) = -1,76773 + 11,05485.\ln(dbh)$ , for symmetric tops, and  $\ln(dc) = -1,19837 + 0,88682.\ln(dbh)$ , to represent the asymmetric tops). The estimate of crown diameter to the Diameter at Breast Height will be used separately for locations where there is greater competition from places where there is less competition due to different symmetry as a consequence of this variable.

**Keywords:** percentual periodic annual increment, basal area, canopy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Regiões de ocorrência das formações florestais do Sul do Brasil.....	10
Figura 2 – Características dendrológicas da espécie <i>Ocotea porosa</i> . A) Detalhe da filotaxia alterna espiralada e do fruto imaturo. B) Domáceas. C e D) “Papos” de imbuia.....	11
Figura 3 – Aspecto da madeira de <i>Ocotea porosa</i> evidenciando seus anéis de crescimento.....	12
Figura 4 – Características anatômicas que destacam os anéis de crescimento em angiospermas.....	14
Figura 5 – Desenvolvimento do incremento periódico anual em área basal. ....	16
Figura 6 – Medidas descritivas da copa. ....	17
Figura 7 – Mensuração da projeção de copas por observação vertical (direita) e prumo óptico (esquerda). ....	19
Figura 8 – Dispersão dos dados de incremento anual em área basal em relação ao índice de BAL modificado para árvores individuais de <i>Pinus pinaster</i> na Galícia. ....	24
Figura 9 – Locais de coleta de dados para o estudo do incremento periódico percentual em área basal de <i>Ocotea porosa</i> .....	25
Figura 10 – Esquema representativo de uma parcela da amostragem de árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> e suas vizinhas.....	27
Figura 11 – Esquema representativo da medição dos raios de copa na direção dos pontos cardeais para uma árvore individual de <i>Ocotea porosa</i> .....	29
Figura 12 – Imagem e esquema representativo da variável vitalidade de copa (1) classificada para árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> .....	30
Figura 13 – Imagem e esquema representativo da variável vitalidade de copa (2) classificada para árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> .....	31
Figura 14 – Imagem e esquema representativo da variável vitalidade de copa (3) classificada para árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> .....	31
Figura 15 – Exemplo explicativo de datação cruzada de anéis de crescimento evidenciando as características em cada ano.....	33
Figura 16 – Comportamento gráfico das funções de densidade de probabilidade teóricas Normal, Lognormal, Gama e Weibull. ....	44

Figura 17 – Rebrota de <i>Ocotea porosa</i> como resposta fisiológica a perdas causadas na parte aérea. A e B – Rebrota da cepa da árvore após o corte. C – Rebrota acima da base da árvore causada por danos de incêndio. ....	50
Figura 18 – Distribuição de frequência por centro de classe diamétrica das árvores amostradas de <i>Ocotea porosa</i> abrangendo os dois locais de coleta, Calmon e Caçador, SC. ....	52
Figura 19 – Visualização dos anéis de crescimento para a amostra de número 77 de <i>Ocotea porosa</i> coletada em Calmon, SC. ....	52
Figura 20 – Comportamento médio de oito índices de concorrência por classe diamétrica para <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). ....	56
Figura 21 – Comportamento médio da percentagem de copa, altura total e diâmetro à altura do peito por classe diamétrica para indivíduos de <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). ....	57
Figura 22 – Crescimento diamétrico médio acumulado por classe de diâmetro com destaque para a menor inclinação observada na primeira classe de diâmetro (15cm) para <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). ....	60
Figura 23 – Dispersão dos dados amostrados de incremento periódico anual percentual em área basal em função das variáveis de maior correlação linear. ....	62
Figura 24 – Dispersão dos dados observados de incremento periódico anual em área basal em função do diâmetro a altura do peito para <i>Ocotea porosa</i> em floresta nativa nas cidades de Calmon e Caçador, SC. ....	63
Figura 25 – Resultado gráfico para verificação da aderência dos dados observados de incremento periódico anual percentual em área basal às funções de densidade Normal, Lognormal, Weibull e Gama. ....	64
Figura 26 – Ajuste da variável incremento periódico anual percentual em área basal em função da variável dependente diâmetro a altura do peito para <i>Ocotea porosa</i> . ...	67
Figura 27 – Dispersão dos resíduos para a variável estimada incremento periódico anual percentual em área basal para <i>Ocotea porosa</i> . ....	68
Figura 28 – Dispersão dos resíduos em função da variável estimada altura total para <i>Ocotea porosa</i> . ....	70
Figura 29 – Ajuste da relação hipsométrica pela equação de Chapman Richards com dois parâmetros para <i>Ocotea porosa</i> . ....	70
Figura 30 – Ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para <i>Ocotea porosa</i> para a equação $\ln(dc)=-1,40353+0,95293.\ln(dap)$ . ....	72
Figura 31 – Dispersão dos resíduos em função da variável estimada diâmetro de copa para <i>Ocotea porosa</i> para a equação $\ln(dc)=-1,40353+0,95293.\ln(dap)$ . ....	73

Figura 32 – Desenvolvimento do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito da *Ocotea porosa* para a distribuição dos galhos 1 (DG1) e para a distribuição dos galhos 2 e 3 (DG2+DG3). .....75

Figura 33 – Comportamento médio do índice de Hegyi (IH) por classe diamétrica para *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC), evidenciando um dos pontos de transição de maior grau de concorrência para menor grau de concorrência. ....75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equações testadas para estimar a altura em função do diâmetro à altura do peito, para árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). .....	40
Tabela 2 – Equações testadas para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito, para árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). .....	41
Tabela 3 – Valores médios por classe diamétrica das variáveis dendrométricas de árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). .....	53
Tabela 4 – Valores médios por classe diamétrica das variáveis morfométricas de árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). .....	54
Tabela 5 – Valores médios por classe diamétrica das variáveis de competição de árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> em Calmon (SC) e Caçador (SC). .....	55
Tabela 6 – Incremento corrente anual em diâmetro máximo e mínimo para <i>Ocotea porosa</i> por classe diamétrica considerando o período de 2000 até 2009. ....	59
Tabela 7 – Correlação de Pearson e probabilidade entre o incremento periódico anual percentual em área basal e variáveis dendrométricas, morfométricas e variáveis de concorrência para <i>Ocotea porosa</i> em Caçador (SC) e Calmon (SC). .....	61
Tabela 8 – Testes de aderência evidenciando o ajuste dos dados observados de incremento periódico anual em área basal da distribuição gama. ....	65
Tabela 9 – Análise de máxima verossimilhança das estimativas paramétricas pelo teste de Wald. ....	66
Tabela 10 – Estatísticas dos critérios de seleção para o modelo linear generalizado da estimativa do incremento periódico anual em área basal. ....	68
Tabela 11 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas das equações testadas para a relação hipsométrica de <i>Ocotea porosa</i> . ....	69
Tabela 12 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas das equações testadas para o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito de <i>Ocotea porosa</i> . ....	71
Tabela 13 – Análise de covariância, pelo teste F, do modelo $\ln(dc)=b_0+b_1.\ln(dap)$ para verificar o efeito da variável distribuição de galhos de <i>Ocotea porosa</i> . ....	73
Tabela 14 – Análise de covariância, pelo teste t, do modelo $\ln(dc)=b_0+b_1.\ln(dap)$ para verificar a diferença das regressões entre as três distribuições dos galhos de <i>Ocotea porosa</i> . ....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ac</b>	área de copa
<b>AIC</b>	critério de informação de Akaike
<b>BAL</b>	<i>Basal Area Factor</i>
<b>BIC</b>	critério de informação Bayesiano
<b>cap</b>	circunferência à altura do peito
<b>cm</b>	centímetros
<b>cov(X,Y)</b>	covariância entre as variáveis X e Y
<b>CV</b>	coeficiente de variação
<b>D</b>	valor do teste de Kolmogorov-Smirnov
<b>D1</b>	dummy 1 referente à vitalidade de copa 1
<b>D2</b>	dummy 2 referente à vitalidade de copa 2
<b>D3</b>	dummy 3 referente à vitalidade de copa 3
<b>dap ou d</b>	diâmetro à altura do peito
<b>dapsc</b>	diâmetro à altura do peito sem casca
<b>dc</b>	diâmetro de copa
<b>DG</b>	distribuição dos galhos
<b>di</b>	diâmetro à altura do peito da árvore concorrida
<b>dj</b>	diâmetro à altura do peito da árvore concorrente
<b>DME</b>	<i>diameter measuring</i>
<b>DW</b>	valor do teste de Durbin-Watson
<b>e</b>	espessura simples de casca
<b>ET</b>	exposição do terreno
<b>FC</b>	formal de copa
<b>g</b>	área basal para uma árvore individual
<b>h</b>	altura total
<b>h/d</b>	relação da altura total pelo diâmetro à altura do peito
<b>hcom</b>	altura comercial
<b>hi</b>	altura total da árvore concorrida
<b>hj</b>	altura total da árvore concorrente
<b>IA</b>	índice de abrangência
<b>IBAL</b>	índice de BAL
<b>ICA</b>	incremento corrente anual
<b>ICE</b>	índice de Clark e Evans
<b>IGHD</b>	índice de Glover e Hool baseado nos diâmetros
<b>IGHH</b>	índice de Glover e Hool baseado nas alturas
<b>IH</b>	índice de Hegyi
<b>IL</b>	índice de Lorimer
<b>IPAg</b>	incremento periódico anual percentual em área basal
<b>IS</b>	índice de saliência
<b>ITB1</b>	índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro médio das competidoras

<b>ITB2</b>	índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro máximo das competidoras
<b>K</b>	número de variáveis independentes da equação
<b>I</b>	comprimento total de copa
<b>LM</b>	valor do teste de White
<b>ln</b>	logaritmo natural
<b>m</b>	metros
<b>mm</b>	milímetros
<b>n</b>	número de observações
<b>Np</b>	número de árvores por hectare baseado na área de copa
<b>°C</b>	graus centígrados
<b>PC</b>	percentagem de copa
<b>Prob.</b>	probabilidade
<b>PS</b>	posição sociológica
<b>QF</b>	qualidade do fuste
<b>R</b>	raio da unidade amostral
<b>r</b>	coeficiente de correlação linear de Pearson
<b>R<sup>2</sup></b>	coeficiente de determinação
<b>R<sup>2</sup>aj</b>	coeficiente de determinação ajustado
<b>rij</b>	distância média entre a árvore concorrida e as concorrentes
<b>Rij</b>	distância entre a árvore concorrida e a concorrente
<b>SAS</b>	<i>Statistical Analysis System</i>
<b>SC</b>	Santa Catarina
<b>SW</b>	valor do teste de Shapiro-Wilk
<b>Sx</b>	desvio padrão da variável X
<b>Sy</b>	desvio padrão da variável Y
<b>Syx</b>	erro padrão da estimativa absoluto
<b>V</b>	vitalidade de copa
<b>W</b>	valor do teste de Wald
<b>W-Sq</b>	valor do teste de Cramér-von-Mises
<b>X</b>	variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição
<b>Y</b>	variável incremento periódico anual percentual em área basal

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
1.1	Objetivos	8
1.1.1	Objetivo geral	8
1.1.2	Objetivos específicos	8
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>10</b>
2.1	<i>Ocotea porosa</i> (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso	10
2.2	O crescimento das árvores	13
2.3	Morfometria das copas das árvores	16
2.4	Competição entre as árvores	20
2.5	Modelagem do crescimento das árvores	21
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
3.1	Características da área de estudo	25
3.2	Coleta de dados	26
3.3	Caracterização das árvores e variáveis amostradas	38
3.4	Análise estatística	39
3.4.1	Análise de correlação	39
3.4.2	Regressão linear e regressão não linear	39
3.4.3	Condicionantes de regressão	42
3.4.4	Funções de densidade probabilística testadas	43
3.4.5	Testes de aderência	45
3.4.6	Modelagem Linear Generalizada	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>50</b>
4.1	Caracterização das árvores de <i>Ocotea porosa</i>	50
4.2	Modelagem linear generalizada para o incremento periódico anual percentual em área basal	63
4.3	Relação Hipsométrica	69
4.4	Diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito	71
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>78</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A visão de que as florestas heterogêneas são de uso múltiplo faz com que aumentem os estudos baseados em variáveis de árvores individuais e fatores biológicos explicativos, utilizando e analisando novas fontes de dados e novas tecnologias (SPATHELF e NUTTO, 2000).

Os estudos científicos sobre o Manejo Florestal e o Crescimento e Produção de espécies arbóreas ainda priorizam espécies exóticas de rápido crescimento esquecendo, muitas vezes, do grande potencial das várias espécies nativas que carecem de estudos nessa área. Embora existam estudos em florestas nativas sobre sua dinâmica como um todo, não se sabe a fundo o potencial e o ritmo de crescimento de cada uma das espécies dessa floresta, ou seja, como elas crescem, quanto crescem, quais variáveis influenciam mais ou menos no seu crescimento e em que locais tem maior ou menor crescimento.

Uma das informações necessárias sobre a floresta para elaboração de planos de manejo é a produtividade do estoque em crescimento, sendo preciso avaliar a capacidade produtiva do sítio florestal, quantificar a produção e o crescimento a fim de fazer previsões para o futuro. Com esse tipo de informação é possível equilibrar o estoque da floresta anual ou periodicamente sem exauri-la ou estagná-la utilizando ferramentas como a modelagem para estimar o crescimento e produção no presente e no futuro (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

De acordo com Della-Flora et al. (2004), o interesse no estudo do crescimento de espécies nativas vem aumentando nos últimos tempos, devido a seus altos índices de degradação. Por isso, é de suma importância conhecer a produção e o crescimento das espécies nativas de maior interesse para futuras intervenções de manejo que visem a conservação e também seu uso, já que a diversidade de espécies de porte arbóreo é consideravelmente grande no Brasil.

O uso dos modelos de crescimento que possui como base as árvores individuais vem sendo incrementado principalmente nos Estados Unidos. Os estudos sobre esses modelos ainda são incipientes no Brasil, o que justifica a pesquisa crescente sobre o tema, principalmente em florestas nativas na atualidade (SOCOLFORO, 2006). Conforme Campos e Leite (2009), a compreensão sobre os processos de crescimento e produção se faz necessária quando se quer gerenciar

uma floresta, pois o tipo de manejo deve ser decidido com base em informações da dinâmica de crescimento para a prognose de produções futuras.

A concorrência entre as árvores talvez seja o fator biológico mais importante no manejo florestal, onde quase todas as intervenções estão relacionadas com a gestão desse fator para uma melhor distribuição do espaço vital entre os indivíduos remanescentes, como por exemplo, o método de desbaste pelo alto adotado na África do Sul que baseia-se na posição das copas como: dominante, co-dominante ou suprimida, etc (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Portanto, embora existam estudos sobre o crescimento da espécie *Ocotea porosa*, não há pesquisas que comparem seu crescimento nas florestas nativas baseando-se na morfometria da copa das árvores e na concorrência sofrida por elas. Assim, a utilização de dados que abordam o espaço vital disponível para a árvore para avaliar seu crescimento é de suma importância, pois relaciona de forma direta o tamanho da copa com seu incremento servindo como base para a modelagem dessas relações e o desenvolvimento de futuras ferramentas de decisão no manejo florestal.

A hipótese de trabalho a ser seguida é que existe relação entre o incremento periódico percentual em área basal, a morfometria da copa e a competição entre árvores de *Ocotea porosa* em florestas nativas.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

O estudo tem por objetivo descrever a morfometria e as relações de crescimento de *Ocotea porosa* em Calmon e Caçador, região central do estado de Santa Catarina, utilizando a modelagem matemática e considerando o efeito da concorrência nesses locais.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Estudar a dimensão das variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição e seu efeito sobre o incremento periódico anual em área basal;

- b) Modelar o incremento periódico anual percentual em área basal em função de variáveis dendrométricas, variáveis de competição e variáveis morfométricas da copa;
- c) Testar e selecionar um modelo matemático para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito;
- d) Testar e selecionar um modelo matemático para estimar a altura em função do diâmetro à altura do peito;
- e) Determinar a relação existente entre o diâmetro de copa, o diâmetro à altura do peito e a competição.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso

A *Ocotea porosa* é uma espécie da família Lauraceae chamada popularmente de imbuia ou canela-imbuia na região Sul do Brasil. Sua sinonímia botânica é encontrada nessa mesma literatura como *Oreodaphne porosa* Nees et Martius ex Nees, *Phoebe porosa* (Nees e Mart.) Mez. e *Cinnamomum porosum* (Nees e Mart.) Kost (CARVALHO, 2003; LORENZI, 1998). Segundo Quinet et al. (2010) existem em torno de 150 espécies do gênero *Ocotea* na lista de espécies da flora brasileira, evidenciando sua grande importância no país.

A *Ocotea porosa* é encontrada na Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária ou submatas dos pinhais), conforme evidenciado pela cor verde clara da Figura 1, e ocorre naturalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais abrangendo altitudes de 762 a 1200 metros (CARVALHO, 2003; CHUDNOFF, 1984). Para Quinet et al. (2010), a espécie não ocorre no Rio Grande do Sul.



Figura 1 – Regiões de ocorrência das formações florestais do Sul do Brasil.  
Fonte: IBGE, Ano Base 2004 apud CORADIN et al., 2011.

É uma espécie de copa ampla com folhas simples verde clara bem característica, e de filotaxia alterna e frutos do tipo baga globosa de superfície parda e alveolada (REITZ, KLEIN e REIS, 1978). As folhas apresentam domáceas e o tronco, principalmente de indivíduos mais senis, apresentam concreções denominadas de “Papos” de imbuia, conforme a Figura 2.



Figura 2 – Características dendrológicas da espécie *Ocotea porosa*. A) Detalhe da filotaxia alterna espiralada e do fruto imaturo. B) Domáceas. C e D) “Papos” de imbuia.

A *Ocotea porosa* está presente na lista oficial da flora brasileira como espécie ameaçada de extinção na categoria Vulnerável (VU), sendo que dentre as cinco categorias é a de menor grau de ameaça de extinção (BIODIVERSITAS, 2012; IBAMA, 2012; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012). A justificativa do enquadramento na presente categoria, apresentada por BIODIVERSITAS (2012), é de que a espécie sofreu uma redução no tamanho da população em 50% ou mais durante os últimos 10 anos, sendo as causas da redução, claramente reversíveis. Segundo o mesmo autor, a redução levantada é baseada em um declínio na área ocupada pela espécie, na extensão de ocorrência, na qualidade do habitat e nos níveis de exploração.

A imbuia é árvore companheira da araucária e da erva-mate no planalto sulino sendo encontrada também em vegetação secundária com comportamento pioneiro podendo ser indicada para reflorestamento em áreas de preservação permanente.

Como seus frutos roxos são muito apreciados pelos pássaros, também serve de frutífera para a avifauna (BACKES e IRGANG, 2009).

É uma espécie de grande valor madeireiro, podendo atingir de 10 a 20 m de altura e 50 a 150 cm de diâmetro, sendo muito procurada para carpintaria de luxo pelo seu aspecto, conforme Figura 3, e ampla durabilidade natural, sendo também utilizada na construção civil, para dormentes, pontes, moirões e no paisagismo (LORENZI, 1998; CARVALHO, 2003). Para Backes e Irgang (2009), a imbuia é uma madeira esteticamente valorizada sendo utilizada para móveis, esquadrias, laminação, instrumentos musicais e esculturas devido a sua cor de amarelada até marrom-escura, o que certamente caracteriza o alburno e o cerne, respectivamente.



Figura 3 – Aspecto da madeira de *Ocotea porosa* evidenciando seus anéis de crescimento.

Fonte: LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2009.

Para Backes e Irgang (2009), a *Ocotea porosa* teve uma extração muito elevada devido a sua madeira ser de primeira qualidade, sendo utilizada na fabricação dos móveis mais caros. Relatam, ainda, que foram encontradas toras de 10 m de comprimento por 2 m de diâmetro, obtendo-se até 6 m<sup>3</sup> de madeira serrada.

De acordo com Reitz, Klein e Reis (1978), a espécie é uma das árvores consideradas como mais importantes para o reflorestamento abrangendo mais seis espécies da mesma família, tais como: *Ocotea pretiosa* (Nees) Mez. (canela-sassafrás), *Nectandra lanceolata* Nees (canela-amarela), *Nectandra leucothyrsus*

Meissner (canela-branca), *Ocotea puberula* Ness (canela-guaica), *Ocotea pulchella* Martius (canela-lageana) e *Ocotea catharinensis* Mez. (canela-preta).

## 2.2 O crescimento das árvores

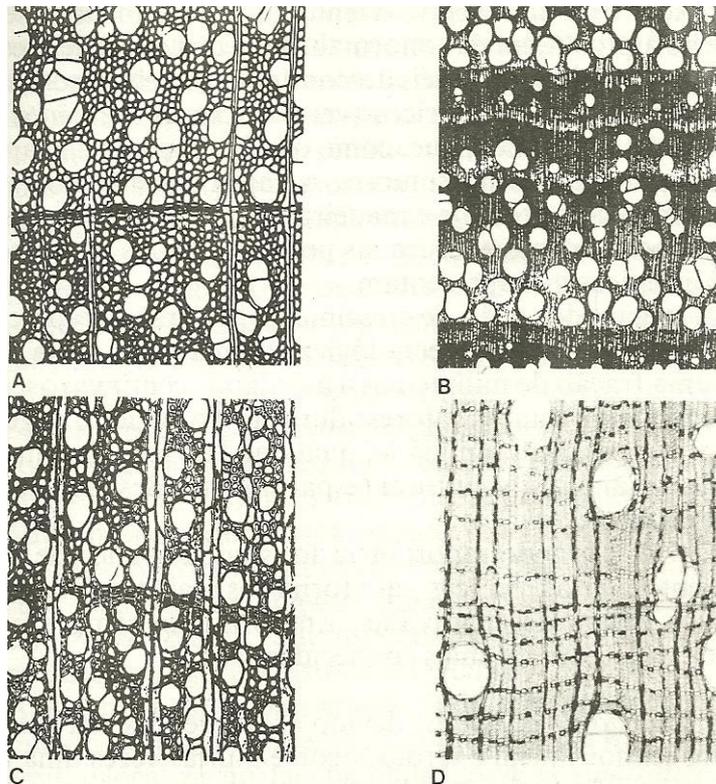
Uma floresta é composta de árvores individuais que, ao longo do tempo crescem em diâmetro e altura. A dinâmica de um povoamento florestal pode ser muito complexa porque as árvores individuais que constituem esse povoamento crescem em taxas diferentes e podem morrer em momentos diferentes. O crescimento pode ser avaliado em termos de volume, peso ou outras unidades. Quando se considera o volume, o crescimento pode ser negativo, pois uma maior quantidade de árvores pode morrer em um determinado período de tempo do que árvores vivas crescerem nesse mesmo período (SHIVER e BORDERS, 1996).

O conceito de crescimento das árvores se resume no somatório da divisão, alongamento e engrossamento das células dos tecidos meristemáticos (IMANÑA et al., 2005), resultando no alongamento e engrossamento do tronco, galhos e raízes (FINGER, 1992), causando mudanças na árvore, influenciando o seu peso, volume e forma (SCOLFORO, 2006; HUSCH et al., 1982). Assim, ocorre a produção de madeira, a qual depende do processo fotossintético onde as árvores transformam gás carbônico, água e nutrientes em substâncias orgânicas (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

De acordo com Oliveira (2007), o crescimento e a dormência seguem ciclos anuais em algumas espécies arbóreas tropicais e subtropicais, sendo registrado no lenho pelos anéis de crescimento delimitados por estruturas anatômicas distintas, podendo-se determinar a idade das árvores assim como as taxas de crescimento pela análise temporal dos anéis. Segundo Burger e Richter (1991), os anéis de crescimento representam geralmente o incremento anual de uma árvore, sendo que a cada ano um novo anel é acrescentado ao fuste e, por isso são denominados de anéis anuais, os quais são destacados pelo conjunto do lenho inicial (lenho primaveril) com células de paredes finas e lumes grandes, e lenho tardio (lenho outonal ou estival) com células de paredes mais espessas e, conseqüentemente, lumes menores.

A presença da alternância de cores no lenho das árvores faz com que se evidenciem, especialmente nas gimnospermas, os anéis de crescimento para muitas

espécies. Porém, para a análise dos anéis de crescimento nas folhosas deve-se ter atenção em determinadas estruturas anatômicas tais como: anéis de crescimento delimitados por uma faixa de células parenquimáticas, alargamento dos raios nos limites dos anéis de crescimento, maior presença ou dimensão dos poros no início do período vegetativo, células com paredes mais espessas e, alteração no espaço entre as faixas tangenciais de um parênquima axial, o que se pode observar na Figura 4 (BURGER e RICHTER, 1991).



A – Parênquima marginal e alargamento dos raios no limite dos anéis de crescimento; B – Porosidade em anel; C – Espessamento diferencial das paredes das fibras no fim do período vegetativo; D – Alteração no espaçamento das faixas tangenciais de parênquima axial.

Figura 4 – Características anatômicas que destacam os anéis de crescimento em angiospermas.

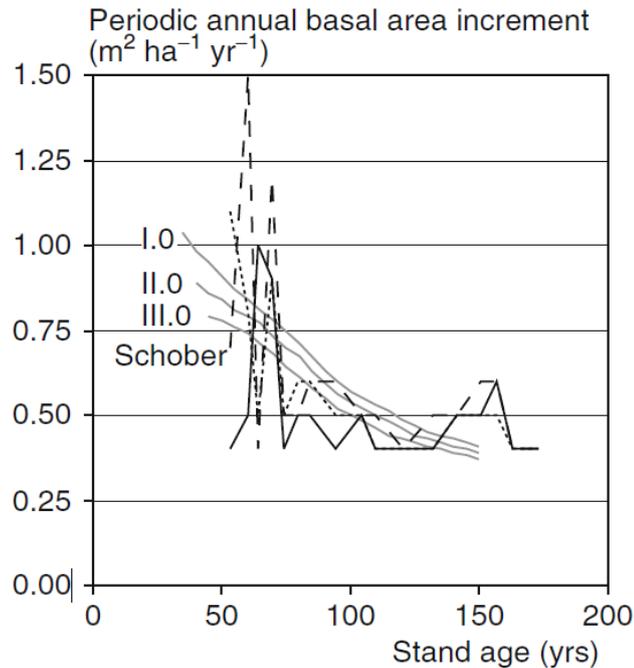
Fonte: A, B, C – Grosser (1977) apud Burger e Richter (1991); D – Burger e Richter (1991).

A recuperação de informações sobre o crescimento de espécies nativas vem sendo um dos principais objetivos estudados em vários trabalhos da área de manejo florestal, pelo uso da medição de anéis de crescimento, tais como: Scheeren et al. (2002), Scheeren et al. (2003), Mattos et al. (2007), Rosa (2008), Alvarado (2009), Cosmo et al. (2009), Cunha (2009), Mattos et al. (2010), Arnoni (2011), Pereira (2011), Zanon (2007), dentre outros.

O estudo do crescimento e da produção florestal é útil para definir a rotação biológica, silvicultural, técnica, física ou do máximo incremento médio anual, assim como o momento ideal de efetuar desbastes, do ponto de vista biológico (SCOLFORO, 2006).

Assim, um dos pontos relevantes do manejo florestal é o local onde a floresta se encontra, sendo a topografia um dos fatores mais importantes do sítio, a qual afeta o equilíbrio de energia e água influenciando a incidência de radiação, a drenagem e disponibilidade de água. A inclinação do terreno influencia diretamente no crescimento das árvores, através da radiação solar, ângulo do sol, duração do dia e comprimento da luz solar. A temperatura e umidade do solo também são influenciadas pela topografia assim como a estação do ano podendo gerar estresse hídrico e interferir na fotossíntese (FRITTS, 1976). Para exemplificar, Fritts (1976) citou que em regiões onde o crescimento da planta é limitado pela disponibilidade hídrica do ano corrente, espera-se que a maioria das árvores formem anéis de crescimento estreitos em anos de baixa pluviosidade e anéis mais largos em anos chuvosos. Essas variações que ocorrem no crescimento também podem ser atribuídas às mudanças na estação, às diferenças nos micro sítios, e as diferenças entre as espécies de árvores.

Uma resposta que serve como suporte para definição de diferentes graus de desbaste em um povoamento florestal pode ser determinada pelo incremento periódico anual em área basal (Figura 5) e volume (PRETZSCH, 2009).



Linha sólida – classe de desenvolvimento A; linha tracejada – classe de desenvolvimento B; linha pontilhada – classe de desenvolvimento C; linhas cinza – curvas de índice de sítio I, II e III de tabelas de produção de faia, fornecidas para referência.

Figura 5 – Desenvolvimento do incremento periódico anual em área basal.

Fonte: Pretzsch (2009).

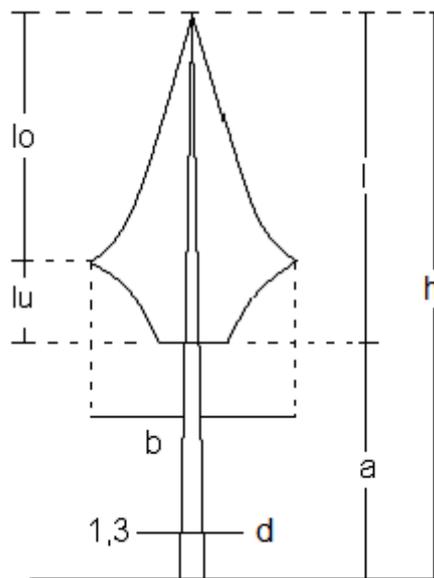
O incremento periódico anual em área basal pode ser expresso pela percentagem do crescimento em relação ao tamanho total da árvore no início do período considerado, sendo, portanto, calculado pela razão entre o incremento, em um determinado período, e o tamanho inicial. Embora o crescimento percentual seja mais utilizado para as variáveis área basal e volume, pode ser calculado para outras variáveis e comportam-se da seguinte forma: como as árvores crescem com o tempo, a base (tamanho inicial) do cálculo do incremento em percentagem aumenta constantemente, e a percentagem do crescimento diminui, embora, o incremento absoluto possa ser constante ou aumentar ligeiramente (HUSCH et al., 1982).

### 2.3 Morfometria das copas das árvores

O crescimento de plantas lenhosas está intimamente relacionado com a forma e estrutura das mesmas. O conhecimento das variações na forma de uma estrutura é tão essencial para a compreensão dos processos fisiológicos que regulam o crescimento das plantas como o conhecimento das reações químicas envolvidas nesses processos. Por exemplo, as características da copa são importantes para o

estudo da taxa de crescimento da planta, tais como o aumento do crescimento em diâmetro do fuste e produção de frutos, cones e sementes (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1997).

As medidas descritivas, mais importantes, da copa das árvores são: proporção de copa ( $l/h$ ), proporção de copa exposta à luz solar ( $l_0/l$ ), proporção de copa sombreada ( $l_u/l$ ), índice de abrangência ( $b/h$ ) e formal de copa ( $b/l$ ), que quanto maior o seu valor mais arredondada é a copa (ASSMANN, 1970). O autor cita que a projeção de copa ou área de cobertura é determinada medindo-se de quatro a oito raios, sendo o diâmetro médio de copa definido como largura de copa ( $b$ ) e calculado pelo raio médio multiplicado por dois. As variáveis citadas podem ser visualizadas na Figura 6.



$l_0$  – comprimento de copa exposto à luz;  $l_u$  – comprimento de copa exposto à sombra;  $l$  – comprimento de copa;  $b$  – largura de copa;  $h$  – altura total;  $d$  – diâmetro a 1,3m do solo;  $a$  = altura do fuste.

Figura 6 – Medidas descritivas da copa.

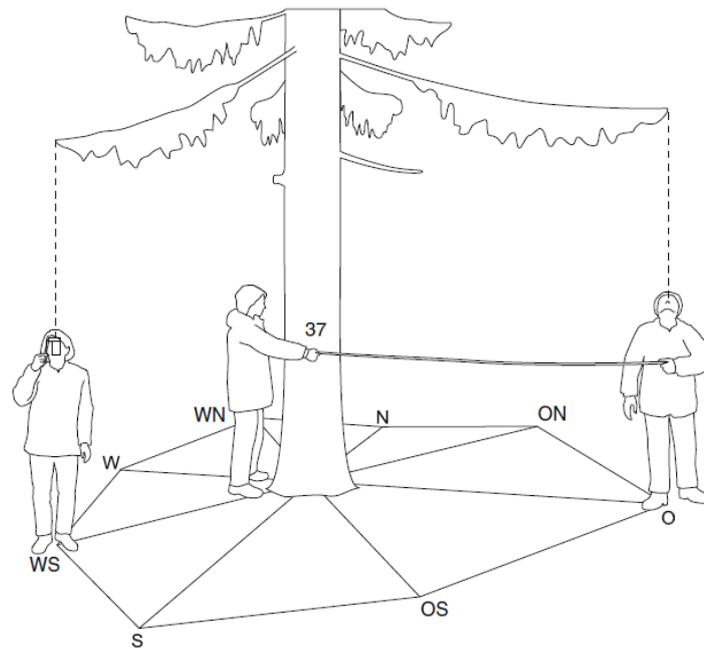
Fonte: Assmann (1970).

Segundo Hasenauer (1997), a morfometria de uma árvore e as variáveis derivadas são utilizadas para inferir sobre relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, a sua estabilidade, vitalidade e produtividade, bem como julgar o grau de concorrência a que cada indivíduo foi ou está sujeito.

A proporção da copa é geralmente mensurada em inventários florestais como a proporção do comprimento total da folhagem viva da árvore, determinada através do raio da copa que envolve a base da copa viva. No entanto, os protocolos para a determinação da base da copa variam e alguns exigem apreciação subjetiva, especialmente, no caso de copas assimétricas (HASENAUER e MONSERUD, 1996; SOARES e TOMÉ, 2001).

A medição da densidade de copa ou percentagem de cobertura pode ser realizada visualmente, por fotos aéreas ou por terra (PRODAN et al., 1997). As medições das variáveis da copa podem ser realizadas pela 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 à 1,3m do solo, onde um observador coloca o zero da fita métrica e indica a um segundo observador, com o auxílio de uma bússola, o ângulo de visada, podendo ser observado à direita da Figura 6. Assim, o segundo observador desloca a fita métrica na horizontal até a borda da copa, sendo guiado por um terceiro observador que facilmente visualiza um eixo perpendicular imaginário entre a borda da copa e o segundo observador (GODINHO e TOMÉ, 2001).

Outro método para medição da área de projeção de copa consiste em determinar os raios de copa utilizando um prumo óptico para posicionar-se perpendicularmente sob a borda da copa, o qual é bastante preciso mas requer um maior tempo disponível (RÖHLE e HUBER, 1985 apud PRETZSCH, 2009; RÖHLE, 1986 apud PRETZSCH, 2009). Esse método pode ser visualizado à esquerda da Figura 7.



N – Norte; WN – noroeste; W – oeste; WS – sudoeste; S – sul; OS – sudeste; O – leste; ON – nordeste.

Figura 7 – Mensuração da projeção de copas por observação vertical (direita) e prumo óptico (esquerda).

Fonte: Pretzsch (2009).

Com o objetivo de estudar o crescimento de onze árvores dominantes de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez., Souza et al. (2009) levaram em conta a posição sociológica, forma da copa bem como altura e qualidade do fuste. As condições de crescimento de cada árvore-amostra foram descritas com dados levantados em unidades amostrais circulares com área proporcional a da copa da árvore selecionada. O raio da unidade amostral foi definido como sendo duas vezes o raio médio de copa da árvore-amostra estimado mediante leitura de oito raios. Cada árvore amostra teve calculada as variáveis comprimento, diâmetro, e proporção de copa (razão entre o comprimento de copa e altura da árvore), a relação h/d, o índice de saliência (relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito), o índice de abrangência (relação entre o diâmetro de copa e a altura da árvore) e o formal de copa (relação entre o diâmetro de copa e o seu comprimento).

Sendo um dos objetivos relacionar as variáveis morfométricas da copa com a produção de sementes de árvores nativas da castanheira-do-pará, Tonini et al. (2008) concluíram que os indivíduos mais produtivos foram aqueles com posição

superior no dossel, que apresentaram copas compridas, bem formadas e com menor relação h/d.

## **2.4 Competição entre as árvores**

Segundo Fritts (1976), a comunidade vegetal presente em um sítio é o resultado de migrações de plantas, regeneração, crescimento, reprodução e morte de indivíduos no local. O autor cita que um dos fatores ambientais que regulam o crescimento secundário das plantas é a competição entre organismos. Assim, a morte de uma árvore resulta, frequentemente, em mais luz e umidade disponível para as árvores vizinhas, enquanto o crescimento de um vizinho pode aumentar a concorrência pela água e luz.

A determinação da competição por água, luz e nutrientes pode ser realizada pelas variáveis área basal e diâmetro médio, sendo que suas taxas de acréscimo podem ser utilizadas para tomada de decisões sobre o corte e, conseqüentemente, sobre o manejo das florestas (VEIGA, 1962). Os índices de concorrência também podem ser utilizados como variáveis preditoras em modelos de árvores individuais para determinar a idade de corte (DANIELS e BURKHART, 1975, apud DAVIS e JOHNSON, 1987).

Os índices de competição estimam a competição total para as árvores mais próximas, as quais afetam o desenvolvimento de outros indivíduos. Esses índices geralmente consideram o número de competidores, o tamanho do indivíduo, o tamanho do competidor e a distância entre eles de forma direta ou indireta (PIUTTI e CESCATTI, 1997; MANGNUSSEN, 1994). A competição também pode ser descrita em função do comprimento, altura e diâmetro de copa, posição sociológica e tendências de crescimento, originando diferentes índices (SCHNEIDER e FINGER, 2000).

Descrevendo os vários índices de competição e seu uso para modelagem do crescimento das árvores, Tonini (2007) cita que a estimativa do crescimento não depende da complexidade do índice e tão pouco do volume coletado de dados, mas sim da espécie que está sendo estudada, evidenciando que muitas vezes os índices mais simples são os mais eficientes.

O efeito da competição entre plantas foi indicado, inclusive, para análise de dados de testes de progênies e procedência com espécies florestais por

Leonardecz-Neto et al. (2003), onde relata que caso a variável competição for desprezada, os índices de seleção terão estimativas com viés, gerando erro na seleção de indivíduos superiores.

Na ciência florestal, as pesquisas e o desenvolvimento de índices de competição têm sido aplicados principalmente na prognose do crescimento em plantios florestais ou grupos de espécies em florestas naturais. O status competitivo de uma árvore é descrito por medidas de competição independentes ou dependentes da distância. Índices independentes da distância distinguem-se dos dependentes por utilizarem medidas não espaciais, baseadas na distribuição dos tamanhos das árvores em uma determinada área. Nos índices dependentes da distância (espaciais), os competidores são identificados baseados em seu tamanho e distância em relação à árvore-objetivo (WIMBERLY e BARE, 1996).

A concorrência é um dos fatores que influi nas taxas de crescimento para árvores individuais. Porém, é comum que a largura média do anel de todas as árvores de uma determinada espécie e local pode ser expressa como uma função matemática simples do aumento da idade. No entanto, todos os indivíduos de uma espécie raramente irão alcançar um ótimo crescimento na mesma idade, e as árvores individuais diferem em suas taxas de crescimento devido a diferenças de fatores do solo, microclima e outros fatores que regem a produtividade do local, o que conduziria a um maior erro na cronologia caso se pensasse somente na variável idade como variável independente (FRITTS, 1976).

O mesmo autor cita ainda que, as mudanças provocadas nas larguras dos anéis de crescimento não são apenas um resultado direto das variações macroclimáticas, mas também das variações relacionadas ao local em que a árvore se apresenta o que pode influenciar diretamente os fatores climáticos limitando o crescimento.

## **2.5 Modelagem do crescimento das árvores**

A modelagem do crescimento e da produção florestal vem sendo utilizada para uma variedade de estudos em todo o mundo, seguindo duas vertentes: modelos biométricos e modelos baseados em processos (SCOLFORO, 2006). De acordo com Scolforo (2006), os modelos biométricos são classificados em: modelos em nível de povoamento, frequentemente aplicados para estimativas gerais da

população; modelos por classe diamétrica, os quais possibilitam a avaliação econômica de produtos discriminados por classe de tamanho; e os modelos para árvores individuais, que apresentam maior detalhamento e flexibilidade na avaliação de possibilidades de utilização e tratamentos no povoamento. Já, os modelos baseados em processos estão vinculados à fisiologia vegetal sendo classificados em: modelos ecofisiológicos, utilizados para prever consequências da atividade de manejo pela experimentação; modelos baseados na arquitetura das árvores que integra a ecofisiologia com a descrição da tipologia e geometria da planta; e modelos baseados no clima, os quais sugerem que mudanças globais climáticas podem influenciar o crescimento das árvores.

Os modelos de árvores individuais consistem em um sistema de equações e procedimentos utilizados para prever o crescimento e a produção de uma floresta, utilizando as árvores como unidades de modelagem ao invés das unidades amostrais ou parcelas. Esse sistema é composto por uma equação para projeção do diâmetro, uma equação de mortalidade e outra equação de crescimento em altura, ou de uma relação hipsométrica (CAMPOS e LEITE, 2009).

Para prever o crescimento das árvores individuais considerando a concorrência entre os indivíduos, Munro (1974) apud Scolforo (2006) classificou os modelos em modelos de árvores individuais independentes da distância e modelos de árvores individuais dependentes da distância, entre a árvore concorrida e a concorrente. Vanclay (1994) cita que os modelos independentes da distância utilizam variáveis relacionadas somente ao tamanho das árvores individuais e os modelos dependentes da distância empregam, além do tamanho, a distância entre as árvores concorrentes para descrever, quantitativamente, a competição e o crescimento.

De acordo com Fritts (1976), para a modelagem de anéis de crescimento é necessário, primeiramente, ter-se confiabilidade das medições. E, para isto, o autor cita que se deve coletar os dados de campo de forma adequada, observando variáveis como, por exemplo, posição sociológica das árvores amostradas, inclinação do local, concorrência e tipos de perturbações ocorridas no local de amostragem. Durante a coleta de campo, deve-se garantir a replicação adequada dos dados com no mínimo dois rolos de incremento por árvore amostrada, e em seguida, após a coleta, assegurar a preparação dos rolos de incremento de forma adequada, garantir que cada largura de anel e valor climático sejam colocados em

uma sequência temporal apropriada, verificar a precisão das medidas dos anéis de crescimento pela remedição de uma amostra dos dados já coletados e, também, a heterogeneidade dos dados climáticos.

No Laboratório de Pesquisa em Anéis de Crescimento da Universidade do Arizona, em Tucson nos Estados Unidos, diz-se que as técnicas de ajuste de uma equação matemática nunca devem ser aplicadas cegamente, pois, anterior a isso deve-se traçar todos os dados de largura de anéis em função da idade das árvores para observar o comportamento das amostras. Esse comportamento deve ser analisado, pois a heterogeneidade dos dados é consequência de fatores do macroclima em nível de povoamento, e para árvores individuais é influenciada pelo vigor das árvores, concorrência e espaço vital disponível (FRITTS, 1976).

Os modelos para árvores individuais estimam o crescimento em função de um determinado período de tempo, tendo como variáveis preditoras o tamanho, o vigor a idade e a concorrência, a qual é utilizada para medir a densidade ou a competição pelo espaço entre os indivíduos (TONINI, 2003).

Para prognosticar o crescimento volumétrico individual de *Eucalyptus dunnii* utilizando dados de um experimento de adubação, considerando a competição entre as árvores, Ferrari et al. (2005) utilizaram o método das regressões sucessivas modificado para a forma exponencial. Os autores relatam que para as espécies bem adaptadas, o modelo teve alta precisão e para espécies com decrepitude significativa, o modelo incluiu o valor da recíproca da variável sobrevivência.

Com o objetivo de estimar a probabilidade de sobrevivência de árvores individuais em florestas mistas de *Populus tremuloides*, *Picea glauca* e *Pinus contorta* var. *latifolia*, Yao et al. (2001) ajustaram um modelo logístico generalizado pelo método de verossimilhança combinado com o entendimento da variável mortalidade baseado nas seguintes variáveis preditoras: diâmetro à altura do peito, incremento anual em diâmetro, área basal do povoamento, composição de espécies e produtividade do local.

Palahí e Pukkala (2003) descrevem um sistema de simulação para otimização do manejo florestal de *Pinus sylvestris* na Espanha, onde utilizaram vários modelos baseados em árvores individuais, tais como: modelos de crescimento em diâmetro, modelo estático para estimar a altura, modelos para o limite do autodesbaste e a probabilidade de sobrevivência de uma árvore em um período futuro de 5 anos.

Esse sistema teve por objetivo encontrar o momento ideal e intensidade dos desbastes e dos cortes regenerativos a serem realizados na floresta.

No ajuste de um modelo de incremento em área basal para árvores individuais de povoamentos puros de *Pinus pinaster*, utilizando dados de 67 parcelas temporárias na Galícia (noroeste da Espanha), Schröder et al. (2002) concluíram que mais de 78% da variação do crescimento total foi explicada pelas variáveis: diâmetro à altura do peito com casca, diâmetro quadrático, um índice de competição independente da distância, raio da copa e a profundidade efetiva do solo. O índice de competição utilizado pelos autores pode ser observado na Figura 8, onde se nota uma grande variação do incremento anual em área basal em função do índice de BAL modificado.

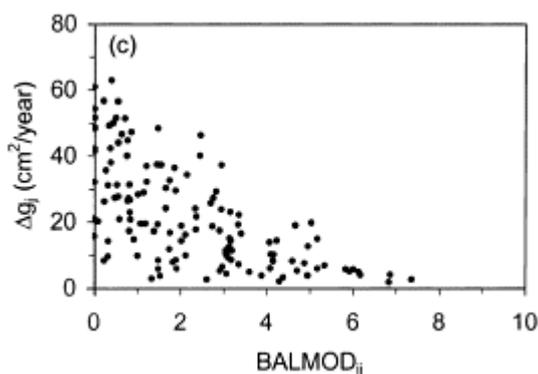


Figura 8 – Dispersão dos dados de incremento anual em área basal em relação ao índice de BAL modificado para árvores individuais de *Pinus pinaster* na Galícia.  
Fonte: Schröder et al. (2002).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Características da área de estudo

Os dados foram coletados em florestas nativas sob alta densidade, da Fazenda São Pedro pertencentes a Empresa Laminados AB, localizadas no município de Calmon (SC), e da Reserva Florestal EMBRAPA-EPAGRI no município de Caçador (SC), conforme a Figura 9.

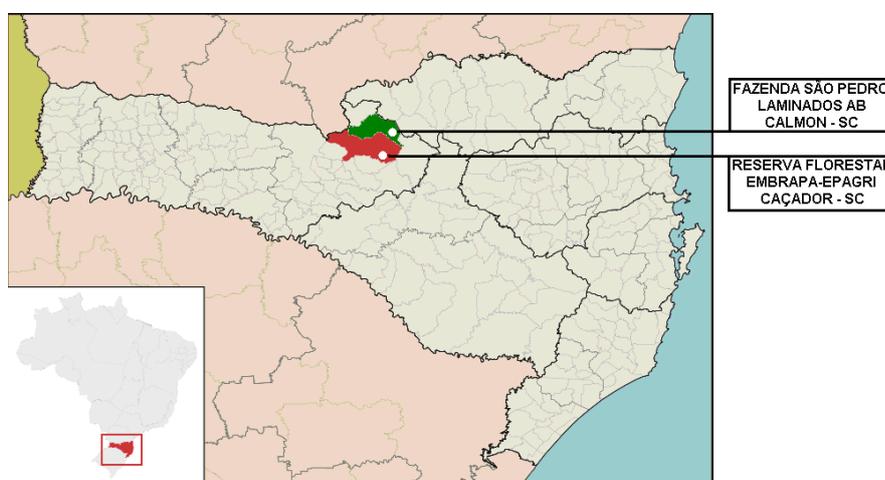


Figura 9 – Locais de coleta de dados para o estudo do incremento periódico percentual em área basal de *Ocotea porosa*.

Fonte: Adaptado de <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina>>, (2011).

No município de Calmon (SC) o clima é mesotérmico úmido com verão fresco e temperatura média de 15,1°C com altitude é de 1200 metros acima do nível do mar(SANTA CATARINA, 2012). No município de Caçador (SC) o clima é temperado com temperatura média entre 15°C e 25°C, tendo altitude de 920 metros acima do nível do mar (SANTA CATARINA, 2012).

O município de Caçador está localizado no Planalto Ocidental Catarinense e faz divisa ao norte com a cidade Calmon (THOMÉ, 1978). Conforme Potter et al. (2004), os locais de coleta dos dados pertencem a microrregião Colonial do Rio do Peixe, próximo a microrregião do Planalto de Canoinhas, onde predominam os solos Cambissolos. Conforme Moreno (1961), os cambissolos são solos profundos, moderadamente drenados, ácidos e com baixa saturação de bases.

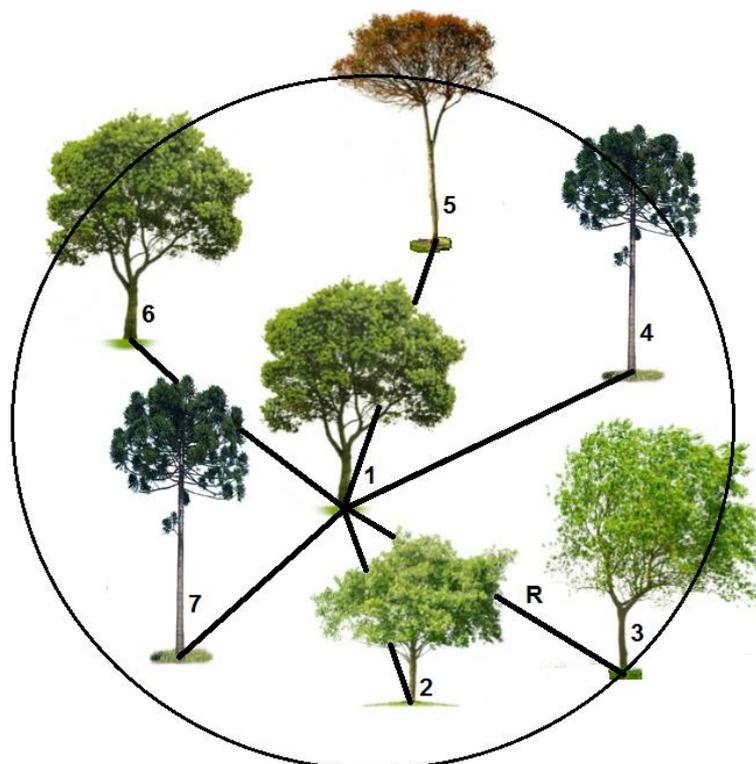
A vegetação nos locais de coleta pertence a tipologia Floresta Ombrófila Mista, sendo as principais espécies encontradas *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa*, além de outras canelas. De acordo com Rosot et al. (2007) a espécie predominante na Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI é *Araucaria angustifolia* ocorrendo também *Cupania vernalis*, *Ocotea porosa*, *Capsicodendron dinisii*, *Prunus brasiliensis*, *Ocotea pulchella*, *Clethra scabra*, *Matayba elaeagnoides*, *Ocotea puberula* e *Sebastiania commersoniana*.

### 3.2 Coleta de dados

As 124 unidades amostrais correspondentes às árvores individuais de *Ocotea porosa* foram inventariadas por censo em florestas nativas dos municípios de Calmon e Caçador, em Santa Catarina. Juntamente das 124 árvores individuais de *Ocotea porosa* foram amostrados os indivíduos que concorriam com a mesma e que estavam em seu entorno, os quais foram escolhidos baseando-se na maior proximidade da *Ocotea porosa* e selecionando aqueles cujas copas encobriam ou tocavam a mesma.

Assim, as árvores concorrentes de cada árvore individual de *Ocotea porosa* constituíram uma parcela circular de área variável onde a seleção das mesmas, em outras palavras, foi realizada baseando-se em sua posição sociológica em relação à árvore individual central observando se as suas copas encobriam ou tocavam a árvore concorrida. Assim, não teve um número fixo de árvores concorrentes em cada unidade amostral devido à densidade pontual em cada árvore individual de *Ocotea porosa* (centro da parcela) (Figura 10).

A amplitude mínima de dap pretendida na amostragem foi de 10 cm, sendo que a campo foram encontradas dimensões máximas de 86,9 cm e 105 cm de dap para apenas duas árvores. Por isso, para a distribuição de frequência foram consideradas dimensões de dap de 10 cm a 80 cm, totalizando 124 árvores individuais distribuídas entre sete classes com intervalo de 10 cm cada classe.



1 – *Ocotea porosa* (concorrida); 2, 3, 4, 5, 6, 7 – concorrentes; R – raio entre a árvore central e a árvore concorrente em metros.

Figura 10 – Esquema representativo de uma parcela da amostragem de árvores individuais de *Ocotea porosa* e suas vizinhas.

### 3.2.1 Variáveis mensuradas nas árvores concorridas

Em cada árvore central da unidade amostral foram tomadas as seguintes variáveis, que também podem ser visualizadas no Apêndice A:

- Local de coleta: estratificado por município: Calmon ou Caçador;
- Sub local de coleta: estratificado dentro de cada local (município) de coleta utilizando características próprias do ponto em que cada árvore individual se encontrava, como proximidade de talhões ou de parcelas permanentes de inventário florestal contínuo. A proximidade de talhões ou de parcelas permanentes significa que próximo às florestas nativas com imbuia haviam talhões de florestas plantadas do gênero *Pinus* e parcelas permanentes de inventário florestal contínuo cuja numeração foi utilizada para indicar alguns pontos onde estavam as imbuias, melhorando a orientação no campo.

- Número da árvore: cada árvore individual de *Ocotea porosa* (centro da parcela) foi identificada com tinta spray por um número de 1 a 124, sendo também marcadas as suas coordenadas geográficas com o auxílio de GPS Garmin Map 76 CSX ;
  
- Circunferência à altura do peito: medida em centímetros a 1,30 m do solo com fita métrica, sendo calculado em seguida o diâmetro à altura do peito em centímetros;
  
- Espessura simples de casca: retirada das árvores com o auxílio do trado de Pressler e medida em milímetros, no mesmo momento em que foram mensurados os anéis de crescimento no Laboratório de Crescimento e Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFSM, com o auxílio do sistema LINTAB. Para obter a média da espessura simples de casca foi calculada a média aritmética entre as duas amostras de casca dos dois rolos de incremento de cada árvore amostrada;
  
- Diâmetro à altura do peito sem casca: calculado em centímetros pela diferença entre o diâmetro à altura do peito com casca e a espessura dupla de casca;
  
- Área basal: calculada em metros quadrados desconsiderando a área de casca;
  
- Altura total: medida em metros com hipsômetro Vertex III;
  
- Altura comercial: o limite da altura comercial foi considerado em relação ao possível aproveitamento da madeira para diversos fins, sendo que muitas vezes foi medido acima da bifurcação, pois a mesma resultava em toras de boa qualidade. A variável foi medida em metros com hipsômetro Vertex III;
  
- Altura de inserção da copa: medida em metros desde o solo até a altura das folhas como base da copa com hipsômetro Vertex III;
  
- Comprimento de copa: calculado pela diferença entre a altura total da árvore e a altura de copa em metros;

- Raios de copa: medidos em metros, em número de oito raios, com o auxílio do hipsômetro Vertex III (função DME) e bússola para orientar nas direções Norte, Noroeste, Oeste, Sudoeste, Sul, Sudeste, Leste e Nordeste, conforme a Figura 11;

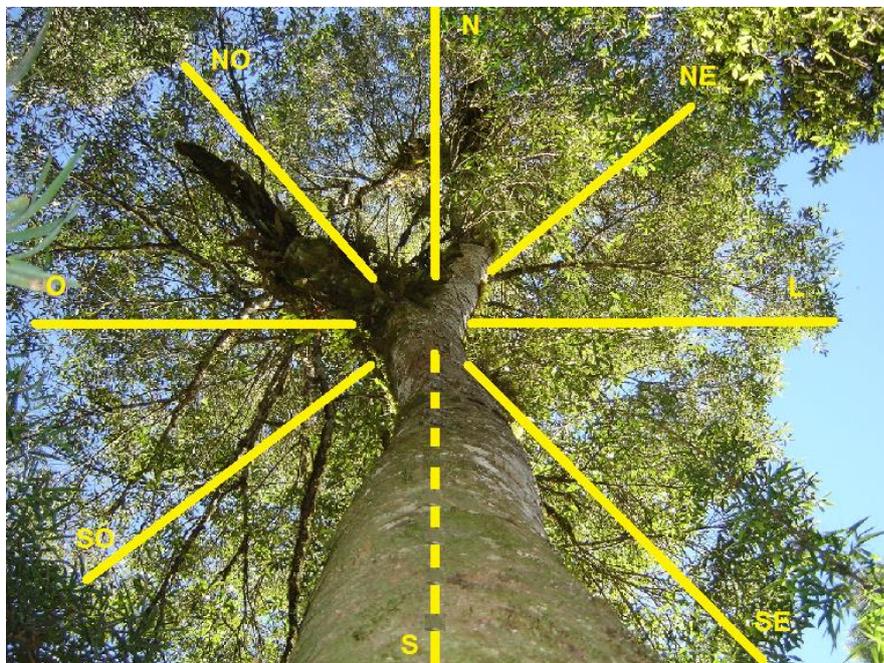


Figura 11 – Esquema representativo da medição dos raios de copa na direção dos pontos cardeais para uma árvore individual de *Ocotea porosa*.

Fonte: O autor.

- Área de copa: calculada em metros quadrados pelo produto entre o quadrado do raio médio de copa e  $\pi$  (3,14);

- Número de árvores por hectare: calculado em relação a área da copa de cada árvore individual, ou seja, pela razão entre um hectare e a área da copa;

- Porcentagem de copa: foi calculada em metros pela razão entre as variáveis comprimento de copa e altura total da árvore amostrada;

- Índice de abrangência: calculado pela razão entre o diâmetro de copa e a altura da árvore;

- Índice de saliência: calculado pela razão entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito da árvore;

- Formal de copa: calculado pela razão entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa;
- Relação h/d: calculada pela razão entre altura total da árvore e seu diâmetro à altura do peito;
- Vitalidade da copa: para avaliar a vitalidade foi observada a quantidade de folhas verdes e distribuição destas na copa das árvores bem como a sua sanidade. Assim, foram classificadas em: (1) vitalidade alta com maior densidade de folhas verdes saudáveis e bem distribuídas na copa (Figura 12), (2) vitalidade média com média densidade de folhas verdes saudáveis medianamente distribuídas na copa (Figura 13) e (3) vitalidade baixa apresentando menor quantidade de folhas verdes saudáveis e mal distribuídas na copa (Figura 14).

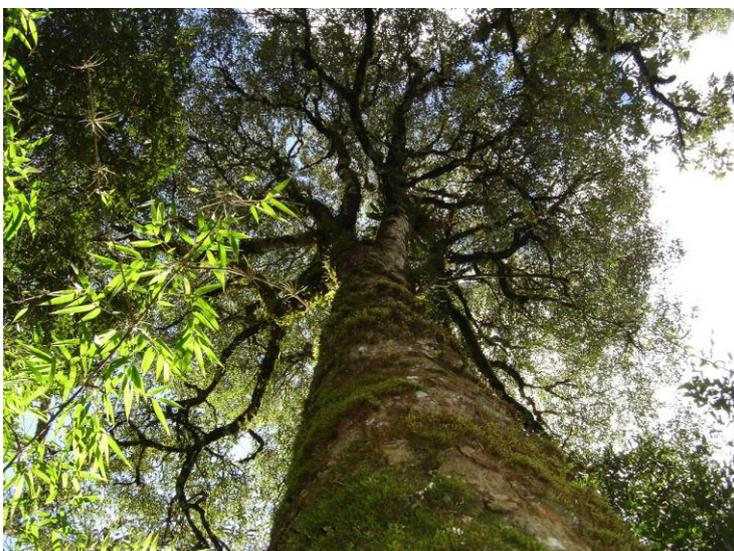


Figura 12 – Imagem e esquema representativo da variável vitalidade de copa (1) classificada para árvores individuais de *Ocotea porosa*.

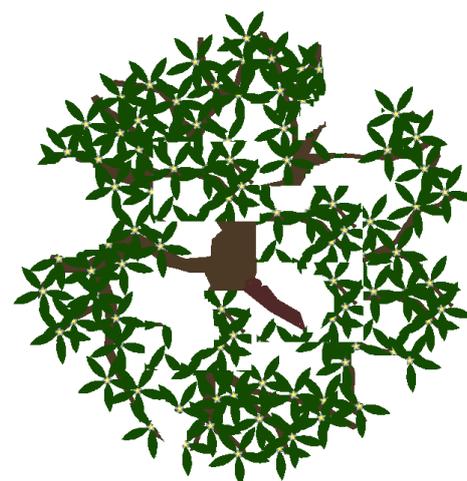


Figura 13 – Imagem e esquema representativo da variável vitalidade de copa (2) classificada para árvores individuais de *Ocotea porosa*.



Figura 14 – Imagem e esquema representativo da variável vitalidade de copa (3) classificada para árvores individuais de *Ocotea porosa*.

- Distribuição dos galhos: para avaliar a disposição dos galhos considerou-se os quatro quadrantes e a homogeneidade das folhas nos mesmos. Assim, foram classificadas em: (1) copa bem distribuída nos quatro quadrantes, (2) copa distribuída em três quadrantes e (3) copa distribuída em dois ou um quadrante;

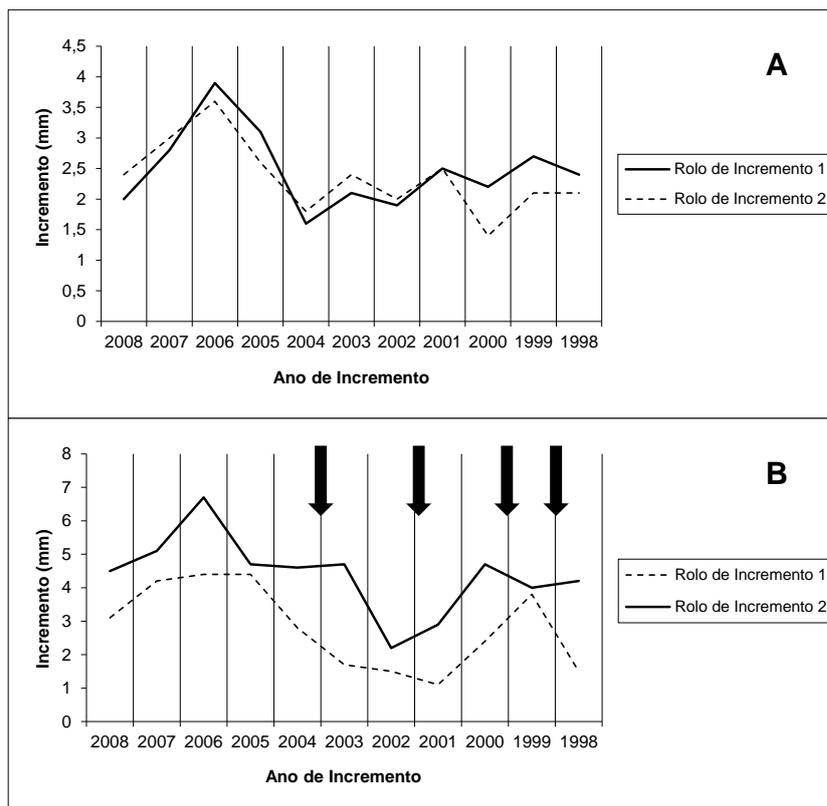
- Qualidade do fuste: para avaliar essa variável foi observada a classificação realizada por IBDF (1978) em relação a sua vitalidade ou sanidade, sua forma e seu possível aproveitamento, sendo classificadas em: (1) fuste cilíndrico e sem defeitos, madeira de alta qualidade, (2) fuste levemente tortuoso e com algum defeito, madeira de qualidade regular, (3) fuste com tortuosidade acentuada e com defeitos visíveis, madeira de qualidade regular e aproveitamento restrito, e (4) fuste inaproveitável;
- Posição sociológica: a avaliação dessa variável considerou o estrato em que a árvore se encontrava na floresta e sua exposição em relação à luz solar. Assim, classificou-se em: (1) árvore dominante do estrato superior com boa exposição solar, (2) árvore codominante do estrato médio com média exposição solar, (3) árvore dominada ou suprimida do estrato inferior com má exposição solar;
- Exposição do terreno: a avaliação dessa variável considerou a declividade do terreno em relação aos quatro pontos cardeais (1) norte, (2) sul, (3) leste, (4) oeste;
- Incremento periódico anual percentual em área basal: foi calculado considerando os últimos três anéis de crescimento ao nível do dap, pela seguinte fórmula:

$$IPAg(\%) = \frac{\left( \frac{g_{2009} - g_{2006}}{g_{2006}} \right) * 100}{3}$$

Onde: IPAg(%) = incremento periódico anual percentual em área basal;  $g_{2006}$  = área basal em  $\text{cm}^2$  no ano de 2006;  $g_{2009}$  = área basal em  $\text{cm}^2$  no ano de 2009.

A medição dos anéis de crescimento sobre o rolo de incremento foi realizada no Laboratório de Crescimento e Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFSM com o auxílio do sistema LINTAB.

Para a medição da variável IPAg foram coletados, com o auxílio do trado de Pressler, dois rolos de incremento com um ângulo de  $90^\circ$  entre eles para auxiliar na detecção de possíveis anéis de crescimento não verdadeiros pela simples conferência gráfica da datação cruzada entre o incremento dos anéis de cada rolo amostrado, conforme mostra a Figura 15.



A – Anéis de crescimento sincronizados da *Ocotea porosa* de número 15. B – Anéis de crescimento não sincronizados da *Ocotea porosa* de número 46.

Figura 15 – Exemplo explicativo de datação cruzada de anéis de crescimento evidenciando as características em cada ano.

Após a datação cruzada foi calculada a média aritmética entre as larguras dos anéis de crescimento dos dois rolos de incremento amostrados para cada árvore individual de *Ocotea porosa* obtendo o valor do incremento absoluto em diâmetro e conseqüentemente em área basal para calcular o incremento percentual.

O incremento foi calculado considerando somente os últimos três anos, pois foi necessário relacioná-lo com as dimensões dendrométricas e morfométricas atuais, sendo inviável relacioná-lo com incrementos que ocorreram a mais de três anos.

O crescimento em diâmetro para árvores individuais pode ser expresso como incremento em diâmetro ou incremento em área basal (VANCLAY, 1994) e por isso, o presente trabalho utilizou incremento ao invés de crescimento, e também pela facilidade e rapidez na coleta e análise de dados.

### 3.2.2 Variáveis mensuradas nas árvores concorrentes

As variáveis coletadas em cada uma das árvores competidoras podem ser observadas no Apêndice B, sendo detalhadas a seguir.

- Número da árvore: em um giro, observando tanto as copas como a distância entre a árvore concorrida e concorrente da amostra, eram identificadas de forma ordinal cada uma das competidoras, as quais eram demarcadas com uma trilha e com um número;
- Espécie: cada uma das competidoras foi identificada a campo pela sua filotaxia, odor das folhas maceradas e da madeira; e aquelas não identificadas foram coletadas e acondicionadas em jornal e prensa de madeira para posterior identificação na universidade. Também foram fotografadas aquelas as quais a coleta do material foi dificultada pela altura das árvores ou pela não identificação a campo;
- Altura total: medida em metros com o auxílio do hipsômetro Vertex III;
- Circunferência à altura do peito: medida em centímetros com o auxílio de fita métrica e em seguida transformada em diâmetro à altura do peito;
- Distância: medida em metros com o auxílio da função DME do hipsômetro Vertex III entre cada árvore competidora e a concorrida, centro da unidade amostral.

As variáveis de competição horizontal foram calculadas entre a árvore central (árvore objeto ou árvore concorrida ou árvore que sofre concorrência) e as árvores vizinhas mais próximas dentro de cada parcela. Essa concorrência foi medida por índices independentes da distância entre a árvore central e as vizinhas (Índice de BAL, Índices de Glover e Hool baseados na altura e no diâmetro, Índices de Tomé e Burkhardt baseados no diâmetro médio e no diâmetro máximo e Índice de Lorimer), por um índice dependente da distância (Índice de Hegyi) e por um índice de padrão espacial (Índice de Clark e Evans). Os respectivos índices foram calculados para cada *Ocotea porosa* da seguinte forma:

- Índice de BAL (Basal Area Larger): consiste na soma das áreas basais das árvores com maior diâmetro que a árvore central (STAGE, 1973). Assim, quanto maior o valor do índice de BAL maior a competição sofrida pela árvore central, sendo o mesmo calculado da seguinte forma:

$$IBAL = \sum_{j=1}^{n_j} g_j$$

Onde:  $n_j$  = número de árvores concorrentes com diâmetro à altura do peito maior que a árvore concorrida;  $g_j$  = área basal em metros quadrados das árvores concorrentes;  $n_j$  = número de árvores concorrentes.

- Índice de Glover e Hool baseado na altura: calculado pela razão entre a altura da árvore central da amostra e a altura média das árvores concorrentes (GLOVER e HOOL, 1979), conforme a seguinte fórmula:

$$IGHH = \frac{h_i}{\bar{h}_j}$$

Onde:  $h_i$  = altura total da árvore concorrida em metros;  $\bar{h}_j$  = altura total média das árvores concorrentes em metros.

Os menores valores encontrados pelo índice de Glover e Hool baseado na altura indicam maior grau de competição sofrida pela árvore central (que sofre concorrência).

- Índice de Glover e Hool baseado no diâmetro: calculado pela razão entre o diâmetro quadrático da árvore central e o diâmetro médio quadrático das árvores concorrentes (GLOVER e HOOL, 1979), conforme a seguinte fórmula:

$$IGHD = \frac{d_i^2}{\bar{d}_j^2}$$

Onde:  $d_i$  = diâmetro à altura do peito da árvore concorrida em centímetros;  $\bar{d}_j$  = diâmetro à altura do peito médio das árvores concorrentes em centímetros.

O índice de Glover e Hool calculado baseado no diâmetro das árvores concorrida e concorrente também possui o mesmo comportamento descrito no

índice anterior, onde o maior grau de competição é expresso por menores valores encontrados para o índice.

- Índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro médio: calculado pela seguinte fórmula (TOMÉ e BURKHART, 1989):

$$ITB1 = \frac{d_i}{\bar{d}_j^2}$$

Onde:  $d_i$  = diâmetro à altura do peito da árvore concorrida em centímetros;  $\bar{d}_j^2$  = diâmetro à altura do peito médio quadrático das árvores concorrentes em centímetros;

O comportamento desse índice revela que quanto maior o seu valor, menor será a competição entre a árvore central e as concorrentes.

- Índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro máximo: calculado pela seguinte fórmula (TOMÉ e BURKHART, 1989):

$$ITB2 = \frac{d_i}{d_{máx}^2}$$

Onde:  $d_i$  = diâmetro à altura do peito da árvore concorrida em centímetros;  $d_{máx}$  = diâmetro à altura do peito máximo das árvores concorrentes em centímetros.

Os altos valores resultantes do cálculo do Índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro máximo das árvores concorrentes revelam um menor grau de competição, assim como no índice anterior baseado no diâmetro médio das concorrentes.

- Índice de Lorimer: calculado pela seguinte fórmula (LORIMER, 1983):

$$IL = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{d_j}{d_i}$$

Onde:  $d_i$  = diâmetro à altura do peito da árvore concorrida em centímetros;  $d_j$  = diâmetro à altura do peito da árvore concorrente em centímetros;  $n_j$  = número de árvores concorrentes.

O Índice de Lorimer é diretamente proporcional à competição entre as árvores central e as concorrentes, ou seja, quanto maior o valor do índice maior o grau de competição sofrido pela árvore central.

- Índice Hegyi: calculado pelo somatório da razão entre o diâmetro das árvores concorrentes e da árvore central multiplicado pelo inverso da distância entre a concorrente e a central (STERBA, 2006), conforme a seguinte fórmula:

$$IH = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{d_i}{d_j} * \frac{1}{R_{ij}}$$

Onde:  $d_i$  = diâmetro à altura do peito da árvore concorrida em centímetros;  $d_j$  = diâmetro à altura do peito das árvores concorrentes em centímetros;  $R_{ij}$  = distância entre a árvore concorrida e as concorrentes em centímetros;  $n_j$  = número de árvores concorrentes.

Como o Índice de Hegyi é ponderado pela distância entre a árvore central e as suas concorrentes, os vizinhos mais próximos possuem um maior peso no cálculo da competição. Assim, quanto maiores os valores encontrados para esse índice, maior a competição sofrida pela árvore central.

- Índice de Clark e Evans: mede a distância média entre a árvore central e os vizinhos mais próximos sendo calculado pela seguinte fórmula:

$$ICE = 2 * \bar{r} * \sqrt{P}$$

Onde:  $\bar{r}$  = distância média entre a árvore central e as concorrentes mais próximas;  $P$  = número de árvores por unidade de área.

O índice de Clark e Evans pode ser interpretado da seguinte forma: quando o valor calculado for maior que um, o padrão espacial é uniforme, e quando o valor calculado for menor que um, o padrão espacial é agrupado, ou seja, a competição é maior (BIGING e DOBERTIN, 1995).

O índice descreve a heterogeneidade espacial das árvores dentro do povoamento pela estimativa de quanto elas desviam, em média, do padrão aleatório. Capretz (2004) cita que o padrão espacial das árvores pode ser influenciado, dentre inúmeras variáveis, pelos processos dependentes da densidade, como a competição intraespecífica e interespecífica.

### 3.3 Caracterização das árvores e variáveis amostradas

Para iniciar a caracterização das árvores individuais de *Ocotea porosa* observou-se visualmente, a campo, a capacidade de rebrota da espécie, característica relevante para o manejo florestal. Em seguida, foram estabelecidos os valores:

- Número de árvores amostradas por classe diamétrica: foram estabelecidas 7 classes de diâmetro para caracterizar a distribuição de frequência das árvores individuais amostradas de *Ocotea porosa* a fim de quantificar o número de indivíduos de diferentes tamanhos da espécie dentro da floresta e, principalmente, o seu incremento periódico anual em área basal. Vale lembrar que, neste trabalho, não se tratou de distribuição de frequência observada para todos os indivíduos da floresta, como a distribuição exponencial, frequentemente encontrada em florestas nativas, porque a espécie objetivo deste estudo foi somente a *Ocotea porosa*. Assim, a distribuição de frequência por classe diamétrica aqui apresentada refere-se às árvores individuais de *Ocotea porosa* na floresta.

- Média e moda por classe diamétrica: foram calculadas as médias aritméticas para todas as variáveis aleatórias contínuas dendrométricas, morfométricas e de competição, para cada uma das sete classes diamétricas estabelecidas. E para as variáveis aleatórias discretas, foi calculada a moda a fim de relacionar e explicar o comportamento médio do incremento periódico anual em área basal.

- Incremento corrente anual em diâmetro máximo e mínimo: com o objetivo de demonstrar uma segunda forma de visualização do crescimento da *Ocotea porosa*, foi calculado o incremento corrente anual em diâmetro, máximo e mínimo, ocorrido dentro do período de 2001 até 2009, para cada classe de diâmetro, conforme a seguinte fórmula:

$$ICA_d = dap_{t+1} - dap_t$$

Onde:  $ICA_d$  = incremento corrente anual em diâmetro, em cm;  $dap_{t+1}$  = diâmetro à altura do peito do ano anterior, em cm;  $dap_t$  = diâmetro à altura do peito do ano considerado, em cm.

- Crescimento diamétrico médio acumulado: para observar o comportamento do crescimento em diâmetro em um período maior do que três anos, o mesmo foi plotado em gráficos separados por classe diamétrica.

### 3.4 Análise estatística

#### 3.4.1 Análise de correlação

A primeira análise estatística realizada foi a análise de correlação de Pearson pelo procedimento PROC CORR com o auxílio do pacote estatístico SAS v. 9.1 (SAS Institute, Inc. 2004), pois o conhecimento da correlação entre variáveis é de suma importância para se determinar uma equação de regressão (SCHNEIDER, 1998). A análise de correlação de Pearson foi realizada entre o incremento periódico percentual anual em área basal e todas as variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição, para verificar a relação linear simples entre elas explicada pela equação da reta, que foi calculada pela seguinte expressão (LIRA, 2004):

$$r = \frac{\text{cov}(X, Y)}{S_x \cdot S_y} \quad \text{em que,} \quad \text{cov}(X, Y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

Onde: r = coeficiente de correlação linear de Pearson; cov(X,Y) = covariância entre X e Y; X = variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição; S<sub>x</sub> = desvio padrão da variável X; S<sub>y</sub> = desvio padrão da variável Y;  $\bar{x}$  = média da variável X;  $\bar{y}$  = média da variável Y; n = número de observações.

#### 3.4.2 Regressão linear e regressão não linear

Com o objetivo de selecionar uma equação para estimar a variável dendrométrica altura em função do diâmetro à altura do peito e a variável diâmetro de copa, também em função do diâmetro à altura do peito, foram testados os modelos apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Equações testadas para estimar a altura em função do diâmetro à altura do peito, para árvores individuais de *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

<b>Equação</b>	<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>
1	$h = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot d$	Gramm
2	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d} + b_2 \cdot \frac{1}{d^2}$	-
3	$h = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2$	Trorey
4	$h = b_0 \cdot (1 - e^{-b_1 \cdot d})$	Chapman Richards Modificado
5	$h = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln^2 d$	Backman Modificado
6	$h = b_0 + b_1 \cdot \ln d$	Henricksen
7	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d}$	Curtis
8	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln d$	Stofells

Para o processamento dos dados e obtenção das estatísticas de cada modelo foi utilizado o procedimento PROC REG para as equações lineares, e o procedimento PROC NLIN para a equação de Chapman Richards.

A Tabela 2 apresenta as equações testadas para selecionar um modelo de melhor ajuste para a variável morfométrica diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito.

Tabela 2 – Equações testadas para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito, para árvores individuais de *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

Equação	Modelo	Autor
1	$dc = b_0 + b_1.d$	Longhi (1980)
2	$dc = b_0 + b_1.d^2$	Nutto et al. (2001)
3	$\ln dc = b_0 + b_1.d$	Orellana e Koehler (2008)
4	$\ln dc = b_0 + b_1.\ln d$	Durlo (2001)
5	$\sqrt{dc} = b_0 + b_1.d$	-

Primeiramente foram testadas as equações para todo o conjunto de dados, prezando o melhor ajuste dos dados e menor erro. Na seleção dos modelos de regressão foram consideradas as estatísticas coeficiente de variação, coeficiente de determinação ajustado, valor de F e distribuição dos resíduos. O coeficiente de variação e de determinação ajustado, foram calculados da seguinte maneira:

$$CV = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} * 100 \quad e \quad R_{aj}^2 = R^2 - \left[ \frac{K-1}{N-K} \right] * (1 - R^2)$$

Onde:  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa absoluto;  $\bar{Y}$  = média aritmética da variável dependente; K = número de variáveis independentes da equação; N = número de observações;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

Após o ajuste dos modelos de regressão para todo o conjunto de dados foi realizada a análise de covariância pelo procedimento PROC GLM, a qual tem como base dois testes de hipótese. O primeiro teste de hipótese foi para verificar se ocorreu diferença significativa de inclinação entre as regressões para as diferentes vitalidades da copa, distribuição de galhos, qualidade do fuste, posição sociológica e exposição do terreno, verificada pelo teste de hipótese “t”.

O segundo teste foi feito para verificar a diferença significativa de níveis, também pelo teste “t”, entre as regressões considerando as mesmas variáveis discretas usadas no primeiro. Para essa análise foi utilizado o melhor modelo linear

selecionado dentre os apresentados nas Tabelas 1 e 2, e para verificar a significância estatística do efeito das variáveis discretas, em nível de 5% de probabilidade de erro, foi considerado o erro Tipo III no teste de hipótese de “F”.

### 3.4.3 Condicionantes de regressão

Determinados os modelos para todo o conjunto de dados, em seguida foram analisadas as condicionantes da regressão, pois uma equação de regressão linear múltipla somente será válida se os dados coletados tiverem homogeneidade de variância, distribuição normal e independência dos erros. Para calcular a homogeneidade dos dados foi utilizado o Teste de White, para testar a normalidade dos dados foi usado o Teste de Shapiro-Wilk e para a prova da independência dos erros foi empregado o Teste de Durbin-Watson, descritos logo em seguida (SCHNEIDER et al. 2009).

- Teste de White (LM): esse teste segue uma distribuição  $\chi^2$  para  $k - 1$  graus de liberdade, sendo  $k$  o número de parâmetros exceto o termo constante. É obtido pela seguinte expressão:

$$LM = N * R^2$$

Onde:  $N$  = tamanho da amostra;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

- Teste de Shapiro-Wilk (SW): testa a hipótese da amostra seguir a distribuição normal pela seguinte fórmula:

$$SW = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Onde:  $x_i$  = estatística de  $i$ -ésimo número – menor número da amostra;  $\bar{x}$  = média da amostra;  $a_i = m^T V^{-1} / (m^T V^{-1} m)^{1/2}$ , sendo  $m$  = valores esperados das estatísticas de ordem da independente e idêntica-distribuição das variáveis aleatórias para uma distribuição normal padrão,  $V$  = matriz de covariância desta ordem estatística.

- Teste Durbin-Watson (DW): procedimento que determina se os  $E_i$  (erro estocástico) estavam correlacionados em série pelo cálculo do valor de  $d$ , comparando posteriormente com valores críticos tabelados podendo concluir que: (a) quando  $d < dl$  e  $d > 4-dl$  – o  $d$  é significativo havendo correlação em série; (b) quando  $du < d < 4-du$

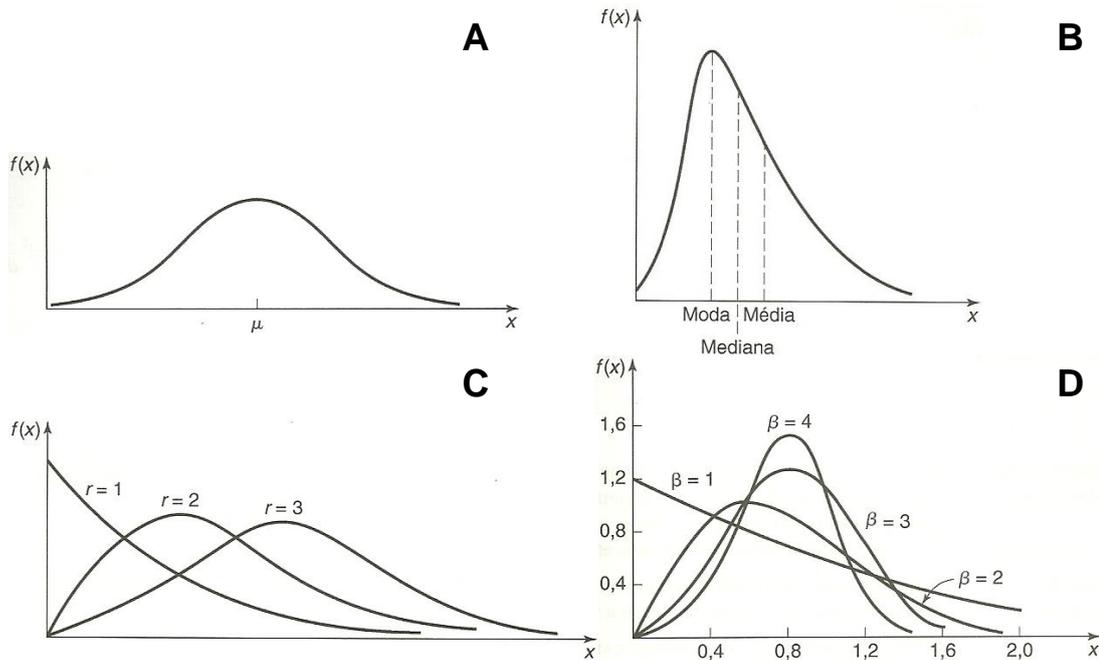
$du$  – o  $d$  não é significativo havendo independência dos erros. O cálculo do valor de  $d$  foi realizado da seguinte maneira:

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

Onde:  $E_i$  = erro estocástico ou perturbação da regressão.

#### 3.4.4 Funções de densidade probabilística testadas

Para a realização da modelagem linear generalizada da variável incremento periódico anual percentual em área basal em função das variáveis de maior correlação, primeiramente foi verificado a distribuição probabilística a que os dados observados de incremento se ajustavam pelo procedimento PROC CAPABILITY. Porém, anteriormente a isso, a assimetria da distribuição dos dados foi observada de forma preliminar, para em seguida selecionar as distribuições probabilísticas que mais se adequavam aos dados. As funções de densidade de probabilidade testadas para a variável incremento periódico anual percentual em área basal foram a Normal, Lognormal, Gama e Weibull, as quais foram brevemente descritas, conforme Hines et al. (2006), nos itens seguintes e ilustradas na Figura 16A, 16B, 16C e 16D, respectivamente.



A – Distribuição normal; B – Distribuição lognormal; C – Distribuição gama para  $\lambda=1$ ; D – Densidades de Weibull para  $\gamma=0$ ,  $\delta=1$  e  $\beta=1, 2, 3, 4$ .

Figura 16 – Comportamento gráfico das funções de densidade de probabilidade teóricas Normal, Lognormal, Gama e Weibull.

Fonte: Hines et al., 2006.

a) **Distribuição Normal:** uma variável aleatória  $X$  segue a distribuição normal com média  $\mu$  ( $-\infty \leq \mu \leq +\infty$ ) e variância  $\sigma > 0$  se possui a função de densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^2}, \quad -\infty < x < \infty.$$

A distribuição normal geralmente segue padrões de florestas equiâneas, porém foi testada neste trabalho com o intuito de verificar estatisticamente, se realmente não havia aderência dos dados de incremento periódico anual percentual em área basal a presente distribuição. Somente assim, pode-se afirmar que a modelagem deve ser realizada por modelos lineares generalizados e não, simplesmente, por modelos lineares (SCHNEIDER et al., 2009).

b) **Distribuição Lognormal:** uma variável aleatória  $X$  segue a distribuição lognormal, com espaço imagem  $R_x = \{x: 0 < x < \infty\}$ , onde  $Y = \ln X$  é distribuída normalmente, com média  $\mu_y$  e variância  $\sigma_y^2$ , caso tenha a seguinte função de densidade probabilística:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-(1/2)[(\ln x - \mu_y)/\sigma_y]^2}, \quad x > 0$$

c) Distribuição Gama: para determinarmos a distribuição gama devemos considerar a função gama, definida por:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx \quad \text{para } n > 0.$$

Com a função gama podemos definir a função de densidade de probabilidade gama por:

$$f(x) = \frac{\lambda}{\Gamma(x)} (\lambda x)^{r-1} e^{-\lambda x}, \quad x > 0$$

Os parâmetros dessa função são  $r > 0$  e  $\lambda > 0$ , onde  $r$  geralmente é chamado de parâmetro de forma e  $\lambda$  de parâmetro de escala, sendo que, quando  $r = 1$  a distribuição gama se reduz à distribuição exponencial.

d) Distribuição Weibull: a presente distribuição é aplicada a vários fenômenos aleatórios e fornece uma excelente aproximação à lei da probabilidade de inúmeras variáveis aleatórias. Seus parâmetros são  $\gamma$  ( $-\infty < \gamma < \infty$ ), o parâmetro de localização;  $\delta > 0$ , o parâmetro de escala; e  $\beta > 0$ , o parâmetro de forma. A sua função de densidade de probabilidade é:

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \left( \frac{x - \gamma}{\delta} \right)^{\beta-1} e^{-\left[ \left( \frac{x - \gamma}{\delta} \right)^\beta \right]}, \quad x \geq \gamma$$

#### 3.4.5 Testes de aderência

Para verificar o grau de ajustamento entre a distribuição observada dos dados de incremento periódico em área basal e as distribuições teóricas comentadas anteriormente, a fim de selecionar a distribuição de melhor ajuste, foram utilizados os seguintes testes de aderência, conforme Schneider et al. (2009):

- Teste de Kolmogorov-Smirnov (D): o teste calcula a razão entre a diferença máxima absoluta das frequências observadas e esperadas e o mínimo de observações da variável incremento periódico anual em área basal, a qual é comparada com o valor tabelado de Kolmogorov-Smirnov. O valor de D foi calculado da seguinte maneira:

$$D = \frac{d_{\max}}{N}$$

Onde:  $d_{\max}$  = máxima diferença absoluta entre as frequências observadas e esperadas da variável incremento periódico anual em área basal;  $N$  = número de observações da variável incremento periódico anual em área basal.

- Teste de Cramér-von-Mises (W-Sq): o teste calcula uma distância mínima que em seguida foi utilizada para verificar o grau de concordância entre uma distribuição de probabilidade empírica observada e uma distribuição teórica para os dados de incremento periódico anual em área basal. Essa distância foi calculada da seguinte forma:

$$W^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [F(x) - F^*(x)]^2 dF(x)$$

Onde:  $F(x)$  = distribuição de probabilidade de frequência teórica;  $F^*(x)$  = distribuição de probabilidade empírica observada.

O valor calculado da distância mínima foi comparado com o valor tabelado para verificar a aderência dos dados de incremento periódico em área basal à uma distribuição teórica.

#### 3.4.6 Modelagem Linear Generalizada

Os Modelos Lineares Generalizados foram propostos por Nelder e Wedderburn (1972) e consistem em uma extensão dos modelos normais lineares. Estudos mais aprofundados sobre Modelos Lineares Generalizados podem ser encontrados em McCullagh e Nelder (1989) e Dobson (2002).

A modelagem dos dados de incremento periódico anual em área basal em função das variáveis independentes de maior poder explicativo foi realizada pelo método de máxima verossimilhança e pelo procedimento PROC GENMOD evidenciando, primeiramente, a distribuição a que os dados se ajustaram, definida

pelos testes de aderência anteriores, conjuntamente com a função de ligação. A metodologia utilizada para a modelagem linear generalizada foi baseada nas publicações de Akaike (1974), Turkman e Silva (2000) e Paula (2004).

Após determinada a distribuição probabilística adequada da variável resposta foram selecionadas, por gráficos de dispersão, possíveis variáveis que contribuíssem para um melhor ajuste dos dados de incremento a fim de obter um modelo pertinente e com um número reduzido de variáveis que interpretaram ao máximo a variância dos dados. As variáveis aleatórias discretas inseridas na modelagem como variáveis dummy foram utilizadas para atribuir um valor qualitativo às variáveis contínuas na equação de regressão do incremento periódico anual em área basal, sendo definidas da seguinte forma: Dummy 1 (D1) referente às árvores com vitalidade de copa 1; Dummy 2 (D2) referente às árvores com vitalidade de copa 2; Dummy 3 (D3) referente às árvores com vitalidade de copa 3.

Na sequência foi escolhida uma função de ligação que fosse compatível com a distribuição dos resíduos, e para isso considerou-se um intenso exame do comportamento dos dados, assim como a facilidade de interpretação do modelo. As funções de ligação testadas foram a Logarítmica e a Potência, descritas pelas seguintes expressões respectivamente:

$$\eta = \log \mu \qquad \eta = \mu^\lambda$$

Onde:  $\eta$  = função de ligação;  $\mu$  = variável incremento periódico anual percentual em área basal;  $\lambda$  = número real.

A estimativa dos parâmetros de regressão para o incremento periódico anual em área basal foi realizada pelo método de verossimilhança e a significância e ajustamento do modelo foram observadas pela função desvio do modelo, coeficiente de determinação ajustado, dispersão dos dados estimados em função dos dados observados, dispersão dos resíduos, valor do critério de informação de Akaike e valor do critério de informação Bayesiano. O teste de Wald foi utilizado como teste de hipótese para observar a significância dos parâmetros da equação. Esses testes foram calculados da seguinte forma:

- Função desvio (*deviance*): o termo desvio nos Modelos Lineares Generalizados é análogo ao termo Soma de Quadrados do Erro nos Modelos Lineares e refere-se à

distância entre o logaritmo da função de verossimilhança do modelo saturado e do modelo sob investigação avaliado na estimativa de máxima verossimilhança. Assim, um valor pequeno para o desvio significa que o ajuste é tanto melhor para um menor número de parâmetros do que o ajuste com o modelo saturado. A função desvio depende da distribuição dos dados observados de incremento e é expressa pela seguinte fórmula:

$$D^*(y; \hat{\mu}) = \phi D(y; \hat{\mu}) = 2\{L(y; y) - L(\hat{\mu}; y)\}$$

Onde:  $D$  = deviance;  $y$  = incremento periódico anual percentual em área basal observado;  $\hat{\mu}$  = incremento periódico anual percentual em área basal ajustado.

- Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ): indica o quanto a variável dependente pode ser explicada pelas variáveis independentes sendo que o termo ajustado refere-se ao número de coeficientes da regressão. O coeficiente de determinação ajustado para os modelos lineares generalizados foi calculado pela seguinte expressão:

$$R^2_{aj} = 1 - \left( \frac{Gle_{sv} * D_{cv}}{Gle_{cv} * D_{sv}} \right)$$

Onde:  $Gle_{sv}$  = graus de liberdade do desvio para o modelo sem variáveis independentes;  $Gle_{cv}$  = graus de liberdade do desvio para o modelo com variáveis independentes;  $D_{cv}$  = valor do desvio para o modelo com variáveis independentes;  $D_{sv}$  = valor do desvio para o modelo sem variáveis independentes.

- Critério de Informação de Akaike (AIC): esse critério, assim como o Bayesiano, avalia o viés da função suporte, o qual quanto menor melhor será o modelo de incremento periódico anual em área basal.

$$AIC = -2 \log L(\theta) + 2(p)$$

Onde:  $\theta$  = máxima verossimilhança;  $p$  = número de parâmetros a serem estimados no modelo.

- Critério de Informação Bayesiano (BIC):

$$BIC = -2 \log f(x_n | \theta) + p \log n$$

Onde:  $f(x_n | \theta)$  = modelo escolhido;  $p$  = número de parâmetros a serem estimados no modelo;  $n$  = número de observações da amostra.

- Teste de Wald (W): é um teste de hipótese para verificar a significância dos parâmetros estimados do modelo de regressão. A hipótese de nulidade foi rejeitada considerando um nível de significância  $\alpha = 0.05$ , quando o valor da estatística de Wald foi maior que o quartil de probabilidade  $1 - \alpha$  de um  $\chi^2_q$ . A estatística de Wald é representada pela seguinte expressão:

$$W = (C\hat{\beta} - \xi)^T [CI^{-1}(\hat{\beta})C^T]^{-1} (C\hat{\beta} - \xi)$$

Onde:  $C$  = matriz  $q \times p$  de característica completa  $q$ .  $\hat{\beta}$  = estimador de máxima verossimilhança de  $\beta$ .

- Distribuição dos resíduos de Pearson: os resíduos da variável incremento periódico anual percentual em área basal foram calculados e plotados em um gráfico para verificar a presença de heterogeneidade ou tendência dos valores estimados pela equação selecionada. Os resíduos foram calculados da seguinte forma:

$$\text{Resíduo de Pearson (\%)} = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i}$$

Onde:  $Y_i$  = incremento periódico anual percentual em área basal observado;  $\hat{Y}_i$  = incremento periódico anual percentual em área basal estimado.

A probabilidade de significância utilizada para os testes estatísticos foi de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização das árvores de *Ocotea porosa*

Durante a coleta dos dados observou-se várias características potenciais ecológicas e importantes para o manejo de florestas nativas, dos indivíduos de *Ocotea porosa*, sendo uma delas muito importante para a descrição ecológica da espécie. Essa característica refere-se à grande capacidade de rebrota que a espécie apresentou em alguns locais onde foram coletados os dados, principalmente, devido a cortes e incêndios que ocorreram no passado como mostram as imagens na Figura 17.

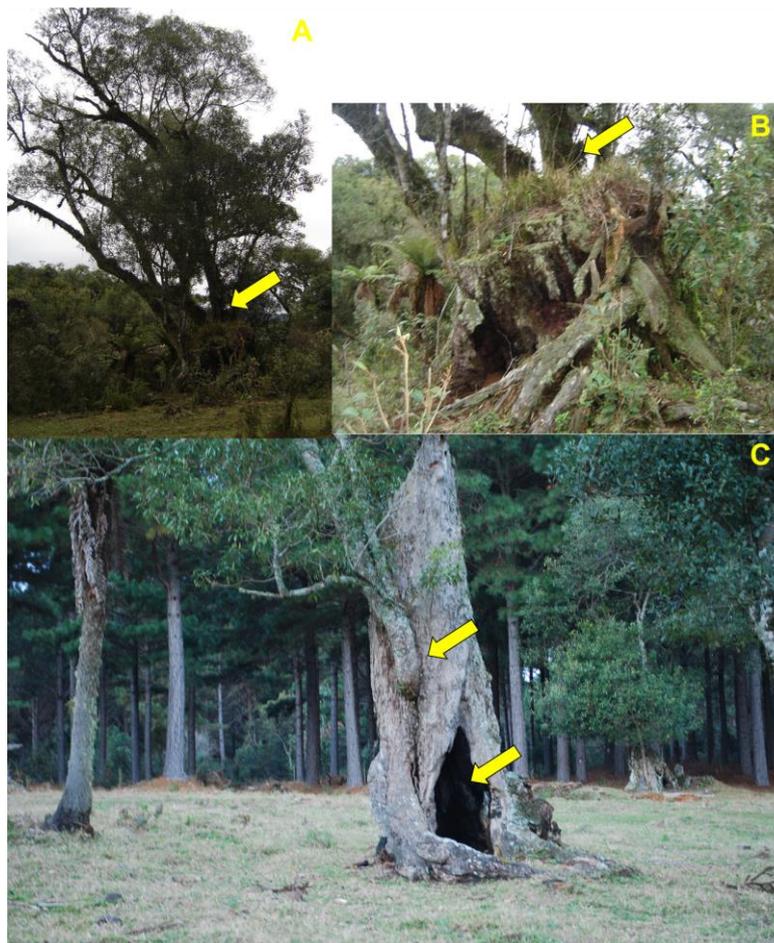


Figura 17 – Rebrota de *Ocotea porosa* como resposta fisiológica a perdas causadas na parte aérea. A e B – Rebrota da cepa da árvore após o corte. C – Rebrota acima da base da árvore causada por danos de incêndio.

Martins (2009) destaca a importância da rebrota como um mecanismo habilidoso de algumas espécies que favorece a sua regeneração avançada ao permanecer no sub-bosque, ao sobreviver ao dano durante a formação de uma clareira e ao explorar a clareira resultante. O mesmo autor evidencia ainda que em fragmentos florestais que sofreram danos causados pelo fogo com frequência, o mecanismo de rebrota pode configurar-se como a principal forma de regeneração, já que um incêndio pode reduzir drasticamente a densidade de um banco de sementes no solo.

Do total de 124 indivíduos de *Ocotea porosa* nos dois locais de coleta foi verificada a distribuição de frequência por centro de classe diamétrica, a qual representa a amplitude de variação dos dados permitindo conhecer a estrutura da espécie na floresta evidenciando as dimensões de maior interesse para o manejo florestal. Nota-se na Figura 18 que não há uma grande diferença entre o número de árvores observado por classe diamétrica entre as cinco primeiras classes, sendo que árvores a partir de 60 cm de *dap* eram mais escassas na floresta.

Mais da metade do número de árvores observadas nos locais amostrados encontram-se entre os centros de classe de 25, 35 e 45 cm de *dap*. Este fato ocorreu devido a exploração da floresta até o final da década de 1990, momento em que era permitido o corte na área, na qual foram amostradas a maioria das árvores. Portanto, o número de árvores acumulou-se nessas classes devido ao crescimento de indivíduos que estavam em classes menores e conseqüentemente ingressaram nas referidas classes após cessar o corte nessas florestas. Assim, a frequência observada nas maiores classes diamétricas de maior dimensão foi pequena justamente devido a essa exploração (Figura 18).

Distribuição semelhante do número de árvores por hectare em função da classe de diâmetro foi observada por Rivera (2007), analisando a estrutura vertical da Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI em Caçador (SC), mesmo local de coleta do presente estudo, baseando-se em um inventário florestal de 56 parcelas temporárias. Esta semelhança era esperada, pois os locais de coleta são muito próximos.

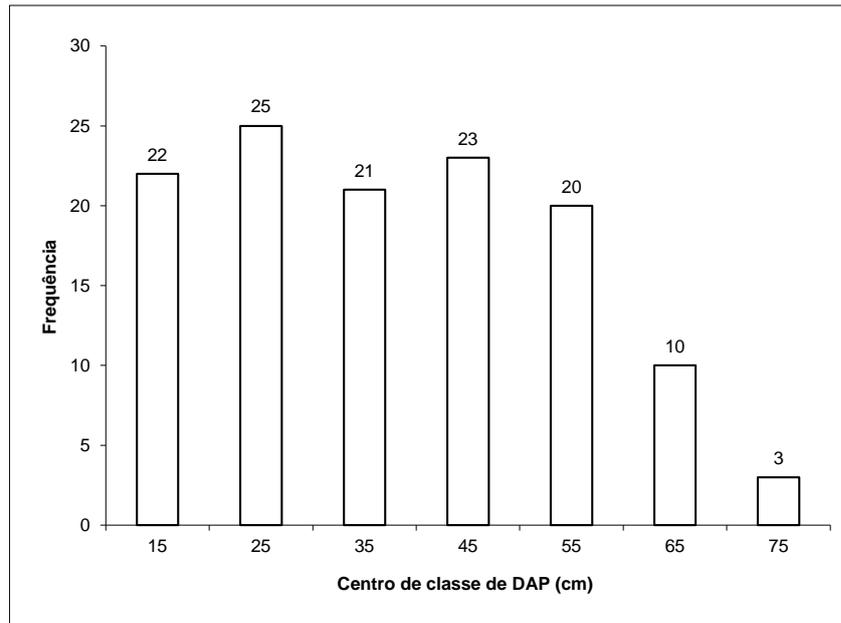


Figura 18 – Distribuição de frequência por centro de classe diamétrica das árvores amostradas de *Ocotea porosa* abrangendo os dois locais de coleta, Calmon e Caçador, SC.

Após a classificação diamétrica das árvores individuais amostradas procurou-se caracterizar suas dimensões evidenciando seu crescimento, em um primeiro momento, para todo o conjunto de dados, pelo estudo do incremento periódico anual em área basal, o qual foi determinado facilmente pela leitura dos anéis de crescimento (Figura 19).

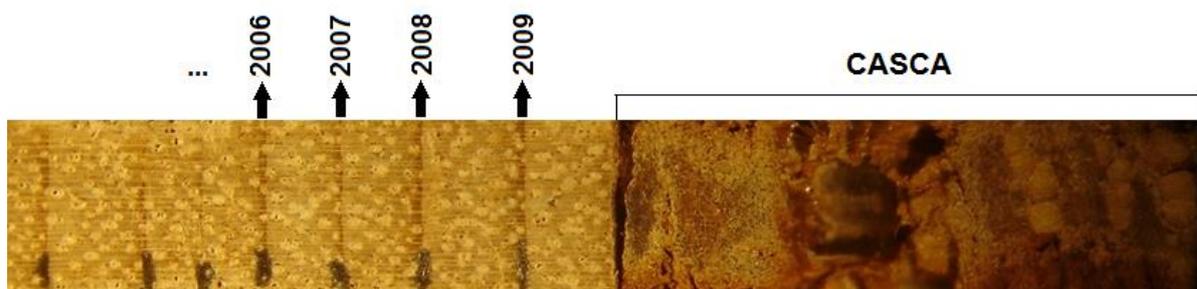


Figura 19 – Visualização dos anéis de crescimento para a amostra de número 77 de *Ocotea porosa* coletada em Calmon, SC.

A média do incremento periódico anual percentual em área basal encontrada por classe diamétrica pode ser visualizada na Tabela 3, onde nota-se um decréscimo considerável no centro de classe de dap de 65 cm, sendo que no centro de classe seguinte o incremento aumenta. Associado a este fato observou-se o

mesmo comportamento para a variável altura, no mesmo centro de classe de dap, a qual também diminuiu neste ponto e aumenta na classe seguinte. A explicação para este fato pode ser dada em função da espécie ser climácica, ou seja, nessa classe diamétrica ela pertence ao estrato superior onde há uma maior luminosidade o que deveria favorecer seu crescimento. Porém, houve alguma interferência, provavelmente pelo bloqueio da luz exercido por indivíduos de *Araucaria angustifolia*, os quais sempre se apresentavam acima do dossel formado pelas demais espécies, causando a diminuição da altura média das árvores nessa classe e conseqüentemente a diminuição da luz solar e seu incremento.

Tabela 3 – Valores médios por classe diamétrica das variáveis dendrométricas de árvores individuais de *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

CCdap (cm)	dap (cm)	e (cm)	h (m)	hc (m)	hmax (m)	Np/ha	g (m <sup>2</sup> )	IPAg (%)	QF	PS	ET
15	15,1	0,4	13,3	6,8	19,6	1484,3	0,01795	6,40	1	3	1
25	24,8	0,7	15,2	7,9	20,4	539,5	0,04814	4,40	2	2	1
35	34,7	1,0	18,1	8,7	25,0	264,8	0,09434	3,80	2	2	3
45	44,4	1,3	18,8	7,0	22,7	153,4	0,15486	2,27	2	1	1
55	55,3	1,6	20,6	8,2	26,3	96,9	0,23996	2,45	1	1	1
65	65,4	1,8	19,8	7,8	24,9	194,4	0,33605	1,67	1	1	1
75	74,9	1,8	21,7	6,5	23,2	69,3	0,44071	1,87	2	1	1

Onde: CCdap = centro de classe de dap; dap = diâmetro à altura do peito; e = espessura de casca simples; h = altura total; hc = altura comercial; hmax = altura máxima; Np/ha = número potencial de árvores por hectare; g = área basal individual; IPAg = incremento periódico anual em área basal considerando 3 anos; QF = qualidade do fuste; PS = posição sociológica; ET = exposição do terreno.

Na Tabela 4 pode-se confirmar o que foi exposto pela Tabela 3, observando-se a diminuição das variáveis morfométricas na mesma classe diamétrica de 65 cm. Nota-se que os valores médios de comprimento de copa, diâmetro de copa e, conseqüentemente, seus índices morfométricos que se utilizam dessas variáveis no seu cálculo, diminuíram nessa classe justamente pela diminuição da altura das árvores, o que afetou diretamente o crescimento de suas copas por receberem uma maior competição e menor luminosidade.

Tabela 4 – Valores médios por classe diamétrica das variáveis morfométricas de árvores individuais de *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

CCdap (cm)	lc (m)	dc (m)	IA	IS	FC	h/d	PC	V	DG
15	4,6	3,3	0,25	0,22	0,83	0,90	34,23	2	2
25	5,8	5,2	0,36	0,21	0,96	0,62	39,58	2	1
35	7,7	7,4	0,42	0,21	1,04	0,52	42,38	1	2
45	8,3	9,6	0,52	0,22	1,43	0,42	44,03	1	1
55	9,7	12,1	0,59	0,22	1,28	0,37	47,21	1	1
65	9,0	11,1	0,56	0,17	1,27	0,30	45,28	1	1
75	9,5	14,1	0,64	0,19	1,47	0,29	43,86	1	2

Onde: CCdap = centro de classe de dap; dap = diâmetro à altura do peito; e = espessura de casca simples; h = altura total; lc = comprimento de copa; dc = diâmetro de copa; IA = índice de abrangência; IS = índice de saliência; FC = formal de copa; h/d = razão entre altura e diâmetro à altura do peito; PC = porcentagem de copa; V = vitalidade da copa; DG = distribuição dos galhos.

Os índices que melhor representaram a competição sofrida pelas imbuías nos dois locais de coleta foram o índice de Hegyi e Lorimer, pois os mesmos refletem uma maior competição nas menores classes diamétricas decrescendo gradativamente até as maiores classes, onde as imbuías já alcançaram o dossel superior e já não se encontram mais em severa concorrência (Tabela 5 e Figura 20).

Porém, os índices que tiveram menor representatividade para todo o conjunto de dados foram os índices de Glover e Hool baseado na altura das árvores (IGHH), os dois índices de Tomé e Burkhart (ITB1 e ITB2) e o índice de Clark e Evans (ICE). O índice IGHH apresentou-se levemente constante com o aumento das classes diamétricas, o que não caracterizou de forma clara onde era a maior e a menor concorrência sofrida pelas imbuías. Já, os índices ITB1 e ITB2 indicaram grande concorrência tanto nas primeiras classes diamétricas quanto nas últimas classes, o que não expressa, de forma coerente, a competição sofrida pelas imbuías encontradas na floresta. E, o ICE indica o contrário dos demais índices, ou seja, uma maior competição somente nas classes de maior diâmetro devido a distribuição ser agrupada, o que não reflete a verdadeira situação encontrada na amostragem (Tabela 5 e Figura 20).

Tabela 5 – Valores médios por classe diamétrica das variáveis de competição de árvores individuais de *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

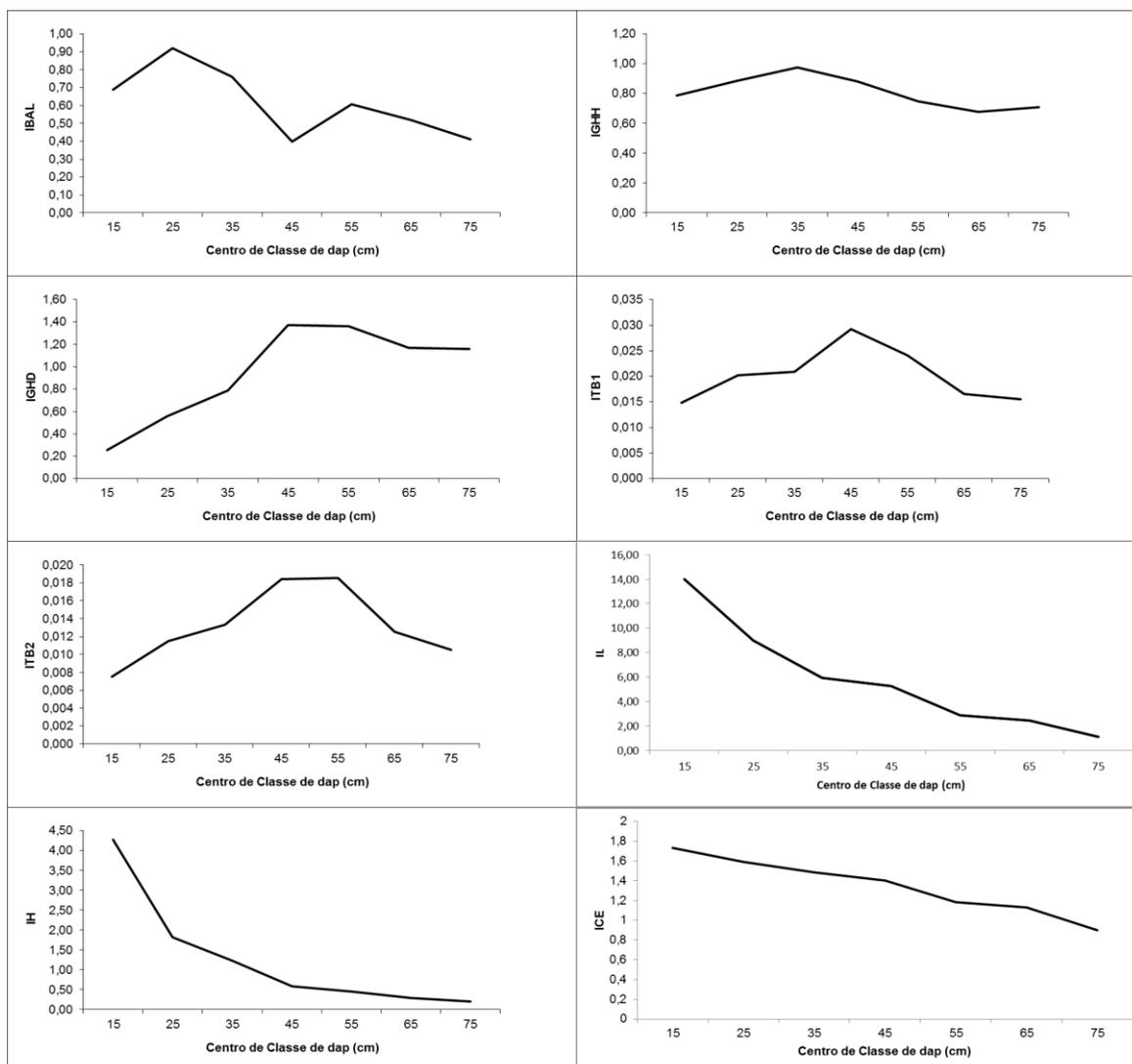
CCdap (cm)	IBAL	IGHH	IGHD	ITB1	ITB2	IL	IH	ICE
15	0,69	0,79	0,26	0,015	0,007	14,00	4,27	1,74
25	0,92	0,88	0,56	0,020	0,011	9,01	1,82	1,59
35	0,76	0,98	0,79	0,021	0,013	5,95	1,24	1,49
45	0,40	0,88	1,37	0,029	0,018	5,26	0,58	1,40
55	0,61	0,75	1,36	0,024	0,019	2,86	0,46	1,18
65	0,52	0,68	1,17	0,017	0,013	2,44	0,30	1,13
75	0,41	0,71	1,16	0,016	0,010	1,10	0,21	0,90

Onde: IBAL = índice de BAL; IGHH = índice de Glover e Hool baseado na altura; IGHD = índice de Glover e Hool baseado no diâmetro; ITB1 = índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro médio; ITB2 = índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro máximo; IL = índice de Lorimer; IH = índice de Hegyi; ICE = índice de Clark e Evans.

Embora os índices IGHH, ITB1 e ITB2 não representam a competição sofrida pelas imbuías e lembrando que, nesse caso, a alta competição é indicada por valores menores, observa-se de maneira geral que nas primeiras classes diamétricas a competição sofrida pelas árvores de *Ocotea porosa* é maior, assim como nos índices de BAL, Hegyi e Lorimer, nos quais a alta competição é indicada por valores maiores (Figura 20).

Nota-se na Figura 20, que o índice de BAL também pode ser considerado como um bom índice para representar a concorrência sofrida pelas imbuías, pois o mesmo possui tendência decrescente assim como os índices de Hegyi e Lorimer, indicando maior competição nas imbuías mais jovens e menor competição nas imbuías mais senis.

O índice de Glover e Hool baseado no diâmetro apresentou um comportamento diferenciado, pois o mesmo indica severa competição sofrida pelas imbuías das classes diamétricas de 15 cm até 45 cm. Sendo que a partir da classe de 45 cm a competição estabiliza, podendo-se interpretar que as imbuías sofrem competição até essa classe e a partir da mesma elas atingem o dossel superior e não mais sofreriam concorrência por luz, não diminuindo (alta competição) os valores do índice (Figura 20).



Onde: IBAL = índice de BAL; IGHH = índice de Glover e Hool baseado na altura; IGHD = índice de Glover e Hool baseado no diâmetro; ITB1 = índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro médio; ITB2 = índice de Tomé e Burkhart baseado no diâmetro máximo; IL = índice de Lorimer; IH = índice de Hegyi; ICE = índice de Clark e Evans.

Figura 20 – Comportamento médio de oito índices de concorrência por classe diamétrica para *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

Para caracterizar de maneira mais visual o desenvolvimento dos indivíduos de *Ocotea porosa* de florestas nativas em Calmon (SC) e Caçador (SC) pode-se observar as dimensões médias morfométricas e dendrométricas desenhadas em escala por classe diamétrica na Figura 21. Assim, observou-se que a curva de desenvolvimento em altura em relação aos centros de classe diamétrica não apresentou declividade acentuada, ou seja, o crescimento dessa variável não é deveras pronunciado assim como o desenvolvimento de sua copa.

As dimensões de copa dos indivíduos de *Ocotea porosa* apresentadas na Figura 21, retratam muito bem o que foi encontrado a campo, ou seja, copas

globosas e frondosas nas árvores mais velhas e estreitas e curtas em árvores com maior sombreamento e mais jovens. Ainda na Figura 21, observa-se uma pequena queda no desenvolvimento médio da copa das árvores pertencentes à classe diamétrica com centro de 65 cm, o que também pode ser usado como argumento para explicar o ponto de declínio do incremento periódico anual em área basal dessa classe descrito anteriormente.

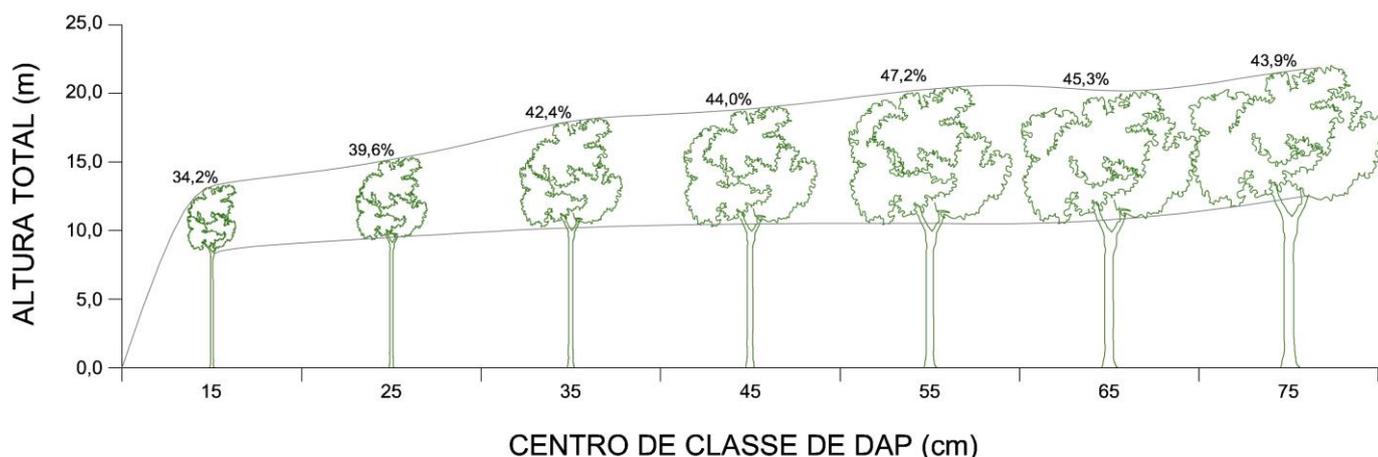


Figura 21 – Comportamento médio da porcentagem de copa, altura total e diâmetro à altura do peito por classe diamétrica para indivíduos de *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

O incremento periódico anual médio em diâmetro, considerando apenas os últimos três anos (ano 2006 ao ano 2009) para as árvores individuais de *Ocotea porosa* do presente estudo, foi de 0,46 cm/ano, onde foi encontrado um incremento periódico anual médio em diâmetro mínimo de 0,046 cm/ano e um incremento periódico anual médio em diâmetro máximo de 1,65 cm/ano. Essa variação pode ser explicada pelas características dimensionais dendrométricas, morfométricas da copa e de concorrência, pois observa-se que, geralmente, as árvores mais altas e com maior diâmetro de copa foram as que apresentaram os maiores incrementos, as quais sofreram menor concorrência por estarem no dossel superior, o que foi comprovado pelos índices de competição calculados. Ao contrário daqueles indivíduos que apresentaram copas menores e menores alturas, não alcançando um maior grau de luminosidade e, conseqüentemente, tiveram um menor incremento.

Essa variação de incrementos também foi observada, pela análise de tronco completa, por Santos (2012) para um plantio da mesma espécie em Rio Negro, PR, onde obteve valores de incremento médio anual em diâmetro de 0,61 cm/ano, variando de 0,03 cm/ano a 1,53 cm/ano. Figueiredo Filho et al. (2003), utilizando cintas dendrométricas, observaram um incremento diamétrico de 0,27 cm/ano para nove indivíduos de *Ocotea porosa* em florestas naturais em Irati, PR, sendo semelhante ao incremento diamétrico de 0,29 cm/ano encontrado para árvores com média vitalidade de copa neste trabalho. Árvores com alta vitalidade da copa tiveram, em média, um incremento diamétrico de 0,60 cm/ano, o que também foi observado por Mattos et al. (2010) para a mesma espécie em Floresta Ombrófila Mista em Caçador, SC.

Conforme o IPEF (2012), a espécie apresenta crescimento lento, atingindo 6 m<sup>3</sup>/ha/ano, sendo que para Carvalho (2003) a imbuia tem apresentado crescimento lento a moderado, atingindo em média 9,65 m<sup>3</sup>/ha/ano. Porém, o crescimento obtido em Campo Mourão (PR), em solo fértil, apresentou um incremento anual em diâmetro, no oitavo ano, de 1,5 cm, desmistificando a versão corrente no sul do Brasil, que a imbuia é a espécie nativa que possui o crescimento mais lento. Neste caso, o crescimento inicial obtido pela imbuia é superior ao de outras nativas produtoras de madeira de lei (IPEF, 2012).

Isso, também foi comprovado nas árvores das florestas nativas de Calmon (SC) e Caçador (SC), onde o máximo incremento corrente anual em diâmetro, dentro do período de 2000 até 2009, foi de 1,83 cm para um indivíduo de 53,47 cm de diâmetro no ano de 2008 em Calmon (SC) e, 1,68 cm para um indivíduo de 31,33 cm de diâmetro no ano de 2002 na Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI em Caçador (SC) (Tabela 6).

O crescimento de alguns indivíduos superaram até mesmo espécies usadas em alguns plantios homogêneos, como a *Araucaria angustifolia*, o que justificaria um futuro estudo do melhoramento genético da espécie *Ocotea porosa* para utilização em plantios comerciais.

Tabela 6 – Incremento corrente anual em diâmetro máximo e mínimo para *Ocotea porosa* por classe diamétrica considerando o período de 2000 até 2009.

Ano	Op	CCdap (cm)	Larg. (mm)	dapsc (cm)	ICAd (cm)
2005	23	15	0,27	15,07	0,04
2002	63	15	4,76	5,73	1,15
2002	15	25	0,21	26,61	0,02
2000	103	25	5,06	13,92	1,14
2002	9	35	0,29	27,74	0,04
2002	12	35	5,63	22,26	1,41
2004	65	45	0,41	41,27	0,05
2002	119	45	5,22	31,33	1,68
2005	125	55	0,47	53,60	0,05
2008	39	55	6,91	53,47	1,83
2007	41	65	0,83	59,44	0,08
2009	121	65	4,74	62,16	1,64
2004	2	75	0,84	83,19	0,11
2008	32	75	3,09	69,40	1,25

Onde: Op = *Ocotea porosa*; CCdap = centro de classe de diâmetro à altura do peito; Larg. = largura do anel de crescimento; dapsc = diâmetro à altura do peito sem casca; ICAd = incremento corrente anual em diâmetro.

Por outro lado nota-se ainda, na Tabela 6, que ocorreram incrementos muito baixos em todas as classes diamétricas estudadas, representados pelas árvores de números 23, 15, 9, 65, 125, 41 e 2. Isso ocorreu devido a fatores como concorrência por luz, água e nutrientes representados por larguras de anéis de crescimento muito pequenas, evidenciando a grande necessidade de intervenções de manejo no momento adequado, já que foi comprovado na mesma Tabela 6 que há possibilidade de incrementos muito maiores do que aqueles das árvores citadas anteriormente.

Estudos realizados pelos autores Rosot et al. (2007) por Inventário Florestal Contínuo na Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI destacam a espécie *Ocotea porosa* entre as mais importantes no local, a qual apresentou um incremento periódico anual médio de 0,266 cm/ano estando em terceiro lugar dentre as dez espécies de maior valor de importância na Reserva. STEPKA (2012) verificou uma variação de crescimento diamétrico de 0,24 cm/ano (Caçador – SC) a 0,43 cm/ano (São João do Triunfo – PR) para a espécie *Ocotea porosa* com o objetivo de estudar a dendrocronologia e modelar o crescimento em diâmetro para 30 indivíduos da espécie coletados em quatro locais do Sul do Brasil, corroborando com os valores médios encontrados no presente trabalho.

De acordo com Bakes e Irgang (2009), é uma espécie climática sendo, muitas vezes, encontrada em vegetação secundária com comportamento pioneiro, o que evidencia sua boa relação com a luz. Isso pode ser observado no crescimento diamétrico acumulado apresentado na Figura 22, onde o menor ritmo de crescimento encontra-se na menor classe diamétrica (centro de classe de 15 cm), onde os indivíduos estavam sob maior competição por luz.

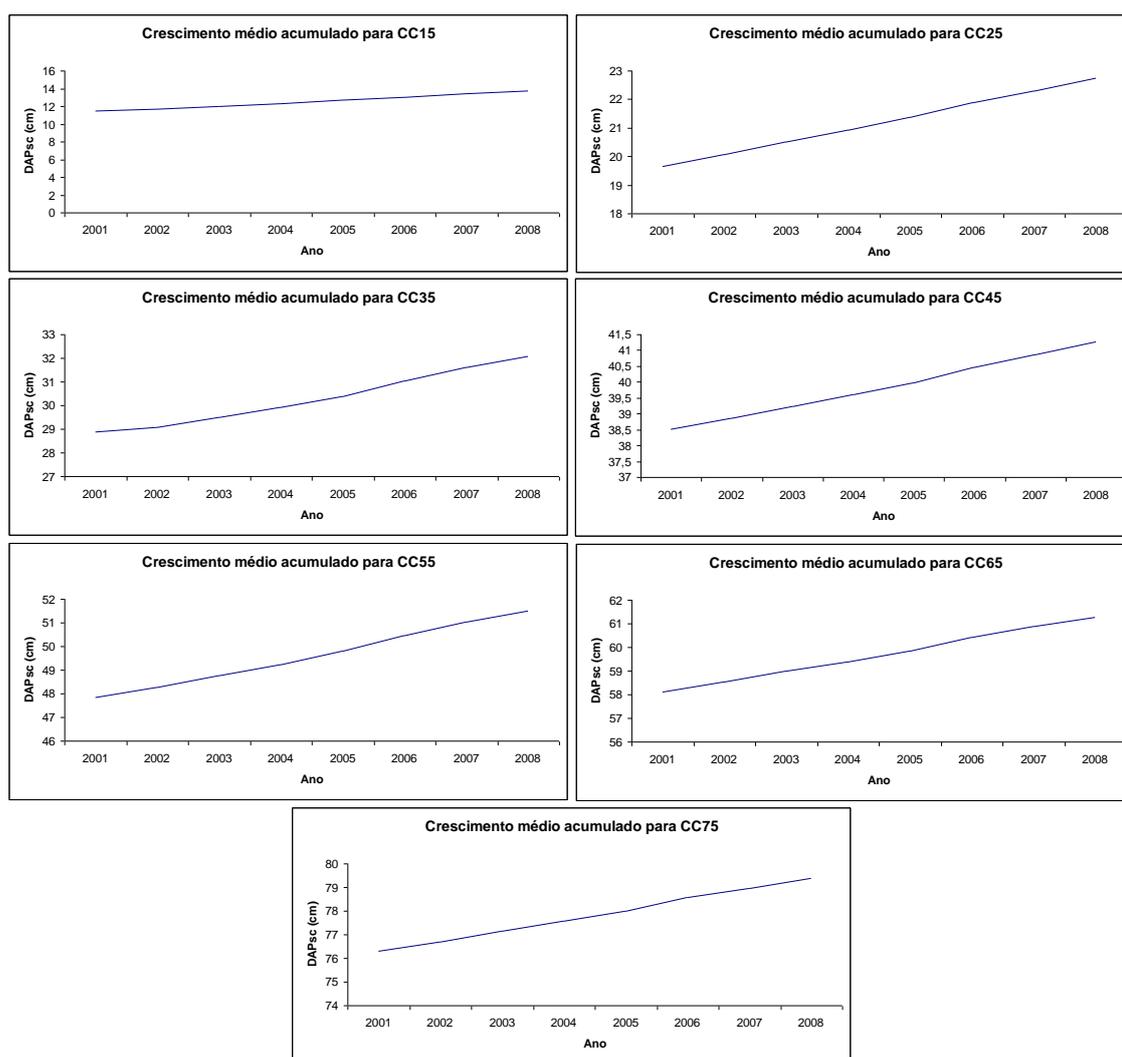


Figura 22 – Crescimento diamétrico médio acumulado por classe de diâmetro com destaque para a menor inclinação observada na primeira classe de diâmetro (15 cm) para *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC).

Para modelar o crescimento das árvores de *Ocotea porosa*, primeiramente foi observado o grau de associação linear entre a variável dependente e as possíveis variáveis independentes pela correlação de Pearson (Tabela 7). Assim, observou-se que tanto variáveis dendrométricas como variáveis relacionadas à copa e a

concorrência entre as árvores tiveram correlação significativa com a variável incremento periódico anual em área basal. As variáveis mais correlacionadas com o incremento foram o diâmetro à altura do peito e a espessura de casca simples, dentre as variáveis dendrométricas; o índice de abrangência e a relação h/d, dentre as morfométricas; e o índice de Hegyi e o índice de Glover e Hool baseado na altura das árvores, dentre as variáveis de concorrência.

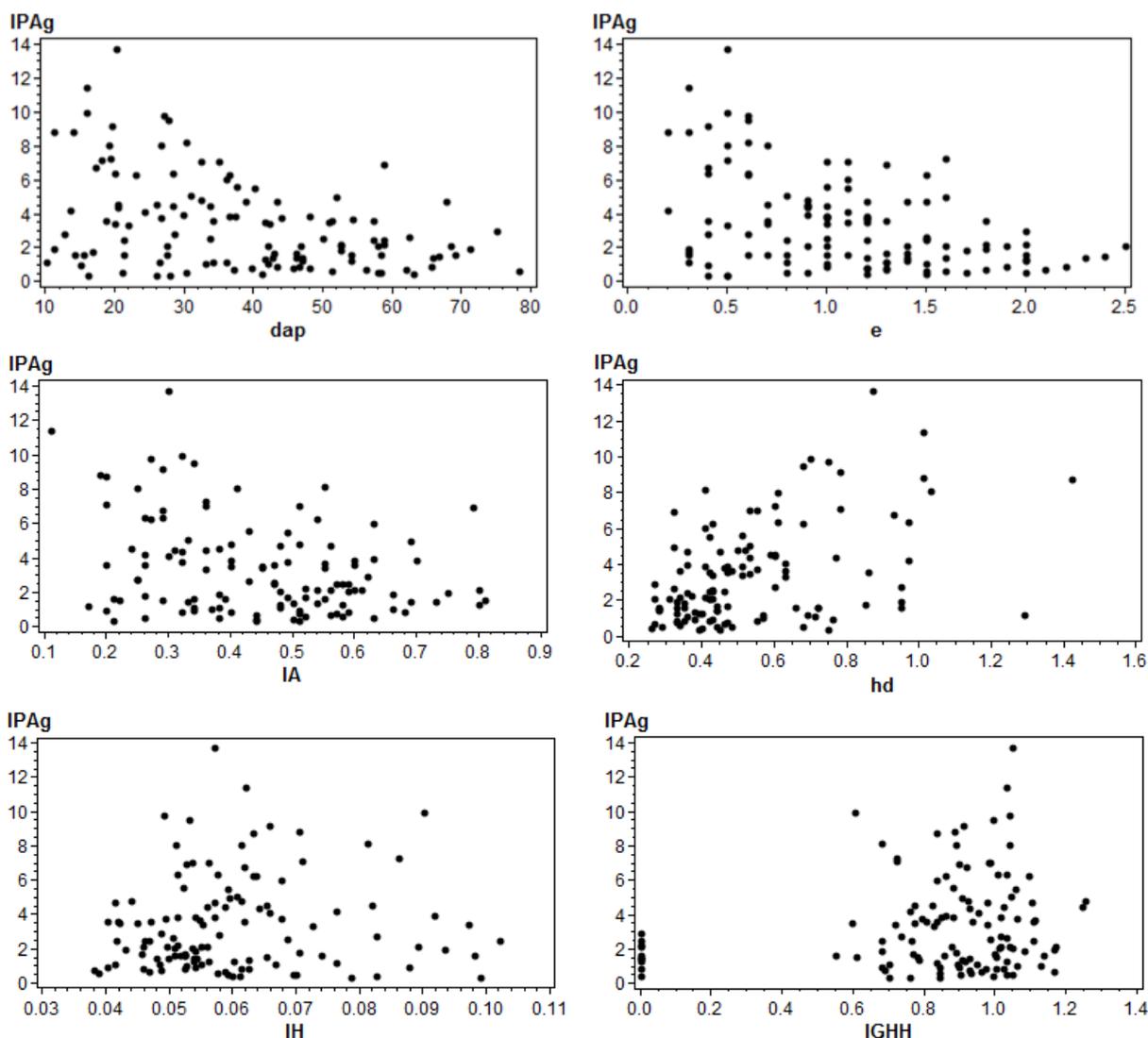
Tabela 7 – Correlação de Pearson e probabilidade entre o incremento periódico anual percentual em área basal e variáveis dendrométricas, morfométricas e variáveis de concorrência para *Ocotea porosa* em Caçador (SC) e Calmon (SC).

<b>Variáveis</b>	<b>r / Prob.</b>
<b>Diâmetro à altura do peito (cm)</b>	-0,4043 / <.0001
<b>Espessura de casca simples (cm)</b>	-0,4292 / <.0001
<b>Comprimento de copa (m)</b>	-0,2141 / 0,0199
<b>Diâmetro de copa (m)</b>	-0,3151 / 0,0005
<b>Índice de abrangência</b>	-0,3237 / 0,0003
<b>Formal de copa</b>	-0,2415 / 0,0084
<b>Relação h/d</b>	0,4412 / <.0001
<b>Índice de Hegyi</b>	0,2526 / 0,0058
<b>Índice de Glover e Hool baseado na altura</b>	0,1860 / 0,0437

Onde: r = coeficiente de correlação linear de Pearson; Prob. = probabilidade.

O comportamento dos dados observados referente às variáveis mais correlacionadas com a variável incremento periódico anual em área basal pode ser observado na Figura 23. Observa-se que o incremento percentual diminui à medida que ocorre um aumento das variáveis diâmetro à altura do peito, espessura de casca simples e índice de abrangência. Isso era esperado pois árvores mais velhas, de maior diâmetro e casca mais espessa tendem a ter uma taxa de incremento menor do que as árvores mais jovens.

A diminuição da taxa de incremento periódico anual em área basal com o aumento do índice de abrangência corrobora com o típico crescimento da *Ocotea porosa* em florestas nativas, pois o desenvolvimento do diâmetro de copa é maior e mais rápido do que o desenvolvimento da altura total nos indivíduos dessa espécie (Figura 23).



Onde: IPAg = incremento periódico anual percentual em área basal; *dap* = diâmetro à altura do peito em centímetros; *e* = espessura simples de casca; *IA* = índice de abrangência; *hd* = relação da altura total pelo diâmetro à altura do peito; *IH* = índice de Hegyi; *IGHH* = índice de Glover e Hool baseado nas alturas.

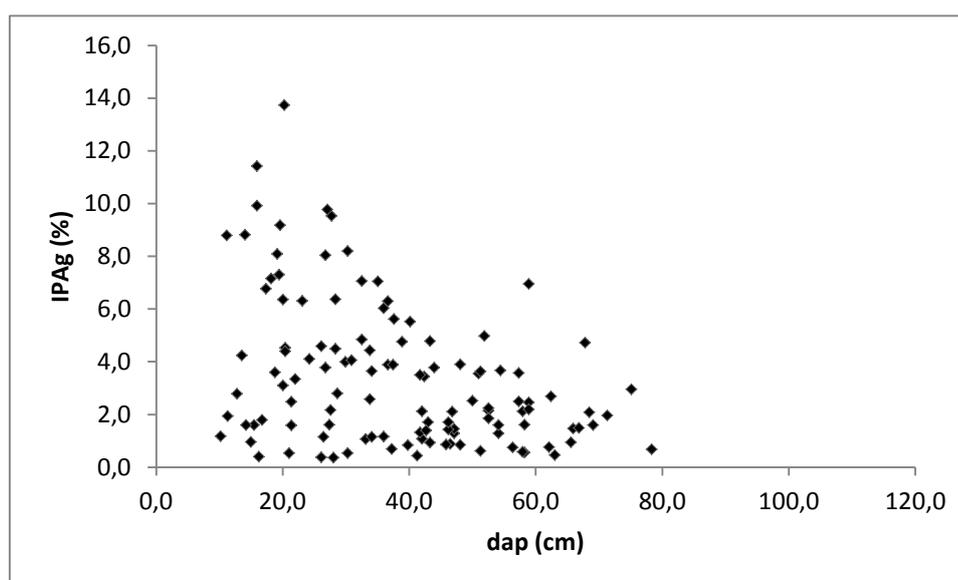
Figura 23 – Dispersão dos dados amostrados de incremento periódico anual percentual em área basal em função das variáveis de maior correlação linear.

Ainda na Figura 23, observa-se que a taxa de incremento periódico anual percentual em área basal aumenta na medida em que a relação *h/d* também aumenta. Isso pode ser explicado pela fase de desenvolvimento em que o indivíduo se encontra, pois a *Ocotea porosa* é uma espécie exigente em luminosidade, por isso as árvores mais altas tendem a ter maiores incrementos, porém combinado com a fase de desenvolvimento em que o indivíduo se encontra. Pois indivíduos mais senis, mesmo apresentando maiores alturas, não possuem altas taxas de incremento periódico anual em área basal.

A correlação linear do incremento com as variáveis de competição se apresentaram mais fracas do que com as demais variáveis, por isso apresentaram uma dispersão sem uma tendência clara dos dados amostrados devido a sua grande variância. Mas, pode-se perceber que os pontos mais altos para o incremento periódico anual em área basal encontram-se com valores menores do índice de Hegyi, o que indica baixa competição. Já, para o índice de Glover e Hool baseado na altura total, os pontos mais altos da variável incremento encontram-se com os valores mais altos do índice, indicando menor competição (Figura 23).

#### 4.2 Modelagem linear generalizada para o incremento periódico anual percentual em área basal

Observando-se a dispersão dos dados de incremento coletados a campo em função do diâmetro a altura do peito, variável mais correlacionada com o mesmo (Figura 24), notou-se significativa variância dos dados, principalmente nas primeiras classes diamétricas. Essa variância é observada, geralmente em dados de árvores nativas, onde há a presença de vários estratos e várias espécies com diferentes demandas para o seu crescimento fazendo com que a dispersão dos dados seja bem característica.



Onde: IPAg(%) = incremento periódico anual percentual em área basal para 3 anos; dap(cm) = diâmetro à altura do peito em centímetros.

Figura 24 – Dispersão dos dados observados de incremento periódico anual em área basal em função do diâmetro a altura do peito para *Ocotea porosa* em floresta nativa nas cidades de Calmon e Caçador, SC.

A modelagem linear generalizada foi utilizada, pois os dados observados de incremento periódico anual percentual em área basal não atendiam a todos os pressupostos da regressão linear múltipla o que impossibilitou o uso da modelagem pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Por isso, foi necessário verificar, pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Cramér-von-Mises, qual a distribuição seguida pelos dados observados de incremento periódico anual percentual em área basal.

O teste de aderência revelou que os dados seguem a distribuição Gama, como pode ser observado na Figura 25 e Tabela 8. A Figura 25 evidencia que os dados observados de incremento periódico anual em área basal seguem o comportamento da função de densidade de probabilidade gama representada pela linha azul.

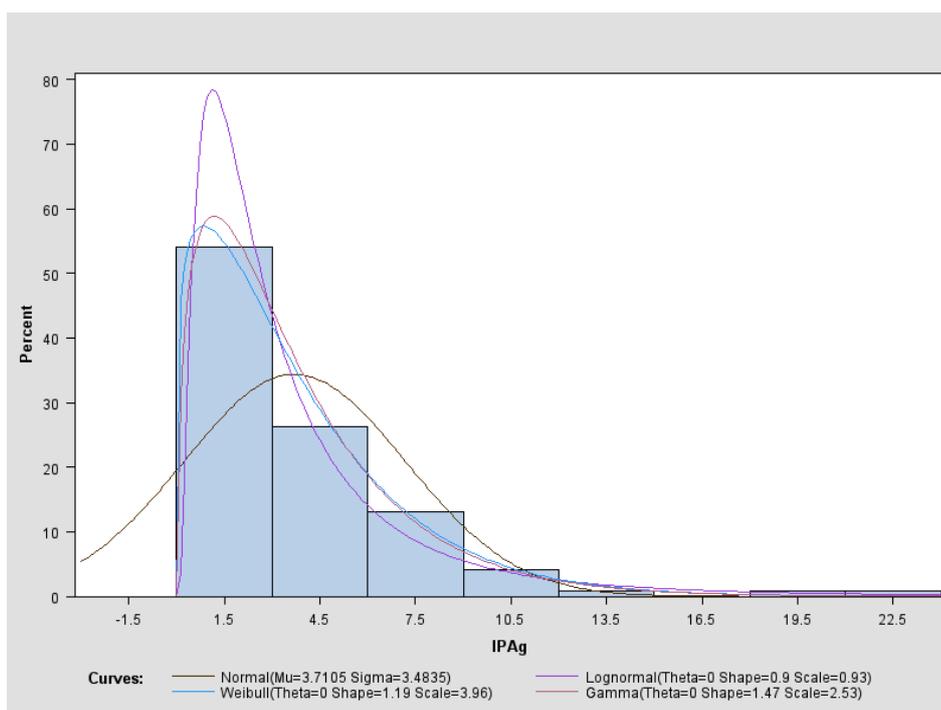


Figura 25 – Resultado gráfico para verificação da aderência dos dados observados de incremento periódico anual percentual em área basal às funções de densidade Normal, Lognormal, Weibull e Gama.

A Tabela 8 confirma a aderência à distribuição gama pela significância estatística dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Cramér-von-Mises, os quais apresentaram valores probabilísticos inferiores às estatísticas calculadas evidenciando que os dados de incremento periódico anual percentual em área basal seguem a distribuição Gama.

Tabela 8 – Testes de aderência evidenciando o ajuste dos dados observados de incremento periódico anual em área basal da distribuição gama.

<b>Teste de aderência</b>	<b>Estatística</b>	<b>Valor de p</b>
Kolmogorov-Smirnov	0,07678	0,093
Cramér-von-Mises	0,10270	0,121

A modelagem pelo procedimento PROC GENMOD resultou em um modelo de regressão linear generalizada do incremento periódico anual percentual em área basal em função das variáveis independentes diâmetro à altura do peito, vitalidade da copa, índice de saliência e índice de competição de BAL, expresso pela seguinte equação:  $IPAg = 0,0764 + 0,0095 \cdot dap - 0,7288 \cdot IS + 0,0553 \cdot IBAL + 0,1773 \cdot D2 + 0,6645 \cdot D3$ . Na Tabela 9 nota-se pelo teste de hipótese de Wald que as variáveis diâmetro à altura do peito (Prob.<.0001) e vitalidade da copa (Prob.<.0001) foram altamente significativas no modelo as quais explicaram grande parte da variabilidade dos dados apresentada. As variáveis índice de saliência e índice (Prob.=0,0509) de concorrência de BAL (Prob.=0,0196) também contribuíram para a explicação da variância dos dados de incremento anual em área basal de forma significativa.

Com o objetivo de comparar a capacidade de predição de modelos de crescimento em altura e diâmetro para florestas mistas de coníferas no norte da Califórnia, Biging e Dobbertin (1995) testaram vários índices de concorrência dependentes e independentes da distância a fim de verificar a sua significância nesses modelos de crescimento. Os autores concluíram que os índices independentes são melhores que os dependentes da distância para estimar o crescimento em altura e diâmetro. Assim como Lorimer (1983), examinando povoamentos naturais velhos em Wisconsin (EUA), concluiu que a distância entre as árvores não tem valor na predição do crescimento de árvores individuais.

Tabela 9 – Análise de máxima verossimilhança das estimativas paramétricas pelo teste de Wald.

Parâmetros	GL	Estimativa	S <sub>yx</sub>	IC de Wald (95%)	Qui-quadr. de Wald	Prob.>Qui -quadr.
Intercepto	1	0,0764	0,0925	-0,105 a 0,258	0,68	0,4094
dap	1	0,0095	0,0012	0,007 a 0,012	67,75	<.0001
D2	1	0,1773	0,0367	0,106 a 0,249	23,39	<.0001
D3	1	0,6645	0,1653	0,341 a 0,988	16,16	<.0001
IS	1	-0,7288	0,3733	-1,460 a 0,003	3,81	0,0509
IBAL	1	0,0553	0,0237	0,009 a 0,102	5,45	0,0196

Onde: dap = diâmetro a altura do peito; D2 = dummy 2 referente a vitalidade 2; D3 = dummy 3 referente a vitalidade 3; IBAL = índice de concorrência de BAL; GL = graus de liberdade; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; IC = intervalo de confiança para o teste de Wald.

A inclusão dessas variáveis no modelo de incremento pode ser biologicamente explicada pelo fato da espécie *Ocotea porosa* ser extremamente exigente em luminosidade. Isso também foi descrito por Santos (2012) para plantios da mesma espécie em Rio Negro, PR, onde observou que as árvores com maior oferta de luminosidade apresentaram crescimento superior em diâmetro do que àquelas com luz parcial ou suprimidas, sendo um fator de extrema importância para o manejo florestal em relação às intervenções realizadas para elevar o grau de luminosidade favorecendo as árvores-futuro.

A modelagem pelo procedimento PROC GENMOD resultou em uma equação de regressão linear generalizada com uma função de ligação para a distribuição gama de potência -0,9, a qual explicou boa parte da grande variação dos dados observados de incremento periódico em área basal, como pode ser observado na Figura 26. Notou-se ainda na mesma Figura que os valores de incremento estimados possuem um bom ajuste em relação aos valores de incremento observados.

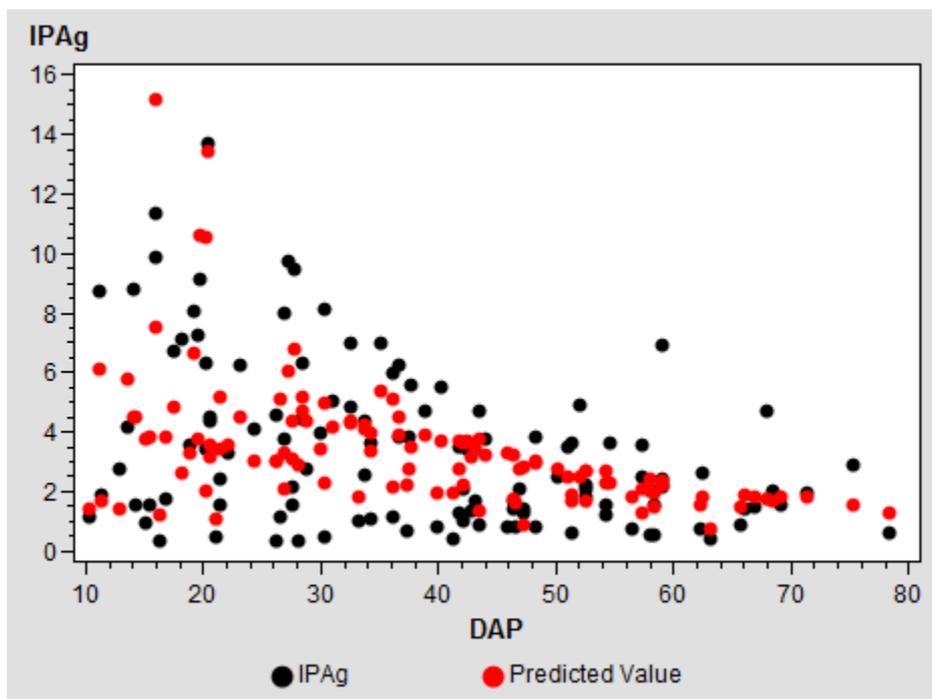


Figura 26 – Ajuste da variável incremento periódico anual percentual em área basal em função da variável dependente diâmetro a altura do peito para *Ocotea porosa*.

A distribuição residual ilustrada na Figura 27 evidenciou uma estimativa para a variável incremento periódico anual em área basal sem tendenciosidade e heterogeneidade dos erros, o que configura em uma estimativa de maior confiabilidade e pertinência dos dados, dada a grande variância encontrada a campo para as árvores individuais de *Ocotea porosa*.

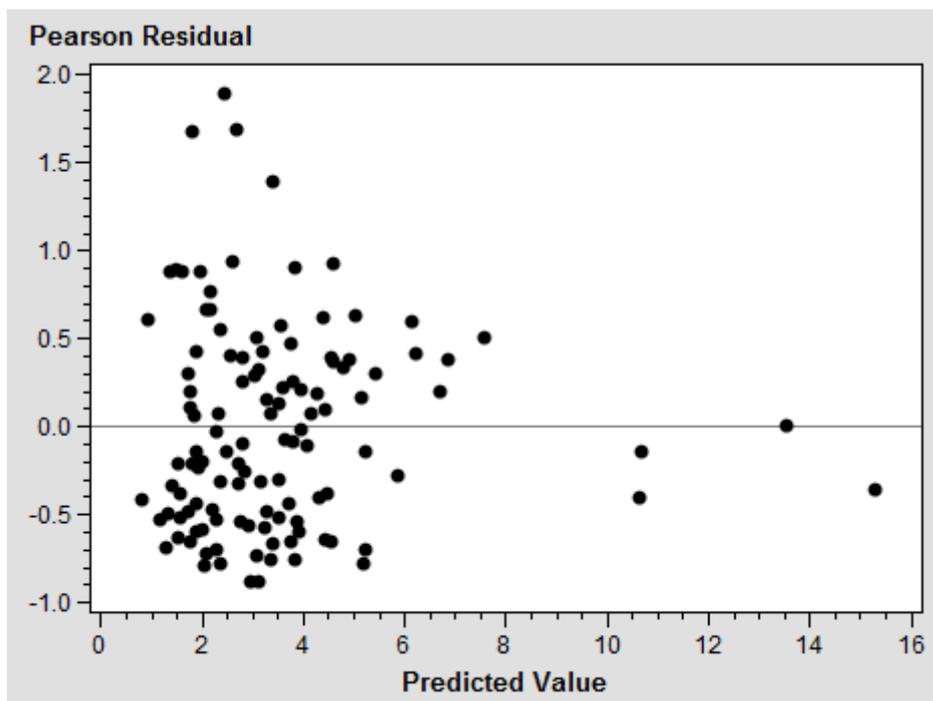


Figura 27 – Dispersão dos resíduos para a variável estimada incremento periódico anual percentual em área basal para *Ocotea porosa*.

Para o modelo selecionado, as funções desvios nula (somente com intercepto) e reduzida (com todos os coeficientes) foram estimadas, respectivamente, por 79,68 para 117 graus de liberdade e 45,44 para 112 graus de liberdade. Baseado nesses valores foi calculado o coeficiente de determinação ajustado, o qual resultou em um valor de 0,40, o que indica uma boa explicação do modelo para variação total dos dados, sendo que metade dessa explicação resultou da variável preditora vitalidade de copa.

De acordo com a Tabela 10, os valores dos critérios de informação de Akaike e Bayesiano foram 454,45 e 473,84 respectivamente, os quais foram considerados os menores valores durante a modelagem dos dados de incremento em função das outras variáveis testadas.

Tabela 10 – Estatísticas dos critérios de seleção para o modelo linear generalizado da estimativa do incremento periódico anual em área basal.

<b>Critério de seleção</b>	<b>GL</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor / GL</b>
Desvio	112	45,44	0,4057
AIC	-	454,45	-
BIC	-	473,84	-

Os critérios de seleção AIC e BIC também foram utilizados para selecionar modelos tradicionais para série temporal de dados de crescimento em altura para a espécie *Pinus elliottii*, onde as equações selecionadas apresentaram valor de AIC de 781,4 e de BIC de 783,4 (FLORIANO et al., 2006). Os valores encontrados nesse trabalho estão acima dos valores da Tabela 10, os quais foram calculados para modelos lineares generalizados, evidenciando um número aceitável para os critérios de informação do presente trabalho.

### 4.3 Relação Hipsométrica

O cálculo das estimativas e estatísticas resultantes para cada um dos oito modelos testados, para a relação hipsométrica de *Ocotea porosa*, revelou que a variável diâmetro explica, em torno de 50% a variável altura na maioria das equações (Tabela 11). E, o coeficiente de variação estabeleceu-se em um valor de 15% para a maior parte das equações testadas, sendo que os menores valores encontrados foram para as equações onde a variável altura foi logaritmizada, como o esperado.

Tabela 11 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas das equações testadas para a relação hipsométrica de *Ocotea porosa*.

Eq.	Estimativa dos coeficientes			Estatísticas		
	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> aj	CV (%)	Valor de F
1	-2,07905	5,67611	-0,01185	0,48	15,8	59,0
2	3,27933	-17,51745	97,84187	0,51	5,7	65,3
3	8,29162	0,35861	-0,00257	0,49	15,7	60,2
4	20,60053	0,06150	-	0,98	16,0	2485,6
5	-1,07047	5,22887	0,00920	0,48	15,8	58,9
6	-1,17391	5,29130	-	0,49	15,7	118,8
7	3,11707	-8,35519	-	0,48	5,9	114,9
8	1,68412	0,32665	-	0,51	5,8	127,9

Onde: Eq. = refere-se ao número da equação; b0 = coeficiente linear; b1 e b2 = coeficientes angulares; R<sup>2</sup>aj. = coeficiente de determinação ajustado; CV(%) = coeficiente de variação em percentagem; F = valor de F calculado.

Observando as estatísticas das equações, selecionou-se a equação de número quatro, de Chapman Richards, a qual apresentou valores elevados de R<sup>2</sup>aj e F, comparado aos valores das demais equações, e uma distribuição dos resíduos sem tendência (Figura 28).

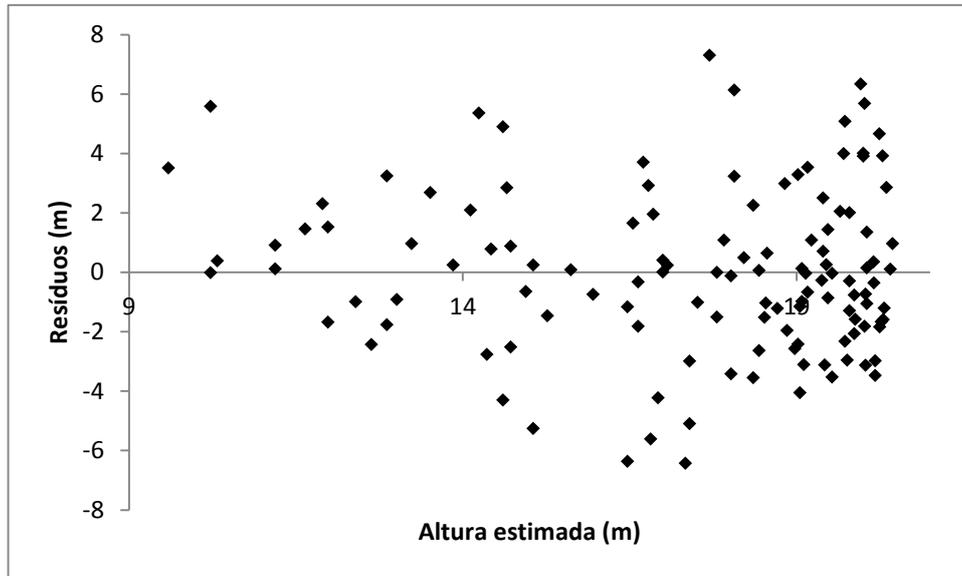


Figura 28 – Dispersão dos resíduos em função da variável estimada altura total para *Ocotea porosa*.

O modelo de Chapman Richards, com dois parâmetros, apresentou um ajuste que caracteriza o desenvolvimento biológico da espécie, pois a curva tende a manter um valor assintótico a partir dos 20 m de altura e 60 cm de diâmetro, tendendo à estagnação da altura com o aumento do diâmetro (Figura 29). O gráfico dos resíduos e ajustes das demais equações testadas para a relação hipsométrica encontram-se no Apêndice G.

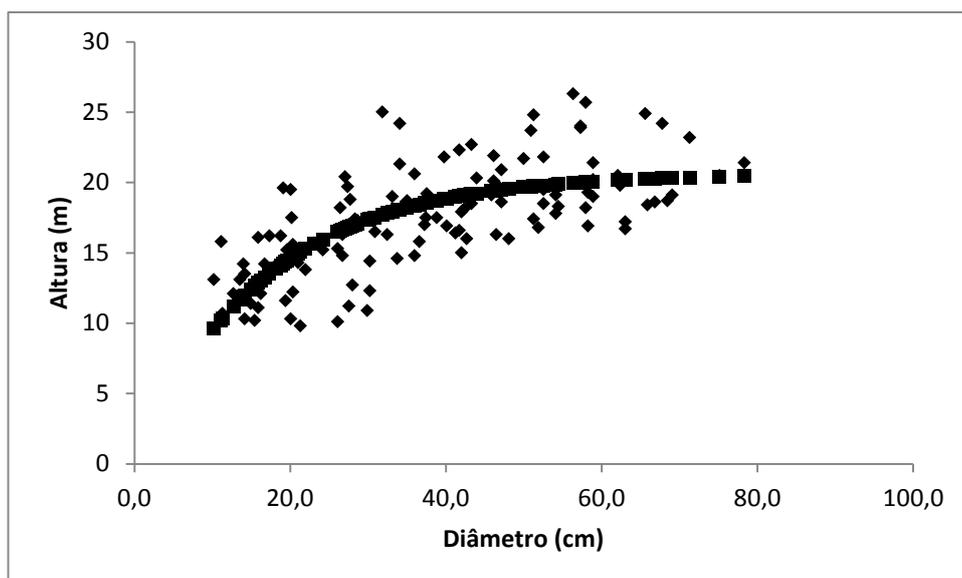


Figura 29 – Ajuste da relação hipsométrica pela equação de Chapman Richards com dois parâmetros para *Ocotea porosa*.

As equações de número 1, 2, 3 e 5, apresentaram colinearidade entre as variáveis independentes do modelo, o que significa uma correlação significativa entre essas variáveis e indicaria uma estimativa errada dos coeficientes e, conseqüentemente, uma estimativa tendenciosa da variável altura, e por isso foram descartadas. O segundo melhor modelo selecionado foi o de número 8 (Stofells), o qual foi utilizado para realizar a análise de covariância. Porém, a análise de covariância revelou não haver influência de nenhuma das variáveis discretas coletadas a campo, tais como: vitalidade da copa, distribuição dos galhos, qualidade do fuste, posição sociológica e exposição do terreno.

#### 4.4 Diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito

O valor das estatísticas calculadas para as cinco equações do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito apresentadas na Tabela 12, revelaram nitidamente que a equação selecionada foi a logarítmica de número 4, pois apresentou um valor superior às demais do coeficiente de determinação ajustado e baixo coeficiente de variação.

Tabela 12 – Estimativa dos parâmetros e estatísticas das equações testadas para o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito de *Ocotea porosa*.

Eq.	Estimativa dos coeficientes		Estatísticas		
	b0	b1	R <sup>2</sup> aj	CV (%)	Valor de F
1	0,52773	0,19590	0,81	20,3	523,3
2	4,01021	0,00229	0,74	23,9	344,5
3	0,90454	0,02760	0,79	12,3	468,8
4	-1,40353	0,95293	0,85	10,5	683,2
5	1,37496	0,03599	0,82	10,5	548,6

Analisando a Figura 30 notou-se que os valores observados seguem a tendência da equação da reta, o que não justificaria testar modelos que tivessem mais de uma variável independente. O modelo 2 foi testado somente para verificar se a variável independente quadrática poderia melhorar as estimativas entre os diâmetros 40 cm e 80 cm, onde os dados se encontram mais dispersos. O ajuste e a dispersão dos resíduos dos demais modelos testados encontram-se nos Apêndices C, D, E e F.

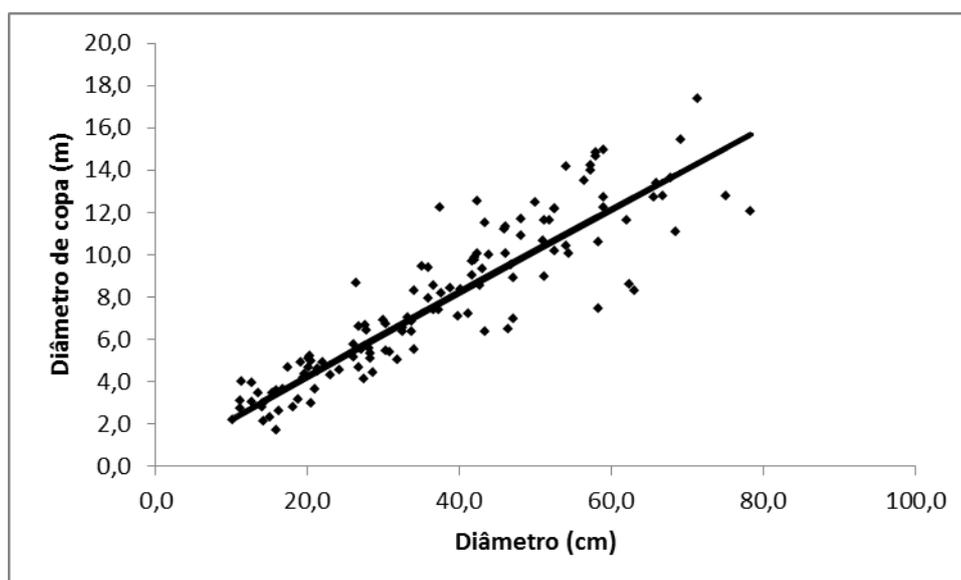


Figura 30 – Ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para *Ocotea porosa* para a equação  $\ln(dc) = -1,40353 + 0,95293 \cdot \ln(dap)$ .

A dispersão dos resíduos apresentada na Figura 31 não apresentou tendência, podendo o modelo ser utilizado para estimar o diâmetro de copa com baixo erro de estimativa. Vale ressaltar que a pequena variância dos valores de diâmetro de copa a partir do diâmetro à altura do peito de 40 cm pode ser explicada pela diferente densidade de indivíduos de *Araucaria angustifolia*, os quais eram concorrentes da *Ocotea porosa* e muitas vezes encobriam suas copas dificultando a passagem da luminosidade.

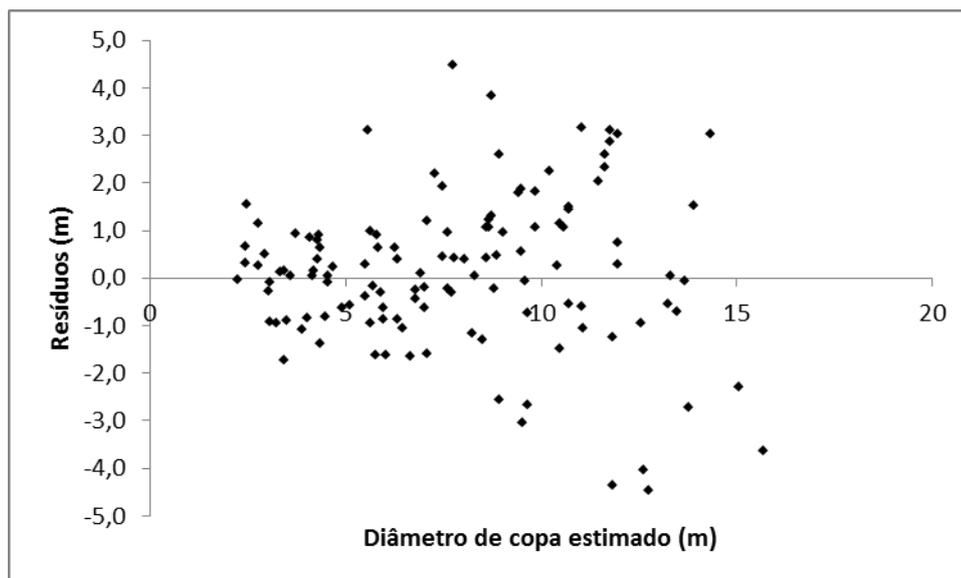


Figura 31 – Dispersão dos resíduos em função da variável estimada diâmetro de copa para *Ocotea porosa* para a equação  $\ln(dc) = -1,40353 + 0,95293 \cdot \ln(dap)$ .

Na análise de covariância para verificar a influência da variável discreta vitalidade de copa na estimativa do diâmetro de copa, verificou-se a não significância da diferença de inclinação e também de nível. Assim, testou-se a influência das demais variáveis discretas, tais como: distribuição dos galhos na copa (DG), qualidade do fuste (QF), posição sociológica (PS) e exposição do terreno (ET). A variável que influenciou, significativamente, a estimativa do diâmetro de copa foi a distribuição dos galhos na copa, tanto em inclinação quanto em nível, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Análise de covariância, pelo teste F, do modelo  $\ln(dc) = b_0 + b_1 \cdot \ln(dap)$  para verificar o efeito da variável distribuição de galhos de *Ocotea porosa*.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	5	29,26	5,85	159,48	<.0001
Erro	117	4,29	0,037	-	-
Total	122	33,56	-	-	-
$\ln(dap)$	1	11,23	11,23	306,01	<.0001
DG	2	0,24	0,12	3,28	0,0409
$\ln(dap) \cdot DG$	2	0,29	0,15	3,99	0,0211

Nota-se, pelo teste t da Tabela 14, que a regressão do diâmetro de copa para a distribuição de galhos 1 difere, considerando uma probabilidade de erro de 5%, em

inclinação, das regressões para a distribuição dos galhos 3 e 2. Porém, não ocorreu diferença significativa de nível entre as regressões que estimam o diâmetro de copa para cada distribuição de galhos.

Tabela 14 – Análise de covariância, pelo teste t, do modelo  $\ln(dc)=b_0+b_1.\ln(dap)$  para verificar a diferença das regressões entre as três distribuições dos galhos de *Ocotea porosa*.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Valor de t	Prob.>t
Intercepto	-0,92507	0,383	-2,41	0,0174
DG1	-0,84266	0,456	-1,85	0,0670
DG2	-0,11657	0,421	-0,28	0,7821
DG3	0,00000	-	-	-
$\ln(dap)$	0,73521	0,126	5,83	<.0001
$\ln(dap)*DG1$	0,31964	0,142	2,24	0,0267
$\ln(dap)*DG2$	0,11000	0,136	0,87	0,3860
$\ln(dap)*DG3$	0,00000	-	-	-

A distribuição de galhos influenciou a estimativa do diâmetro de copa devido às árvores com pior distribuição de galhos corresponder àquelas onde a copa é mais assimétrica, caso das árvores com distribuição de galhos 2 e 3. Para as copas classificadas com distribuição de galhos 1, com copas perfeitas em termos de simetria, a estimativa do diâmetro de copa é superior, como mostra a Figura 32. As novas equações para a (DG1) e para a (DG2+DG3) foram:  $\ln(dc) = -1,76773 + 1,05485.\ln(dap)$  e  $\ln(dc) = -1,19837 + 0,88682.\ln(dap)$ , respectivamente.

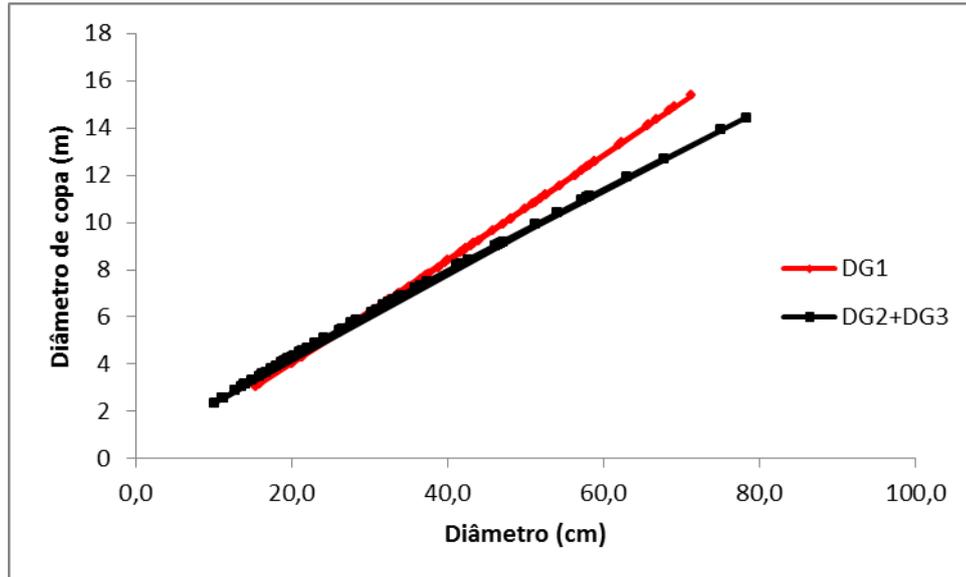


Figura 32 – Desenvolvimento do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito da *Ocotea porosa* para a distribuição dos galhos 1 (DG1) e para a distribuição dos galhos 2 e 3 (DG2+DG3).

Esse resultado comprova a grande interferência da competição na formação das copas e conseqüentemente no incremento, principalmente a partir da classe diamétrica 40 cm, onde as retas da estimativa do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito mudam de inclinação nitidamente, como demonstrado na Figura 32.

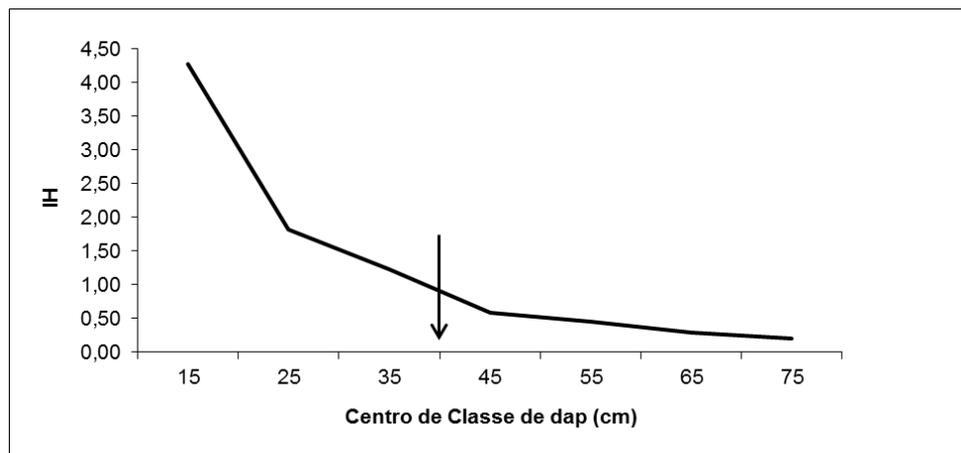


Figura 33 – Comportamento médio do índice de Hegyi (IH) por classe diamétrica para *Ocotea porosa* em Calmon (SC) e Caçador (SC), evidenciando um dos pontos de transição de maior grau de concorrência para menor grau de concorrência.

Quando, paralelamente ao comportamento do diâmetro de copa em função do dap, observou-se o comportamento do índice de Hegyi (Figura 33), que foi o que

melhor representou a competição, notou-se que, a partir do ponto correspondente à classe diamétrica de 40 cm, o grau de concorrência sofrida pelas imbuías diminui consideravelmente tendendo a estabilizar. Por isso, a distribuição dos galhos na maioria dos indivíduos observados também mudou nesse mesmo ponto indicando duas equações diferentes para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito.

Esse resultado mostrou que é preciso antecipar o ponto de liberação das copas das imbuías para diâmetros menores que 40 cm a fim de oferecer uma maior capacidade, em termos de morfometria, para as copas das árvores remanescentes e, conseqüentemente proporcionar um maior incremento para essas árvores. Portanto o manejo da espécie em florestas nativas deve ocorrer, preferencialmente, antes que os indivíduos atinjam os 40 cm de dap para que ocorra um melhor desenvolvimento.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados conclui-se que o incremento periódico anual percentual em área basal tem uma maior influência das variáveis morfométricas do que das variáveis de concorrência, porém as duas significativas.

As variáveis de maior poder explicativo para o incremento periódico anual percentual em área basal foram o diâmetro à altura do peito e a vitalidade da copa, sendo também consideradas no modelo o índice de saliência e o índice de concorrência de BAL.

Os indivíduos de *Ocotea porosa* possuem uma grande dispersão dos dados de incremento periódico anual percentual em área basal, o que é explicado pelas próprias características das florestas nativas, onde há várias espécies de várias idades e diferentes demandas de luminosidade, água e nutrientes para o seu crescimento.

A espécie *Ocotea porosa* apresentou um grande potencial para a produção de matéria prima, com incremento corrente anual máximo de 1,83 cm em diâmetro na classe diamétrica de 55 cm e mínimo de 0,04 cm em diâmetro na classe diamétrica de 25 cm, evidenciando a grande necessidade do manejo florestal para uma produção sustentável.

O modelo selecionado para estimar a altura das árvores individuais de *Ocotea porosa* foi o de Chapman Richards Modificado com dois parâmetros, tendo como opção alternativa o modelo logarítmico de Stofells. Os dados para altura em função do diâmetro, estratificados pelas variáveis aleatórias discretas vitalidade de copa, distribuição de galhos, qualidade do fuste, posição sociológica e exposição do terreno não melhoraram as estatísticas do modelo.

A equação que melhor ajustou-se aos dados de diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito foi a logarítmica. A variável qualitativa distribuição dos galhos (DG) foi a única que influenciou na estimativa do diâmetro de copa. Portanto, o conjunto de dados foi dividido em árvores com copas simétricas de maior crescimento em diâmetro de copa e árvores com copas assimétricas de menor crescimento em diâmetro de copa.

A estimativa do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito deve ser utilizada separadamente para locais onde há maior competição.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica, do departamento de Madre de Dios, Peru.** 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control: Boston, v. 19, n. 6, p. 716 – 723, Dez. 1974.

ARNONI, A. C. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC.** 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ASSMAN, E. **The Principles of Forest the Yield Study.** Muchen: BLV, 1970. 490p.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Ávores do Sul: Guia de Identificação e Interesse Ecológico.** 2. ed. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2009. 332 p.

BIGING, S. B.; DOBBERTIN, M. Evaluation of Competition Indices in Individual Tree Growth Models. **Forest Science**, v. 41, n. 2, p. 360 – 367, 1995.

BIODIVERSITAS. **Revisão da Lista da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção.** Disponível em <[www.biodiversitas.org.br/floraBr/](http://www.biodiversitas.org.br/floraBr/)>, acessado em: 02/02/2012.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas.** 3. ed. atual. e ampl. Viçosa: Editora UFV, 2009. 548 p.

CAPRETZ, R. L. **Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do Estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem, como a função K de Ripley.** 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – ESALQ/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: DF, Embrapa Informação Tecnológica, Colombo: Embrapa Florestas, 2003, 1039 p.

CHUDNOFF, M. **Tropical Timbers of the World.** USDA Forest Service, Ag. Handbook, N. 607. 1984.

CORADIN, L.; SIMINSKI A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: Plantas para o futuro – Região Sul.** Brasília: MMA, 2011. 934p.

COSMO, N. L.; et al. Dendroecologia da espécie *Ocotea porosa* (imbuia), Lauraceae, em áreas de Floresta Ombrófila Mista na região de Faxinal do Céu,

Paraná. In: SEMANA SUL-AMERICANA DE CAMPO EM DENDROCRONOLOGIA, 6., 2009, Faxinal do Céu. **Anais...** Faxinal do Céu, 2009, p. 1-8.

CUNHA, T. A. da. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Floresta Amazônica.** 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. M. **Forest Management.** 3<sup>rd</sup> ed. New York: Macgrall-Hill, 1987, 790 p.

DELLA-FLORA, J. B.; DURLO, M. A.; SPATHELF, P. Modelo de incremento para árvores singulares - *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Ciência Florestal.** Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 165-177, 2004.

DOBSON, A. J. **Na Introduction to Generalized Linear Models.** 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: Chapman e Hall/CRC Press, 2002, 240 p.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-150, jun. 2001.

FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; TREVISAN, R. Prognose do crescimento volumétrico individual de árvores de *Eucalyptus* em povoamentos na Região Centro Sul. **Boletim de Pesquisas Florestais,** Colombo, n. 51, p. 05-16, jul./dez., 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A.; et al. Avaliação do incremento em diâmetro com o uso de cintas dendrométricas em algumas espécies de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Estado do Paraná. **Revista Ciências Exatas e Naturais,** v. 5, n. 1, p. 69 – 84, Jan./Jun. 2003.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FLORIANO, E. P.; MULLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal,** v. 16, n. 2, p. 177-199. 2006.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate.** London: Academic Press, 1976, 567p.

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.

GLOVER, G. R.; HOOL, J. N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science,** Washington, v. 25, n. 2, p. 275-282. 1979.

HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. **Forest Ecology and Management,** v. 96, p. 197-206, 1997.

HASENAUER, H.; MONSERUD, R.A. A crown ratio model for Austrian forests. **Forest Ecology and Management**, v. 84, p. 49-60, 1996.

HINES, W. W. et al. **Probabilidade e Estatística na Engenharia**. 4th ed. Tradução Vera Regina Lima de Farias e Flores; revisão técnica Ana Maria Lima de Farias. Rio de Janeiro: LTC, 2006, 588 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. New York: Jon Wiley & Sons, 1982, 402 p.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Flora: Lista Oficial de Flora Ameaçada de Extinção**. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/flora/extincao.htm>>, acessado em: 01/02/2012.

IBDF. INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Inventário Florestal do Pinheiro no Sul do Brasil**. Curitiba, 1978.

IMAÑA, E. J.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: UNB, 2005. 40 p.

IPEF. INSTITUTO DE PESQUISAS FLORESTAIS. **Identificação de Espécies Florestais**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=45>>, acessado em: 02/01/2012.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Amostras de Madeira: *Ocotea porosa* (Nees ex. Mart.) Barroso (Imbuia)**. Disponível em: <[http://home.utad.pt/~floresta/LPF/ocotea\\_porosa.htm](http://home.utad.pt/~floresta/LPF/ocotea_porosa.htm)>, acessado em 07/07/2009.

LEONARDECZ-NETO, E.; VENCOVSKY, R.; SEBBENN, A. M. Ajuste para competição entre plantas em teste de progênies e procedências de essências florestais. **Scientia Forestalis**. n. 63, p. 136-149, jun. 2003.

LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2004. 209 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma florestal natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no sul do Brasil**. 1980, 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. vol. 1. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998, 387 p.

LORIMER, C. G. Test of age-independent competition index for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 6, p. 346-360, 1983.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of Woody Plants**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997, 411 p.

MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.

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

MATTOS, P. P. de. et al. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 30, n. 64, p. 319-326, nov./dez. 2010.

MATTOS, P. P. de. et al. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do município de Candói, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, n. 54, p. 153-156, jan./jul. 2007.

MARTINS, S. V. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 261 p.

McCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized Linear Models**. 2nd ed. London: Chapman and Hall, 1989. 511 p.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa n. 06-08 de setembro de 2008**. 55 p. Disponível em: <[www4.icmbio.gov.br/sisbio/legislacao.php?id\\_arq=42](http://www4.icmbio.gov.br/sisbio/legislacao.php?id_arq=42)>, acessado em: 02/02/2012.

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

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized Linear Models. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series A, v. 135, p. 370-384, 1972.

NUTTO, L.; TONINI, H.; BORSOI, G. A.; MOSKOVICH, F. A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 42, p. 110-122, jan./jun. 2001.

OLIVEIRA, J. M. de. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de dendrocronologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Ciências com Ênfase em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, abr./jun. 2008.

PALAHÍ, M.; PUKKALA, T. Optimising the management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Spain based on individual-tree models. **Annals of Forest Science**, v. 60, n. 2, p. 105-114, march. 2003.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. São Paulo: IME/USP, 2004, 253 p.

PEREIRA, L. D. **Dendrocronologia de *Cedrela fissilis* (Vell.) na Região de Santa Maria, RS**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PIUTTI, E.; CESCATTI, A. A quantitative analysis of the introduction between climatic response and intraspecific competition in European beech. **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)

PRETZSCH, H. **Forest Dynamics, Growth and Yield**. Berlin: Springer, 2009, 664p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San José: GTZ, 1997, 561p.

QUINET, A., BAITELLO, J.B., MORAES, P.L.R. de. *Lauraceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2010. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB008479>).

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira de Santa Catarina**. Sellowia, Itajaí, n.28-30, p.3-320, 1978.

RIVERA, H. **Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada**. 2007. 257 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ROSA, S. A. **Modelos de crescimento de quatro espécies madeireiras de floresta de várzea da Amazônia Central por meio de métodos dendrocronológicos**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M.; MATTOS, P. P.; GARRASTAZU, M. C.; SHIMIZU, J. Y. **Monitoramento na Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI (RFEE) em Caçador, SC**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 35 p. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1517-536X ; 158) ISSN 1679-2599 (CD-ROM).

SANTOS, A. T. dos. **Análise do crescimento e simulação de manejo de um plantio de *Ocotea porosa***. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTA CATARINA. **Informações Turísticas**. Disponível em: <<http://www.sc.gov.br>>, acessado em: 01/02/2012.

SAS/STAT. **User's guide** – release 9.1. 3 edition. Cary N. C.: SAS Institute Inc. 2004.

SCHEEREN, L. W.; et al. Crescimento do louro-pardo, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., na depressão central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 12, n. 002, p. 169-176, dez. 2002.

SCHEEREN, L. W.; et al. Crescimento de canela-lageana, *Ocotea pulchela* Nees Et Mart. Ex Nees, na depressão central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 13, n. 001, p. 137-144, dez. 2003.

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

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

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS/UFSM, 2008. 566 p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. de. **Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal**. 2nd ed. rev. e ampl. Santa Maria: FACOS/UFSM, 2009. 294 p.

SCHRÖDER, SOALLEIRO, R. R.; VEJA, A. G. An age-independent basal area increment model for maritime pine trees in northwestern Spain. **Forest Ecology and Management**, v. 157, n. 1-3, p. 55-64, March. 2002.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

SHIVER, B. D.; BORDERS, B. E. **Sampling Techniques for Forest Resource Inventory**. Toronto: Jon Wiley & Sons, Inc., 1996. 356p.

SOARES, P.; TOMÉ, M. A tree crown ratio prediction equation for eucalypt plantations. **Ann. For. Sci.** 58:193–202. 2001.

SOUZA, L. H. S.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Incremento volumétrico de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v.19, n. 3, p. 305 - 314, jul/set. 2009.

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

STAGE, A. R. Prognosis model for stands development. **USDA For. Serv. Res. Pap. INT – 137**. Washington, DC, 1973, 32 p.

STEPKA, T. F. **Modelagem do Crescimento e Dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no Sul do Brasil**. 2012. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2012.

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

THOMÉ, N. **Isto é Caçador: Estudo geográfico do município**. Caçador: Imprensa Universal, 1978. 177 p.

TOMÉ, M.; BURKHART, H. E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual tree. **Forest Science**. Washington, v. 35, n. 3, p. 816-831. 1989.

TONINI, H.; KAMINSKI, P. E.; COSTA, P. da. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas de copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, nov. 2008.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul**. 2003, 331 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TONINI, H. Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007, 30p. (Documentos / Embrapa Roraima; 8).

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos lineares generalizados: da teoria à prática**. Lisboa, 2000, 153 p.

VANCLAY, J. K. **Modeling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests**. Copenhagen: CAB International, 1994, 312p.

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.

WIKIPÉDIA. **Wikipédia: A enciclopédia livre**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina>>, acessado em: 07/11/2011.

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 1-11, 1996.

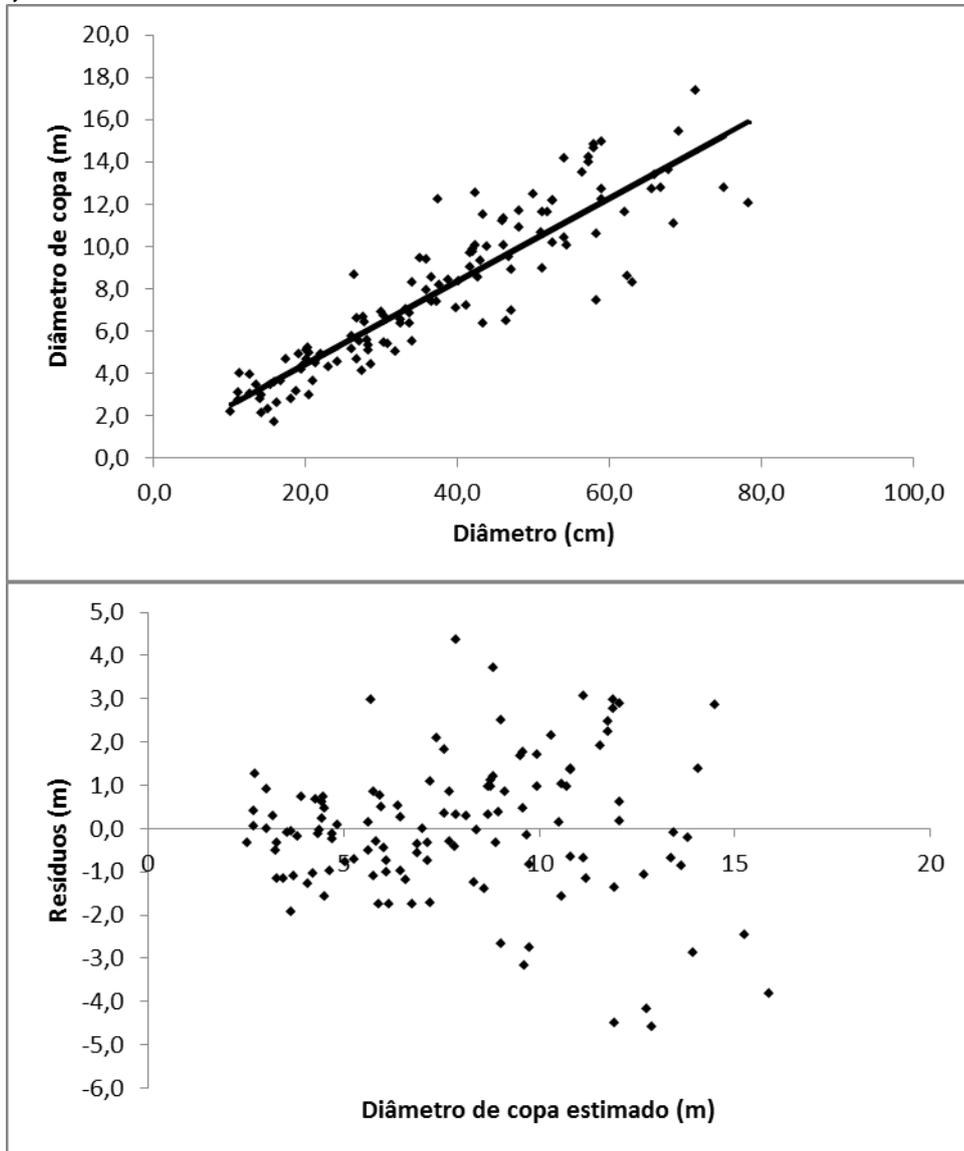
YAO, X.; TITUS, S. J.; MACDONALD, S. E. A generalized logistic modelo f individual-tree mortality for aspen, White spruce, and lodgepole pine in Alberta mixedwood forest. **Canadian Journal Forest Research**, v. 31, n. 2, p. 283-291, 2001.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioicia**. 2007. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

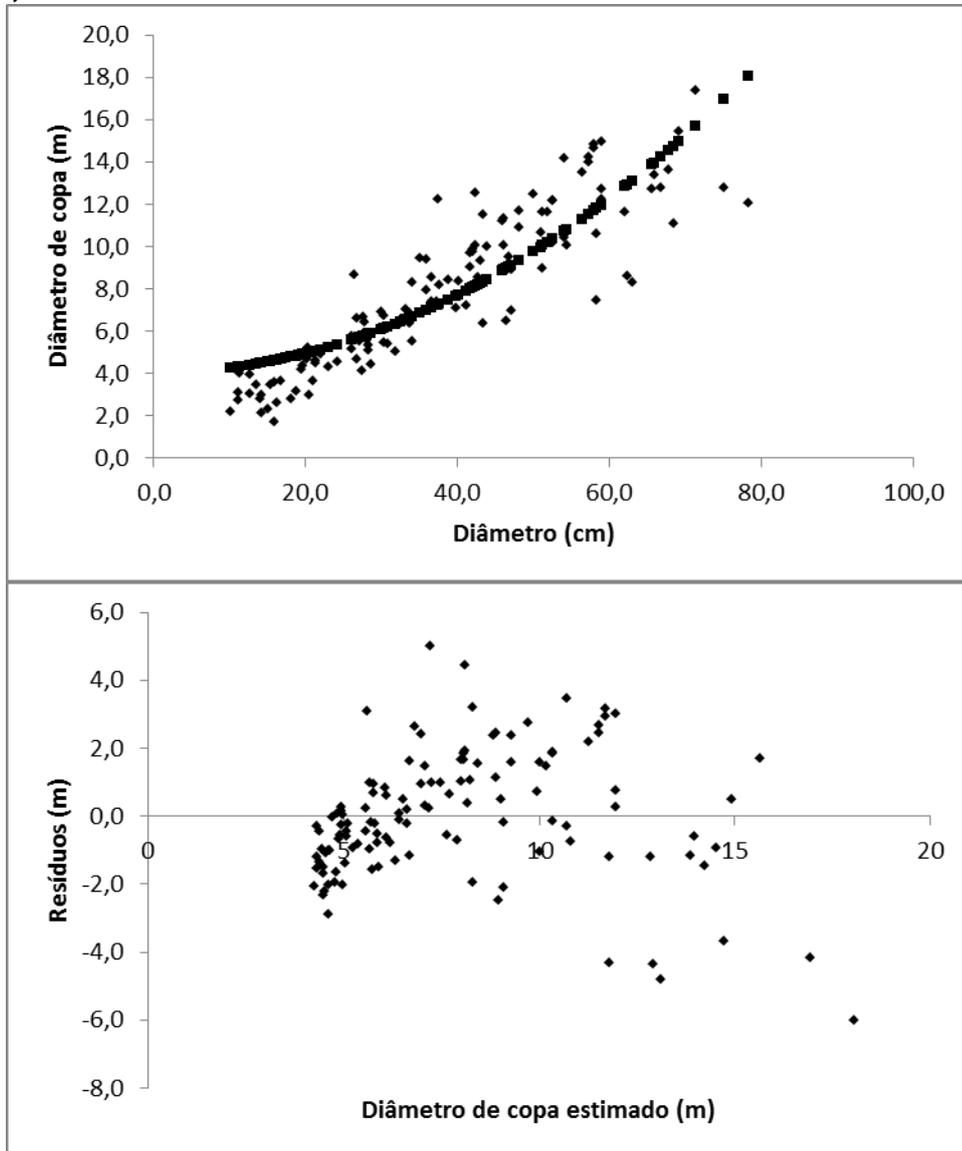




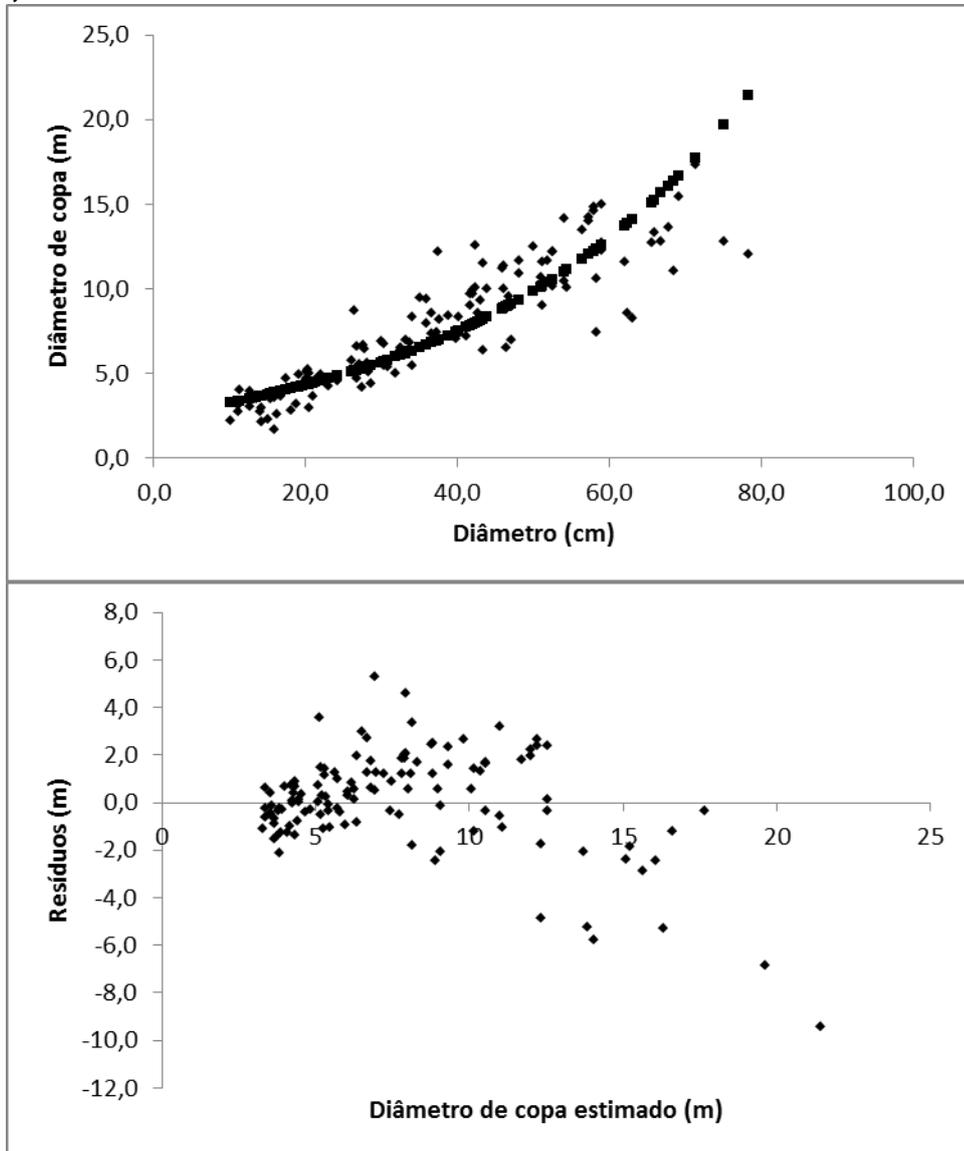
Apêndice C – Ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito pela equação  $dc=0,52773+0,19590.dap$  e, dispersão dos resíduos em função da estimativa do diâmetro de copa para *Ocotea porosa* em Calmon e Caçador, SC.



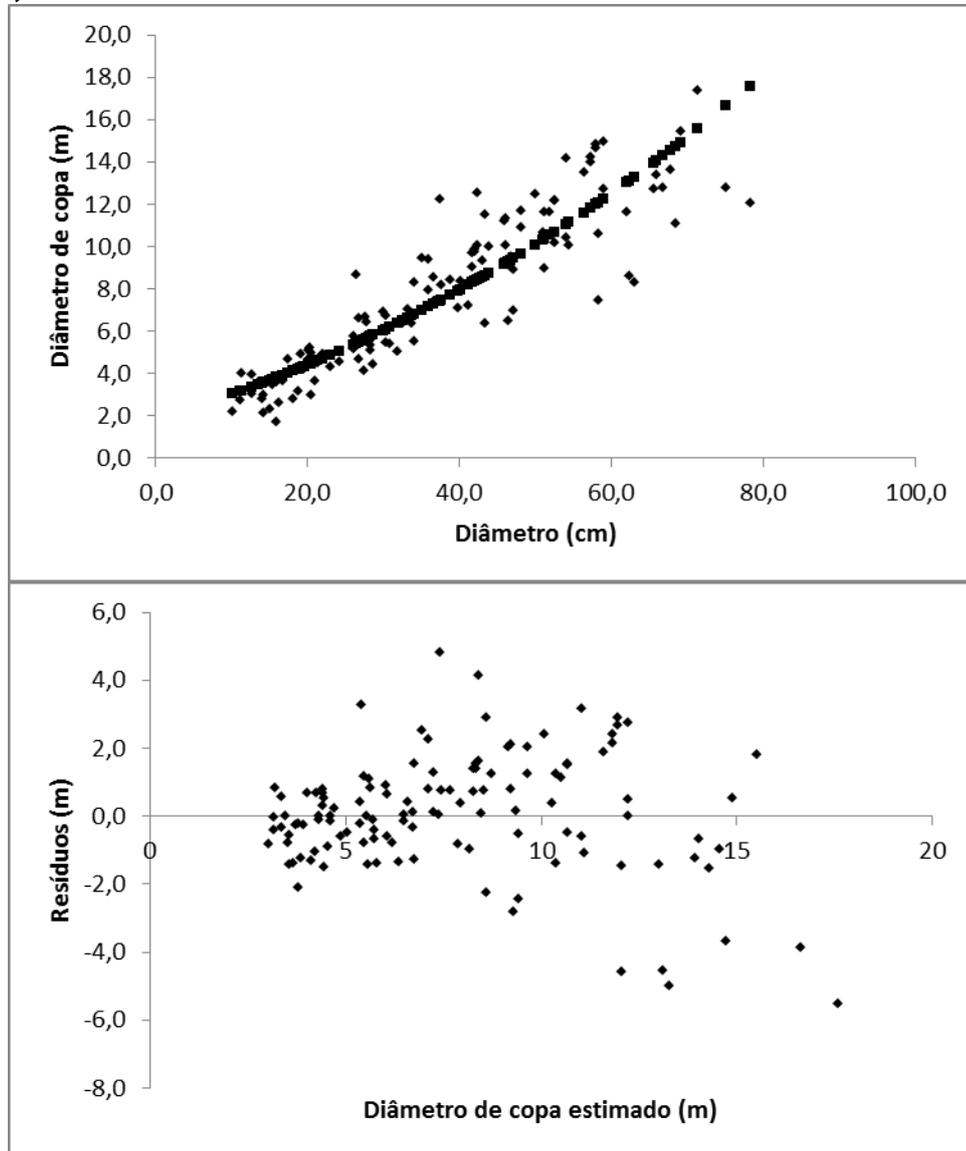
Apêndice D – Ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito pela equação  $dc=4,01021+0,00229.dap^2$  e, dispersão dos resíduos em função da estimativa do diâmetro de copa para *Ocotea porosa* em Calmon e Caçador, SC.



Apêndice E – Ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito pela equação  $\ln(dc)=0,90454+0,02760.dap$  e, dispersão dos resíduos em função da estimativa do diâmetro de copa para *Ocotea porosa* em Calmon e Caçador, SC.



Apêndice F – Ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito pela equação  $\sqrt{dc}=1,37496+0,03599.dap$  e, dispersão dos resíduos em função da estimativa do diâmetro de copa para *Ocotea porosa* em Calmon e Caçador, SC.



**Apêndice G – Ajustes da altura total em função do diâmetro à altura do peito e dispersão dos resíduos em função da estimativa da altura total pelas equações de números 1, 2, 3, 5, 6, 7 e 8 respectivamente, para *Ocotea porosa* em Calmon e Caçador, SC.**

