

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

**RESTABELECIMENTO DE *Araucaria angustifolia* E  
*Ocotea porosa* APÓS SETE DÉCADAS DA  
EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

**TESE DE DOUTORADO**

**Rafael Cubas**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**



**RESTABELECIMENTO DE *Araucaria angustifolia* E  
*Ocotea porosa* APÓS SETE DÉCADAS DA  
EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

**Rafael Cubas**

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

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

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

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

Cubas, Rafael  
Restabelecimento de Araucaria angustifolia e Ocotea  
porosa após sete décadas da exploração florestal. / Rafael  
Cubas.-2015.  
118 p.; 30cm

Orientador: César Augusto Guimarães Finger  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2015

1. Dendrocronologia 2. Modelo de árvores individuais  
3. Regeneração natural 4. Análise de tronco parcial I.  
Finger, César Augusto Guimarães II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Rafael Cubas. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: florestal.rafael@gmail.com

---

**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

**RESTABELECIMENTO DE *Araucaria angustifolia* E *Ocotea porosa*  
APÓS SETE DÉCADAS DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

elaborada por  
**Rafael Cubas**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

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

---

**Patrícia Pova de Mattos, Dra. (Embrapa)**

---

**Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, Dr. (UFRPE)**

---

**Solon Jonas Longhi, Dr. (UFSM)**

---

**Magda Lea Bolzan Zanon, Dra. (UFSM)**

Santa Maria, 31 de Março de 2015.



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, e aos meus pais e familiares.

A minha esposa Patricia, pela paciência e compreensão no período de desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger, pelo total apoio, amizade, confiança, ensinamento, orientações e contribuições concedidas em todo o período de realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Paulo Renato Schneider, Dr. Frederico Dimas Fleig, pelas contribuições com bons ensinamentos no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFSM, pela oportunidade concedida.

A todos colaboradores do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que administram a Floresta Nacional de Três Barras, pelo total apoio em todo o andamento de realização da coleta dos dados.

As pessoas que sempre pude contar em trabalhos realizados em campo, Luiz Gustavo Dranca, Silmar Nazário, Cristiano dos Santos Adaminski - Néco (Flona Três Barras), Reginaldo Kurchevski (Flona Três Barras).

A todos os colegas e amigos do programa de pós-graduação, pela amizade e pelos bons momentos vividos.

Aos amigos Engenheiros Florestais colegas do programa de pós-graduação, que em momentos importantes no decorrer da tese, sempre estavam dispostos em ajudar: Anna Zimmerman, David Lira, Emanuel Arnoni Costa, Evandro Meyer, Gabriel Paes Marangon, Jean Alberto Sampietro, Jean Pierre Cavalli, Noé hofiço, Piérre André Bellé, Régis Villanova Longhi, Thiago Augusto da Cunha.





## RESUMO

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

### **RESTABELECIMENTO DE *Araucaria angustifolia* E *Ocotea porosa* APÓS SETE DÉCADAS DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL**

AUTOR: RAFAEL CUBAS

ORIENTADOR: DR. CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER

Data e local da defesa: Santa Maria, 31 de março de 2015.

Pesquisas no âmbito do crescimento de espécies arbóreas são muito importantes para o manejo e a conservação de remanescentes florestais. Distúrbios que ocorrem na floresta são os responsáveis pela dinâmica da formação de clareiras, que influenciam diretamente no estabelecimento e no crescimento das espécies arbóreas. Registros e evidências históricas apontaram que um remanescente de 26 ha de Floresta Ombrófila Mista, localizado na Floresta Nacional de Três Barras, município de Três Barras, SC, foi abandonado após intensa exploração madeireira entre o período de 1911 a 1940, configurando-se como um remanescente importante para estudos de crescimento das espécies frente aos distúrbios antrópicos. Desse modo, o crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso foi estudado na posição da base, no diâmetro à altura do peito, no ponto de inserção da copa e na altura de bifurcação do fuste por análise de tronco parcial, visando construir séries de crescimento para cada posição avaliada e modelar o incremento periódico anual em área basal (IPAg) para os últimos cinco anos no dap. As árvores foram selecionadas aleatoriamente e os rolos de incremento amostrados com o uso de trado de Pressler. No laboratório, os anéis de crescimento foram mensurados, sincronizados com auxílio do programa COFECHA e construídas as séries cronológicas. O modelo tipo de árvore individual foi desenvolvido pelo procedimento *stepwise*, tendo o incremento em área basal (variável dependente), as variáveis dimensionais e o status competitivo das árvores amostradas, como variáveis independentes. Os critérios estatísticos para a seleção dos modelos foram o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) e a distribuição gráfica dos resíduos. Os resultados comprovaram que as árvores mais grossas amostradas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* regeneraram-se logo após a exploração madeireira, dando origem ao restabelecimento da floresta. A largura dos anéis de crescimento em cada amostra radial apresenta grande variação em anos sucessivos, mas os anéis de crescimento formados no ponto de inserção da copa apresentam-se homogêneos. A transformação logarítmica do IPAg e as variáveis independentes: diâmetro à altura do peito, índice de Hegyi e comprimento de copa, permitiram obter modelos que descrevem o crescimento de árvores submetidas a diferentes condições ambientais.

**Palavras-chave:** Dendrocronologia. Modelo de árvores individuais. Regeneração natural. Análise de tronco parcial.



## ABSTRACT

Doctor's Thesis  
Forest Engineering Post Graduation Program  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### RE-ESTABLISHMENT OF *Araucaria angustifolia* AND *Ocotea porosa* SEVEN DECADES AFTER LOGGING

AUTHOR: RAFAEL CUBAS

ADVISOR: CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER

Date and place of defense: Santa Maria, March 31<sup>th</sup>, 2015.

Research in the growth of tree species are very important for the management and conservation of forest remnants. Disturbances that occur in the forest are responsible for the dynamic formation of gaps, which directly influence the establishment and growth of species. Historical records and evidence showed that a remnant of 26 hectares of Mixed Ombrophylous Forest, located in the Três Barras National Forest, Santa Catarina state, abandoned after intensive logging performed between the period 1911 to 1940, taking shape as an important remaining for growth studies of species after anthropogenic disturbances. Thus, the growth of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze and *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso was measured in its base, breast height and crown insertion point and or bole bifurcation height, by partial trunk analysis, to construct growth series for each evaluated position and model the periodical annual increment in basal area (IPAG) for the last five years in the DBH. The trees were randomly selected and increment samples were taken with the use of Pressler's borer. In the laboratory, the growth rings were measured, synchronized with the aid of COFECHA program and constructed time series. The individual tree model type was developed by *stepwise* procedure and the increment in basal area (dependent variable) and the dimensional variables and the competitive status of the trees, as independent variables. Statistical criteria for the selection of models were the adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ), Standard error of estimate ( $S_{yx}$ ) and the graphical distribution of residuals. Results showed that the thicker trees from *Araucaria angustifolia* and *Ocotea porosa* regenerated after the logging conducted, leading to the restoration of the forest. The width of the growth rings on each radial sample show a wide variation in successive years, but the growth rings formed in the crown insertion point presents more uniformity. The logarithmic transformation of IPAG and the independent variables: diameter at breast height, hegyi index and crown length, have allowed creating models describing the growth of trees under different environmental conditions.

**Keywords:** Dendrochronology. Individual trees model. Natural regeneration. Lumber company.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos grupos ecofisiológicos das espécies arbóreas, de acordo com Budowski (1965). .....	30
Tabela 2 - Lista das 10 espécies com os maiores valores de importância (VI) encontrados no ano de 2009 em 26 ha de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de Três Barras, SC.....	43
Tabela 3 - Fórmulas para cálculo das variáveis morfométricas.....	50
Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores objetivo de <i>Araucaria angustifolia</i> na FLONA de Três Barras, SC.....	62
Tabela 5 - Variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores objetivo de <i>Ocotea porosa</i> na FLONA de Três Barras. ....	65
Tabela 6 - Controle de qualidade da medida dos anéis de crescimento da base das árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> executados pelo software COFECHA.....	68
Tabela 7 - Controle de qualidade da medida dos anéis de crescimento das amostras do diâmetro à altura do peito das árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> executados pelo software COFECHA. ....	69
Tabela 8 - Controle de qualidade das medidas dos anéis de crescimento das amostras do ponto de inserção da copa das árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> executados pelo software COFECHA. ....	70
Tabela 9 - Coeficientes de correlação entre as cronologias máster da base, diâmetro à altura do peito (d) e ponto de inserção da copa (pic). ....	73
Tabela 10 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras da base das árvores de <i>Ocotea porosa</i> executados pelo software COFECHA.....	75
Tabela 11 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras do diâmetro à altura do peito das árvores de <i>Ocotea porosa</i> executados pelo software COFECHA. ....	76
Tabela 11 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras do diâmetro à altura do peito das árvores de <i>Ocotea porosa</i> executados pelo software COFECHA. ....	77
Tabela 12 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras da altura de bifurcação do fuste das árvores de <i>Ocotea porosa</i> executados pelo software COFECHA. ....	77
Tabela 13 - Coeficientes de correlação entre as cronologias máster obtidas nas diferentes posições do fuste da <i>Ocotea porosa</i> . ....	79
Tabela 14 - Correlação de Pearson observada entre o logaritmo do incremento periódico anual em área basal e as variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição, originais e transformadas. ....	85

Tabela 15 - Regressão passo a passo obtida no procedimento <i>stepwise</i> (A) e estatísticas de ajuste e precisão do modelo (B) da equação do logaritmo de incremento periódico anual em área basal (Ln IPAg) da <i>Araucaria angustifolia</i> . .....	87
Tabela 16 - Correlação de Pearson observada entre o logaritmo do incremento periódico anual em área basal e as variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição, originais e transformadas.....	91
Tabela 17 - Regressão passo a passo obtida no procedimento <i>stepwise</i> (A) e estatísticas de ajuste e precisão do modelo (B) da equação do logaritmo de incremento periódico anual em área basal (Ln IPAg) da <i>Ocotea porosa</i> . .....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de sucessão florestal. ....	31
Figura 2 - Localização e disposição das 26 ha de Floresta Ombrófila Mista, demarcados com o uso de parcelas permanentes, na FLONA de Três Barras, SC.....	42
Figura 3 - Formações geológicas e localização da FLONA de Três Barras (TB) no estado de Santa Catarina. ....	44
Figura 4 - Classes de solos da FLONA e a localização aproximada do remanescente de Floresta Ombrófila Mista, onde foi conduzido o presente estudo.....	45
Figura 5 - Operações florestais da empresa Brazil Lumber & Colonization Company que refletem o corte (A), o arraste (B), o carregamento (C) e o transporte (D) das toras de espécies exploradas na Floresta Ombrófila Mista na região do planalto norte catarinense. ....	46
Figura 6 - Distribuição diamétrica das árvores objetivo, de acordo com a espécie avaliada.....	48
Figura 7 - Relação das variáveis dendrométricas e morfométricas da <i>Araucaria angustifolia</i> em função do índice de competição, com os respectivos coeficientes de correlação de Pearson (r) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da linha de tendência.....	63
Figura 8 - Relação das variáveis dendrométricas e morfométricas da <i>Ocotea porosa</i> em função do índice de competição, com os respectivos coeficientes de correlação de Pearson (r) e coeficientes de determinação da linha de tendência ( $R^2$ ).....	66
Figura 9 - Correlação de Pearson (r) dos segmentos das séries individuais com os segmentos da série máster e teste de Tukey entre as médias da correlação das séries com a máster para a <i>Araucaria angustifolia</i> . ....	72
Figura 10 - Série cronológica (máster) obtida na base, diâmetro à altura do peito (dap) e ponto de inserção da copa (pic) das árvores amostradas de <i>Araucaria angustifolia</i> . ....	73
Figura 11 - Correlação de Pearson (r) dos segmentos das séries individuais com os segmentos da série máster e teste de Tukey entre a correlação das séries com a série máster obtida na base, diâmetro à altura do peito (d) e altura de bifurcação do fuste para <i>Ocotea porosa</i> .....	78
Figura 12 - Séries máster da base, diâmetro à altura do peito (dap) e altura de bifurcação do fuste (hf) das árvores de <i>Ocotea porosa</i> .....	80
Figura 13 - Incremento periódico médio em diâmetro nas idades 0 a 10 anos da <i>Araucaria angustifolia</i> (A) e <i>Ocotea porosa</i> (B). ....	81
Figura 14 - Incremento diamétrico médio anual das espécies avaliadas por classe de diâmetro. ....	83

- Figura 15 - Distribuição dos dados estimados e observados do logaritmo de incremento periódico anual em área basal da *Araucaria angustifolia* em razão das variáveis independentes selecionadas no modelo desenvolvido: inversa do diâmetro à altura do peito (A); índice de Hegyi (B) e inverso do comprimento de copa (cc). ..... 88
- Figura 16 - Distribuição dos resíduos percentuais em função dos valores estimados da variável logaritmo do incremento periódico anual em área basal de *Araucaria angustifolia*. ..... 89
- Figura 17 - Distribuição dos dados estimados e observados do logaritmo do incremento periódico anual em área basal da *Ocotea porosa* em razão das variáveis independentes selecionadas no modelo desenvolvido: Índice de Hegyi (A); diâmetro à altura do peito (B) e inversa do comprimento de copa (C). ..... 95
- Figura 18 - Distribuição dos resíduos percentuais em função dos valores estimados da variável logaritmo do incremento periódico anual em área basal de *Ocotea porosa*. ..... 96



## LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A - Comportamento do incremento periódico anual em área basal (IPAg) da *Araucaria angustifolia* com as variáveis de tamanho e competição da árvore..... 115
- Apêndice B - Comportamento do incremento periódico anual em área basal (IPAg) da *Ocotea porosa* com as variáveis de tamanho e competição da árvore..... 116
- Apêndice C - Histograma da distribuição dos dados observados do incremento periódico anual em área basal (A) e logaritmizada (B) da *Araucaria angustifolia*..... 117
- Apêndice D - Histograma da distribuição dos dados observados do incremento periódico anual em área basal (A) e logaritmizada (B) da *Ocotea porosa*..... 118



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1 Floresta Ombrófila Mista</b> .....	<b>23</b>
2.1.1 Características da espécie <i>Araucaria angustifolia</i> .....	24
2.1.2 Características da espécie <i>Ocotea porosa</i> .....	27
2.1.3 Exploração florestal e a formação de clareiras.....	28
<b>2.2 Crescimento</b> .....	<b>33</b>
2.2.1 Modelagem do crescimento .....	34
<b>2.3 Dendrocronologia</b> .....	<b>37</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1 Descrição da área de estudo</b> .....	<b>41</b>
3.1.1 Localização .....	41
3.1.2 Características edafoclimáticas.....	43
3.1.3 Histórico de exploração madeireira .....	45
3.1.4 Espécies avaliadas.....	47
<b>3.2 Amostragem e seleção dos indivíduos</b> .....	<b>48</b>
3.2.1 Variáveis dendrométricas medidas .....	49
3.2.2 Variáveis morfométricas:.....	49
3.2.3 Variáveis de competição .....	51
3.2.4 Dendrocronologia .....	53
3.2.4.1 Coleta das amostras e medição da largura dos anéis de crescimento.....	53
3.2.4.1.1 Controle da sincronização dos anéis de crescimento.....	54
<b>3.3 Análise dos dados</b> .....	<b>55</b>
3.3.1 Análise da capacidade de reestabelecimento da floresta .....	56
3.3.2 Modelagem do incremento periódico anual em área basal (IPAg) .....	56
3.3.2.1 Modelagem de regressão e seleção de modelos de árvore individual .....	58
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>61</b>
<b>4.1 Caracterização das variáveis dimensionais das árvores objetivo</b> .....	<b>61</b>
4.1.1 Variação dimensional por classe de diâmetro das árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> .....	61
4.1.2 Variação dimensional por classe de diâmetro das árvores de <i>Ocotea porosa</i> .....	64
<b>4.2 Dendrocronologia de <i>Araucaria angustifolia</i></b> .....	<b>67</b>
<b>4.3 Dendrocronologia de <i>Ocotea porosa</i></b> .....	<b>74</b>
<b>4.4 Capacidade de reestabelecimento da floresta</b> .....	<b>80</b>
4.4.1 Crescimento em diâmetro das árvores amostradas .....	83
<b>4.5 Modelagem do incremento periódico anual em área basal da <i>Araucaria angustifolia</i></b> .....	<b>84</b>
4.5.1 Seleção das variáveis independentes potenciais para a modelagem .....	84
4.5.2 Desenvolvimento do modelo de regressão .....	85

4.5.3 Análise de distribuição dos resíduos.....	89
<b>4.6 Modelagem do incremento periódico anual em área basal da <i>Ocotea porosa</i>.....</b>	<b>89</b>
4.6.1 Seleção das variáveis independentes potenciais .....	90
4.6.2 Modelo desenvolvido .....	92
4.6.3 Análise dos resíduos.....	96
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>97</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>113</b>

# 1 INTRODUÇÃO

No estado de Santa Catarina, o inventário florístico florestal conduzido por Vibrans et al. (2013) apontou que a Floresta Ombrófila Mista compreende 24,4% (13.741,3 km<sup>2</sup>) do total de área que ocupava no passado (42.851,56 km<sup>2</sup>).

Registros históricos indicaram que a intensa exploração madeireira no estado de Santa Catarina teve início, principalmente, a partir das atividades florestais conduzidas pela empresa Southern Brazil Lumber and Colonization Company (Lumber). Considerada a maior serraria da América do Sul, a sua instalação ocorreu no ano de 1910 nos municípios de Calmon e Três Barras, SC (CARVALHO, 2010). De acordo com o autor, as explorações florestais dessa empresa ocorreram entre 1911 e 1939 com 1.524.378 m<sup>3</sup> serrados, sendo explorados, no mínimo, 37.000 ha de Floresta Ombrófila Mista. Foram realizados cortes seletivos sem o uso de técnicas de manejo florestal, priorizando-se *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e, em menor escala, *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso e *Cedrela fissilis* Vell.

Vários remanescentes, após explorados pela Lumber, foram abandonados, não havendo notícias de tratamentos silviculturais e novas práticas de corte seletivo nessas florestas secundárias. Um desses remanescentes (26 ha) está localizado na Floresta Nacional de Três Barras (FLONA), município de Três Barras, SC. A composição florística atual desse remanescente pode estar associada às operações florestais realizadas pela empresa Lumber (CUBAS, 2011), justificada principalmente pela alta densidade de *Araucaria angustifolia* no remanescente, em que representa 17,88% do total de árvores da floresta, considerando o diâmetro à altura do peito (dap) superior a 10 cm. Isso deve-se ao fato de a espécie ser favorecida com a abertura de clareiras, atribuindo-se essa característica ecológica como um dos possíveis fatores responsáveis pela representatividade da espécie na floresta.

De modo geral, quando ocorrem distúrbios em florestas maduras por causas naturais ou antrópicas, existe um consenso entre os pesquisadores de que as espécies pertencentes à família Araucariaceae beneficiam-se, de maneira a pronunciarem-se mais rapidamente em crescimento e em número de árvores ingressas, em comparação com espécies latifoliadas (OFFORD; MEAGHER;

ZIMMER, 2014; WILLIAMSON et al., 2012; ENRIGHT; OGDEN; RIGG, 1999; RIGG; ENRIGHT; JAFFRE, 1998). Essas características, associadas com a longevidade, são reconhecidas como atributos que beneficiam a permanência dessas espécies na estrutura das florestas naturais (OFFORD; MEAGHER; ZIMMER, 2014; ENRIGHT; OGDEN; RIGG, 1999).

Na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, no estado de Rio Grande do Sul, Souza et al. (2008) observaram que o aumento da regeneração natural de *Araucaria angustifolia* no sub-bosque da floresta aumentou com os níveis de luz causado pela passagem de tornado. Em simulação de manejo experimental em Floresta Ombrófila Mista Secundária, Longhi (2011) observou que a araucária apresenta maior número de árvores ingressas, quando realizados cortes seletivos médios, com supressão de 30 a 40% da área basal, ou corte de intensidade pesada com remoção de 50 a 60% da área basal.

A situação encontrada no remanescente de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de Três Barras viabiliza investigar o crescimento da regeneração natural da *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* em áreas intensamente exploradas pela Lumber, para a qual ainda não há registros.

Embora não se encontrem registros de crescimento das florestas, a técnica da dendrocronologia possibilita determinar a idade e o ritmo de crescimento das espécies arbóreas. Logo, permite a obtenção de informações importantes como o comportamento do incremento das árvores quando expostas a condições de maior disponibilidade de luz, como em áreas que sofreram explorações madeireiras, e o crescimento em razão da competição atual em que as árvores encontram-se submetidas.

Portanto, considerando o remanescente de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de Três Barras, o objetivo do presente trabalho foi:

- (I) Descrever o crescimento da floresta após a exploração florestal;
- (II) Comparar as séries de crescimento em nível da base, dap e ponto de inserção da copa em *Araucaria angustifolia* e base, dap e altura de bifurcação do fuste em *Ocotea porosa*.
- (III) Comparar o incremento de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* que cresceram em fase juvenil, à época do reestabelecimento da floresta (com baixa competição), com árvores que se estabeleceram mais tarde, sob competição;

- (IV) Modelar o incremento da área basal em função de variáveis dendrométricas, morfométricas e variáveis que descrevam a competição entre árvores.





## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Floresta Ombrófila Mista

Na região sul do Brasil, a Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como Floresta de Araucária, caracteriza uma das unidades fitogeográficas mais importantes (LEITE; KLEIN, 1990).

O termo Floresta Ombrófila Mista foi, inicialmente, utilizado por Veloso e Goes Filho (1982) e adotado pelo IBGE (2012) na classificação fisionômica da vegetação brasileira. Para Leite e Klein (1990), a concepção dessa unidade fitogeográfica procede da ocorrência da mistura de floras de diferentes origens, com padrões fitofisionômicos típicos, em zonas climáticas pluviais.

Originalmente, a ocorrência dessa unidade fitogeográfica, no início do século XX, era de 200.000 km<sup>2</sup>. Desse total, pouco menos de 40% (74.000 km<sup>2</sup>) ocorriam no estado do Paraná; 25% (46.000 km<sup>2</sup>), no estado do Rio Grande do Sul e, com menor representatividade, no estado de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo (REITZ; KLEIN; REIS, 1983; CARVALHO, 2003). No estado de Santa Catarina, estudo recente aponta para a Floresta Ombrófila Mista área entre 12.350,40 e 15.170,13 km<sup>2</sup> (VIBRANS et al., 2013), representando 24,4% da área de 42.851,56 km<sup>2</sup> ocupada originalmente por essa unidade fitogeográfica no estado catarinense (KLEIN, 1978).

Muitos dos remanescentes ainda existentes encontram-se em locais de difícil acesso, em áreas particulares ou em Unidades de Conservação, sendo que a continuidade desse sistema florestal constitui, hoje, um dos maiores desafios para os programas de conservação (HESS et al., 2014).

De qualquer forma, os motivos que contribuíram para a situação descrita relacionam-se com a intensa exploração madeireira, principalmente, ao corte das espécies de maior importância econômica como *Araucaria angustifolia*, *Ocotea porosa* e *Cedrela fissilis* (VIBRANS et al., 2013; CARVALHO, 2010), e à exploração das espécies não madeiráveis como *Dicksonia sellowiana* Hook. e *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss., exploradas como produtos secundários na floresta (NASCIMENTO; LONGHI; BRENA, 2001) e à conversão das áreas florestais para outros fins, dentre os quais, áreas para a agricultura e para a pecuária (CARVALHO, 2010).

A análise da dinâmica da Floresta Ombrófila Mista nos estados do Sul do Brasil, considerando o diâmetro mínimo de inclusão entre 9,5 a 10 cm, mostra que a área basal dos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista continua aumentando, sugerindo que as florestas ainda não atingiram o estágio clímax (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010). No contexto de área basal, esta alcançou em média 36 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> com uma variação de 25 m<sup>2</sup> a 45 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> com a ocorrência de 655 árvores por hectare, representadas por 88 espécies, 59 gêneros e 35 famílias.

No contexto das famílias botânicas, Sawczuk et al. (2014), Cubas (2011) e Schaaf et al. (2006) registraram a maior predominância de Myrtaceae, Lauraceae e Aquifoliaceae e, em nível de espécies mais importantes quanto à densidade, frequência e dominância, foram relatadas as espécies *Araucaria angustifolia*, *Ocotea porosa*, *Ilex paraguariensis* A. St. –Hill., *Cupania vernalis* Cambess., *Ocotea puberula* (Rich.), *Clethra scabra* Pers., *Myrcia splendens* (Sw.) DC., *Ocotea odorífera* (Vell.) Rohwer, *Nectandra grandiflora* Ness e *Lithraea brasiliensis* Marchand.

A Floresta Ombrófila Mista apresenta quatro formações reconhecidas (IBGE, 2012), sendo: Aluvial, que compreende as planícies aluviais, onde a *Araucaria angustifolia* está associada a espécies que podem variar de acordo com a situação geográfica e a altitude; Submontana, que envolve as disjunções em altitudes inferiores a 400 m; Montana, conhecida como a formação mais expressiva da unidade fitogeográfica, situando-se, aproximadamente, entre 400 e 1.000 m de altitude, e Alto-Montana, estabelecida em altitudes superiores a 1.000 m.

Em decorrência da grande diversidade e importância econômica, ecológica e social, há considerável interesse em estudos com as espécies dos remanescentes de Floresta Ombrófila Mista para obtenção de informações que possam auxiliar na busca de estratégias que visam à utilização sustentável, manutenção e conservação desses ecossistemas.

### 2.1.1 Características da espécie *Araucaria angustifolia*

*Araucaria angustifolia* é uma das espécies arbóreas mais importantes na região sul do Brasil (FRANCO; DILLENBURG, 2007), sendo conhecida pelos nomes: araucária, pinheiro-araucária, pinheiro-brasileiro, pinheiro-do-Paraná, pinheiro-

macaco, pinheiro-caiová, pinho, pinheiro-das-missões, curi, curiúva (LORENZI, 1998).

Trata-se de planta dioica, perenifólia, heliófita, com altura, quando adulta, variando entre 20 a 50 m, com densidade da madeira de  $0,55 \text{ g cm}^{-3}$ . Apresenta tronco retilíneo, sendo encontrada, principalmente, nas regiões de altitude (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2000).

O inventário florístico florestal do estado de Santa Catarina conduzido por Vibrans et al. (2013) aponta que a *Araucaria angustifolia* foi explorada durante anos, resultando em perdas consideráveis em sua representatividade volumétrica. Neste sentido, observaram que, no ano de 1980, o volume era consideravelmente maior em comparação com o ano de 2008,  $41,35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $14,13 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente.

Embora Reitz e Klein (1966) atribuam para *Araucaria angustifolia* características de espécies pioneiras, conhecidas pela necessidade de maiores exigências de luminosidade para desenvolverem-se, outros autores observaram que essa espécie regenera-se em diferentes níveis de luminosidade no interior da floresta (VALENTE; NEGRELLE; SANQUETTA, 2010; PALUDO et al., 2009), sendo capaz de adaptar-se às condições extremas de sombreamento na fase juvenil (INOUE; GALVÃO; TORRES, 1979). Zanini; Ganade e Hubel (2006), contudo, concluíram que as plantas de *Araucaria angustifolia* respondem negativamente à competição a partir do segundo ano de idade.

De qualquer modo, a abertura do dossel decorrente de distúrbios naturais ou antrópicos favorece o aumento do número de indivíduos regenerantes e o crescimento dessa espécie (SOUZA et al., 2014; LONGHI, 2011; SOUZA et al., 2008; SOUZA, 2007).

Em estudo da dinâmica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista, Cubas (2011) observou baixas taxas de ingresso e de mortalidade da araucária e que árvores de pequeno porte pouco desenvolveram-se no sub-bosque, até receberem maior disponibilidade de luz com a abertura do dossel.

Regenerações naturais de araucária sob povoamento homogêneo de *Pinus* spp. apresentaram, no estrato dominado, crescimento em diâmetro e altura significativamente inferior em comparação com as árvores da espécie com melhor posição lumínica (SOLIGO, 2009).

Sob diferentes condições ambientais e diferentes históricos de perturbações, o crescimento em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista alcançaram

incremento periódico anual (IPA<sub>d</sub>) de 0,28 cm ano<sup>-1</sup> no município de Três Barras, SC (CUBAS, 2011); 0,45 cm ano<sup>-1</sup> no município de Irati, PR (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010) e, 0,42 cm ano<sup>-1</sup> no município de São João do Triunfo, PR (DURIGAN, 1999).

A distribuição espacial da espécie está fortemente associada com dois elementos importantes: o primeiro refere-se à densidade e à distribuição das árvores progenitoras e o segundo reporta-se à existência de agentes dispersores das sementes, tais como: roedores e aves (SOUZA et al., 2008).

O crescimento inicial é mais afetado pela física do solo do que pelas condições químicas, bem como pela formação de um sistema radicular pivotante bem desenvolvido (MÓSENA; DILLENBURG 2004).

Encontra-se na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção, na categoria das espécies vulneráveis, de acordo com a Portaria IBAMA Nº 06-N, de 15 de janeiro de 1992.

A espécie é encontrada naturalmente sobre solos com baixa fertilidade, como, por exemplo, os derivados do arenito, a solos de maior fertilidade, como os derivados do basalto. A profundidade do solo é mais importante comparada às características químicas (SILVA et al., 2001), apresentando maior crescimento volumétrico em solos profundos (20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), em solos pedregosos (16,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e, em média, 12,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> sobre solos rasos (LASSERE; VAIRETTI; LASSERE, 1972).

A *Araucaria angustifolia* é uma das espécies com potencial para estudos dendrocronológicos, formando anéis de crescimento nítidos, evidenciados pela diferenciação do xilema em lenho inicial e tardio. No lenho inicial, os traqueídes são alongados radialmente e com parede celular delgada, conferindo ao xilema uma coloração clara. No lenho tardio, os traqueídes são menores, achatados radialmente e com parede celular espessa, conferindo ao xilema uma cor escura (SILVA, 2009; OLIVEIRA et al., 2009; SANTAROSA, 2007).

A anualidade da formação dos anéis de crescimento foi registrada por Oliveira et al. (2009) na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, estado do Rio Grande do Sul, com a estação de crescimento iniciando no mês de outubro e finalizando entre os meses de fevereiro e abril e ritmo mensal de formação dos anéis fortemente associado às variações do comprimento do dia e da temperatura.

Outra característica no lenho da *Araucaria angustifolia* reporta-se à presença de irregularidades anatômicas como: anéis de cunha, anéis ausentes, flutuação intra-anual de densidade e anéis consideravelmente estreitos que, muitas vezes,

dificultam a determinação (ADENESKY FILHO, 2014; CATTANEO et al., 2013; STEPKA, 2012 e OLIVEIRA; ROIG; PILLAR, 2010).

### 2.1.2 Características da espécie *Ocotea porosa*

Pertencente à família Lauraceae, a espécie *Ocotea porosa* é planta semidecídua e heliófita, conhecida pelos nomes vulgares: imbuia, embuia, canela-imbuia, imbuia-clara, imbuia-parda, imbuia-amarela, imbuia-brasina, imbuia-lisa, imbuia-preta, umbuia, imbuia-zebrada (LORENZI, 1998). Possui folhas simples, alternas, oblongo-lanceoladas, coriáceas, inteiras, com 6 a 10 cm de comprimento e 2 a 4 cm de largura. Ocorre naturalmente em diversos tipos de solos, desde solos de baixa fertilidade, com altos teores de alumínio a solos com fertilidade média e elevada, crescendo melhor em solos férteis, profundos, bem drenados e com textura argilosa (CARVALHO, 2003).

É uma árvore de porte médio (15 a 30 m) com tronco de até 150 cm de diâmetro, ampla copa globosa e folhagem verde-clara muito característica. A casca apresenta aspecto variável com a idade, com fissuras profundas em árvores velhas. Em árvores jovens, as fissuras são mais superficiais, produzindo uma descamação em lâminas retangulares acinzentadas (MARCHIORI, 1997).

A imbuia, classificada como secundária tardia (SAWCZUK et al., 2014) a clímax (CARVALHO, 1994), ocorre desde a região sudeste (latitude 22° 30') até a região sul (29°50' S), ocupando os estados do Paraná (sul e centro), Rio de Janeiro (Itatiaia), Rio Grande do Sul (nordeste), Santa Catarina (norte) e São Paulo (Serra da Cantareira) (CARVALHO, 1994). Na região Sul, é encontrada na Floresta Ombrófila Mista, onde está entre as espécies de maior densidade, frequência e dominância (VIBRANS et al., 2013; CUBAS, 2011; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; SCHAAF et al., 2006).

O incremento periódico anual em diâmetro de *Ocotea porosa* de 0,43 cm ano<sup>-1</sup> foi registrado por Cubas (2011); 0,42 cm ano<sup>-1</sup> por Figueiredo Filho et al. (2010); 0,57 cm ano<sup>-1</sup> por Mattos et al. (2010) e 0,37 cm ano<sup>-1</sup> por Schaaf et al. (2005) em parcelas permanentes em florestas naturais e 0,26 cm ano<sup>-1</sup> medidos com cintas dendrométricas por Figueiredo Filho et al. (2003). Embora considerada uma espécie

tolerante à sombra, apresenta maior incremento com maior disponibilidade de luz (SANTOS, 2012).

De madeira moderadamente pesada, com densidade de  $0,65 \text{ g cm}^{-3}$ , dura, de cor muito variada (LORENZI, 1998), apresenta resistência mecânica média, mas de elevada resistência ao ataque de organismos xilófagos (CARVALHO, 1994). Considerada de alta importância econômica, foi uma das espécies mais exploradas na Floresta Ombrófila Mista para suprir a indústria moveleira (ALBUQUERQUE; WATZLAWICK; MESQUITA, 2011; CARVALHO, 2010) e as comunidades tradicionais para a construção de cercas ou casas (ALBUQUERQUE; WATZLAWICK; MESQUITA, 2011), o que favoreceu a baixa densidade de árvores em muitos remanescentes florestais (MUNHOZ; SILVA; MARQUES, 2014). É uma das espécies que apresenta habilidade de rebrota, podendo exibir brotações ao redor do toco (COSMO et al., 2009).

Atualmente, encontra-se na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção, na categoria das espécies vulneráveis, de acordo com a Portaria IBAMA Nº 06-N, de 15 de janeiro de 1992.

O crescimento da imbuia pode ser medido sobre anéis de crescimento, cujas características anatômicas e o caráter de anuidade de formação, apresenta potencial para estudos dendrocronológicos (STEPKA, 2012; SANTOS, 2012; LISI et al., 2008; MATTOS et al., 2007; TOMAZELLO FILHO et al., 2004). Porém, os anéis podem apresentar irregularidades anatômicas, formando falsos anéis e cicatrizes no lenho, que devem ser consideradas no momento de avaliação dos anéis de crescimento (COSMO et al., 2009). Os anéis são visíveis a olho nu, sendo delimitados por uma linha tangencial mais escura, formada pelo espessamento e achatamento das paredes das fibras (TOMAZELLO FILHO et al., 2004; RONDON NETO, 2003).

### 2.1.3 Exploração florestal e a formação de clareiras

A luz solar é um dos fatores mais importantes para o crescimento das plantas e, desse modo, elas competem entre si por esse recurso (NEVAI; VANCE, 2007). As árvores com suas folhas acima da superfície do solo representam uma adaptação

importante à interceptação de luz (TAIZ; ZEIGER, 2013), logo, esses indivíduos respondem às flutuações desse recurso com mudanças nas taxas de crescimento, fisiologia e arquitetura da copa (STERCK et al., 1999).

Na floresta, a variação na competição pode ser observada com o aumento da intensidade de luz próximo à superfície do solo, como, por exemplo, a resultante da queda de uma árvore. Nesse caso, a mudança abrupta da intensidade de luz pode ocasionar efeitos na composição florística local, contudo, o ambiente retorna novamente a níveis baixos de luminosidade em períodos, muitas vezes, curtos com a retomada/recomposição do dossel (STERCK et al., 1999). Schneider e Schneider (2008) ressaltam que árvores liberadas, mas que cresceram à sombra apresentam folhas adaptadas a essa condição e, quando expostas a uma maior intensidade luminosa, devem ajustar-se a esse novo ambiente, sendo que, em casos extremos, árvores suprimidas e depois liberadas podem chegar à morte quando a espécie for incapaz de adaptar-se rapidamente a essa mudança.

A sucessão, a competição, a exposição, o sítio natural e a incidência de luz são fatores ecológicos que determinam a dinâmica nas florestas naturais (MOSCOVICH, 2006). A interação entre os fatores ecológicos, como, por exemplo, o aumento da incidência de luz e, conseqüentemente, o início do processo de sucessão florestal (novo ciclo de crescimento) pronunciam-se com a formação de clareiras (WHITMORE, 1989). As clareiras são formadas pelo rompimento na estrutura do dossel da floresta causado pela queda de uma ou várias árvores (WHITMORE, 1989) decorrente de distúrbios naturais como tempestades, deslizamentos, incêndios e enchentes (AMARAL et al., 2013) ou antrópicos (LANG et al., 2014). Logo, ocorre à fase de recuperação com o estabelecimento de espécies arbustivas e arbóreas exigentes em luz (pioneiras) e, na fase madura, à medida que ocorre o aumento do sombreamento ao longo do tempo, estabelece-se a gradual substituição dessas espécies dependentes em luz, por outras, tolerantes à sombra (esciófilas) (GANDOLFI, 2000). Por esse motivo, Richard (1952) e Brokaw (1985) afirmaram que espécies esciófilas são tolerantes à sombra somente de maneira limitada, pois dependem do surgimento de clareiras para alcançar a maturidade.

De modo geral, devido aos distintos comportamentos das espécies arbóreas frente à intensidade de luz, Budowski (1965) sugeriu a existência e a combinação de

grupos ecológicos em cada fase da sucessão, conforme pode ser observado na Tabela 1, adaptado de Araujo et al. (2010).

Tabela 1 - Características dos grupos ecofisiológicos das espécies arbóreas, de acordo com Budowski (1965).

<b>Característica</b>	<b>Pioneira</b>	<b>Secundária inicial</b>	<b>Secundária tardia</b>	<b>Clímax</b>
Tolerância à sombra	Muito intolerante	Muito intolerante	Tolerante no estágio juvenil e depois intolerante	Tolerante exceto no estágio adulto
Crescimento	Muito rápido	Muito rápido	Rápido a lento	Lento
Regeneração sob dossel	Muito rara	Praticamente ausente	Ausente ou abundante, com grande mortalidade nos primeiros anos	Abundante

Fonte: Araujo et al. (2010).

Conforme as características sugeridas por Budowski (1965), Tonhasca Jr. (2005) indicou a evolução desses grupos para o modelo de sucessão florestal, como pode ser identificado na Figura 1. Dependendo do grau de distúrbio, as clareiras são colonizadas inicialmente pelas espécies pioneiras que apresentam rápido crescimento e baixa longevidade. Assim, ao longo do tempo, ocorre a substituição gradual pelas espécies de crescimento mais lento que apresentam menor capacidade reprodutiva, maior longevidade e maior capacidade de competir em ambientes com menor disponibilidade de luz.



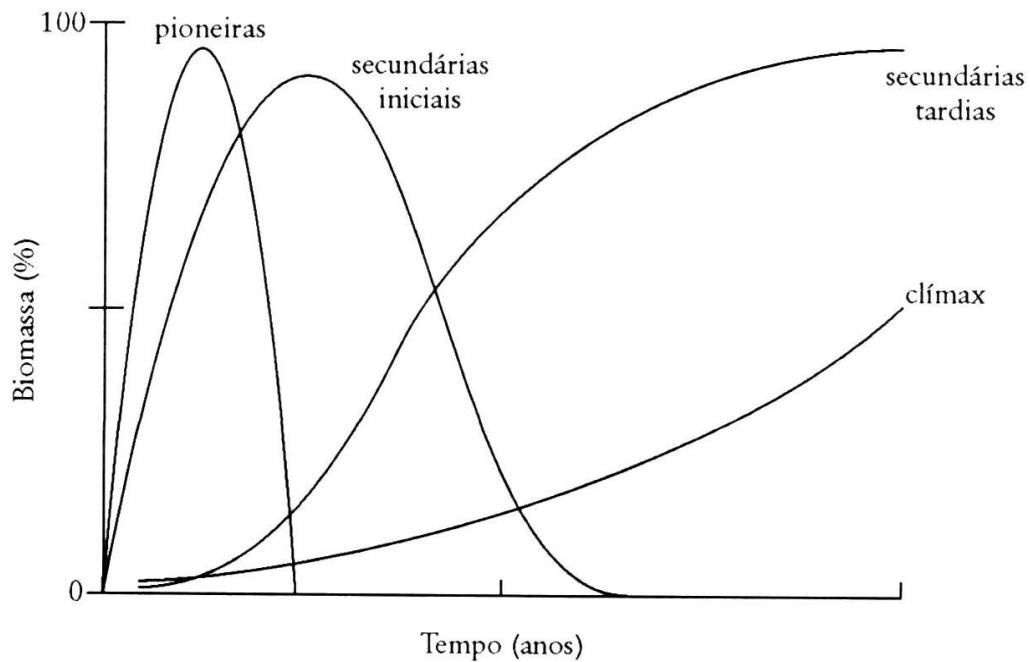


Figura 1 - Modelo de sucessão florestal.

Fonte: Tonhasca Jr (2005).

Segundo Schneider e Finger (2000), as dimensões das clareiras determinam a predominância do grupo ecológico das árvores, ou seja, em clareiras pequenas, persistem as espécies tolerantes à sombra (esciófilas) e, em clareiras grandes, pronunciam-se as espécies exigentes em luz (pioneiras). Esse efeito, muitas vezes, pode intervir na composição florística e na distribuição espacial das espécies nas florestas, porém, isso é dependente da frequência com que ocorrem os distúrbios (EBERT et al., 2014; AMARAL et al., 2013; JARDIM; SERRÃO; NEMER, 2007).

De modo geral, a composição florística inicial em uma floresta recém-perturbada é determinada, principalmente, pela presença de fatores como o banco de sementes do solo e a capacidade de rebrota dos tocos (KAMMESHEIDT, 1998). Isso deve-se ao fato de que a regeneração natural pode estabelecer-se em decorrência da germinação via sementes, a partir do banco de sementes do solo ou pela dispersão de novas sementes; pela regeneração via plântulas ou plantas jovens pré-estabelecidas que sobreviveram à queda das árvores e pela rebrota de sobreviventes ou daqueles no dossel adjacente (LIMA, 2005).

A rebrota de tecidos vegetais configura-se como uma resposta fisiológica a danos ou à morte da parte aérea, atribuído a cortes, queima, ataques de pragas, doenças ou distúrbios fisiológicos, podendo iniciar por meio da regeneração de cepas ou de raízes (MARTINS, 2009). Segundo o autor, a habilidade de algumas espécies em rebrotar pode favorecer os regenerantes e, assim, grande parte dos indivíduos tolerantes à sombra pode permanecer no sub-bosque após a formação da clareira (LIMA, 2005).

De acordo com Lamprecht (1990), perturbações de maiores proporções numa área florestal levam ao estabelecimento de florestas secundárias menos ricas em espécies, formadas por pioneiras de vida breve que, numa série de etapas, descrevem um processo de sucessão voltado à formação da floresta e, em longo prazo, de uma floresta em estágio clímax. Contudo, para Longhi (2011), perturbações decorrentes da exploração florestal com a intenção de manejar a floresta e obter rendimento sustentável não comprometem a integridade da floresta. Segundo o mesmo autor, baseado em resultados do manejo experimental de uma Floresta Ombrófila Mista Secundária no município de Nova Prata, RS, as intervenções de manejo em matas secundárias são necessárias para melhorar a estrutura e a composição de espécies desejáveis, tornando a floresta produtiva, pois os cortes seletivos, independentemente da intensidade, ocasionaram aumento na densidade e nos parâmetros fitossociológicos das espécies comerciais, em comparação com o tratamento sem intervenção de manejo; sendo que os cortes seletivos, independente da intensidade aplicada na floresta, não provocaram perdas no número de espécies, gêneros e famílias; pelo contrário, constatou-se ganho nos índices de diversidade de espécies para os tratamentos que receberam intervenções de manejo e mínima alteração para o tratamento controle. Os resultados ainda indicaram que cortes seletivos pesados (com reduções superiores a 50% da área basal), além de apresentarem menor incremento em volume, conduzem a um ciclo de corte muito dilatado (34 anos) e são de difícil controle biológico.

## 2.2 Crescimento

O crescimento refere-se ao aumento de dimensões de uma ou mais árvores em uma floresta em um determinado período de tempo. Tais dimensões podem ser atribuídas pelo diâmetro, altura, volume, biomassa, área basal, dentre outros (PRODAN et al., 1997; VANCLAY, 1994).

O crescimento das árvores é influenciado pelos fatores genéticos da espécie interagidos com fatores ambientais como os climáticos (temperatura, precipitação, vento e insolação), do solo (propriedades físicas, químicas e biológicas), atributos topográficos (inclinação, altitude e exposição) e de competição (influência de outras árvores, vegetação rasteira e animais) (FINGER, 2006). Para Zeide (1993), a interação entre os fatores ambientais e o aumento gradual de um organismo, representada pela tendência natural de multiplicação das células, alongamento e engrossamento, define o crescimento da árvore.

Embora exista uma interação complexa que envolve o crescimento, há um consenso de que a competição exercida pelas árvores vizinhas causa efeitos negativos consideráveis no incremento das espécies arbóreas (AAKALA et al., 2013; CONTRERAS; AFFLECK; CHUNG, 2011; COOMES; ALLEN, 2007; PAPAİK; CANHAM, 2006), pois, a estrutura de uma floresta é resultado das relações competitivas entre os indivíduos (THORPE et al., 2010). Essas relações determinam o tamanho e a posição das copas das árvores no dossel que, conseqüentemente, influencia a interceptação de luz, a capacidade fotossintética, o crescimento e a sobrevivência (PACALA et al., 1996). Desse modo, mesmo que as espécies possuam diferentes exigências ecológicas em resposta às variações de disponibilidade de luz, o crescimento de árvores de pequeno porte é fortemente influenciado pela competição (COOMES; ALLEN, 2007; CANHAM et al., 2006).

As árvores de maior porte estão em vantagem competitiva sobre as menores (ADAME et al., 2008; ZHAO; BORDERS; WILSON, 2004), logo, os vizinhos menores não afetam o crescimento e a sobrevivência das árvores maiores. Entretanto, os efeitos da competição podem estar associados não apenas ao tamanho das árvores, mas também pela espécie da árvore competidora, uma vez que determinadas espécies podem causar maiores ou menores efeitos competitivos. Pretzsch e Schütze (2009) e Richards; Mcdonald e Aitkenhead (2008) observaram que árvores

vizinhas da mesma espécie podem apresentar efeito competitivo negativo maior quando comparado com árvores submetidas a um maior número de espécies competidoras. Porém, os efeitos das árvores vizinhas podem variar não apenas entre a mesma espécie, mas também entre espécies ou grupos de espécies (LI et al., 2010).

### 2.2.1 Modelagem do crescimento

O crescimento ao longo do tempo pode ser medido com facilidade, porém, sua previsão pode ser algo incerto frente às limitações de tempo e custo na gestão da floresta, que exigem métodos de projeção rápida e fácil com base no mínimo de medições e variáveis (PRODAN et al., 1997). Um modelo é a maneira lógica de expressar o crescimento ou incremento e a produção florestal (crescimento acumulado) por meio de gráficos, tabelas, por gráficos e tabelas, por uma equação ou um conjunto de equações, ou um conjunto de submodelos, cada qual com uma ou mais equações (SCOLFORO, 1998).

Os modelos de crescimento e produção podem ser classificados em modelos para o povoamento total (*whole stand model*); de classes de tamanho (*size class model*) e de árvore individual (*single-tree model*) (VANCLAY, 1994). Tratam-se de ferramentas úteis para o manejo florestal, utilizados para prever a produção futura e servir como fonte de informação na tomada de decisões silviculturais (ZHANG; LEI, 2010; VANCLAY, 1994).

Para Zeide (1991), um modelo de crescimento pode explicar um processo e expor suas características essenciais por meio da determinação da mudança da variável dependente em relação às variáveis independentes, sendo analisado de acordo com sua coerência com a realidade. Porém, o desafio na modelagem de crescimento está relacionado com o isolamento das principais variáveis que descrevem os processos dentro de um erro de estimativa aceitável (SCOLFORO, 1998).

Embora o diâmetro à altura do peito seja uma das variáveis mais utilizadas para prever o crescimento, devido à praticidade de obtenção e à contribuição expressiva em modelos de crescimento, pesquisas demonstraram que variáveis com

maior dificuldade de obtenção, como as variáveis morfométricas e de competição, também são boas preditoras da dinâmica em florestas naturais (IBRAHIM; OSMAN, 2014; SÖNMEZ; ERCANLI; KELE, 2009), o que justifica o uso em modelos de árvores individuais. Nesse caso, a abordagem considera que o crescimento ajustase a um conjunto de variáveis de previsão, incluindo uma variável de competição. Assim, o crescimento das árvores é projetado em função de sua dimensão, da morfometria e das condições de competição (PRODAN et al., 1997), tornando-se uma alternativa potencialmente aplicável em florestas naturais, conforme já comprovado por Andreassen e Tomter (2003); Della-Flora (2001); Monserud e Sterba (1996), dentre outros.

A árvore é a unidade básica de uma floresta e, em florestas inequiduais, essa unidade difere entre si devido à variabilidade natural das dimensões morfométricas em reposta ao tamanho da árvore e das condições locais de crescimento, como a densidade de árvores competidoras (COUWENBERGHE et al., 2013).

As variáveis morfométricas empregadas nos modelos de árvores individuais compreendem o diâmetro e o comprimento de copa e suas interações com as variáveis dendrométricas, como o diâmetro à altura do peito (dap) e a altura da árvore (h). De acordo com Cavalli (2013), destacam-se os índices de relação h/d; proporção de copa; índice de saliência e o formal de copa.

A relação h/d é um parâmetro associado ao grau de concorrência em uma floresta. No caso de forte concorrência, o crescimento em diâmetro é reduzido, porém, o crescimento em altura continua aumentando, resultando no aumento do valor de h/d. Árvores com relação h/d baixo têm maior espaço vital e, com a redução do crescimento em altura em razão da idade, o valor da relação h/d diminui, pois o diâmetro ainda aumenta em valor (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). A relação h/d, além de independe da idade da árvore e da qualidade do solo, permite inferir sobre a competição, a vitalidade, o potencial de crescimento e a estabilidade das árvores.

A proporção de copa e as dimensões que caracterizam a copa indicam a vitalidade da árvore, pois, a medida que aumenta a proporção de copa, maior é a produtividade da árvore. Além disso, é indicativo do grau de competição submetida à árvore no passado (DURLO; DENARDI, 1998).

O índice de saliência permite comparar o vigor entre árvores de mesmo diâmetro e indica o espaço necessário para a árvore à medida que cresce em diâmetro. O índice relaciona, de forma positiva, o crescimento em área basal

(CUNHA, 2013). Assim, para duas árvores de mesmo diâmetro, a diminuição do quociente entre o diâmetro de copa e o dap pode indicar o efeito da competição experimentado pela árvore.

No contexto da representação da competição como variável independente nos modelos de árvores individuais, utilizam-se formulações matemáticas, conhecidas como índices de competição (BIGING; DOBBERTIN, 1992). A maioria destes índices descritos na literatura pode ser agrupada em índices independentes da distância, que usam apenas informações não espaciais sobre o tamanho da árvore considerada, como diâmetro à altura do peito, diâmetro de copa e altura, e índices dependentes da distância que também incorporam a localização (distância) das árvores vizinhas (CONTRERAS; AFFLECK; CHUNG, 2011). Assim, para muito dos índices descritos na literatura, valores elevados indicam que a condição de crescimento local da árvore em estudo encontra-se submetida à considerável competição acima do solo, logo, menores valores sugerem menor competição sobre a árvore avaliada (RADTKE; WESTFALL; BURKHART, 2003).

De modo geral, dentre todos os índices, nenhum tem se demonstrado superior em estudos consecutivos e, desse modo, recomenda-se testar um maior número de índices para representar a competição (OHEIMB et al., 2011; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003), sendo importante considerar que os índices dependem da zona de influência das árvores competidoras e refletem a condição de crescimento da árvore na floresta (OHEIMB et al., 2011; RIVAS et al., 2005).

Segundo Cunha e Finger (2013), uma das razões para os índices não representarem suficientemente a competição pode estar atribuída à área ao redor da árvore-objetivo, considerada na amostragem dos competidores. De acordo com Tonini (2007), a habilidade preditiva de um índice depende muito da espécie e não de sua complexidade; assim, em muitos casos, os índices mais simples são mais eficientes.

Para Kiernan; Bevilacqua e Nyland (2008), as florestas naturais apresentam características complexas comparadas às florestas plantadas, o que dificulta a modelagem de crescimento de árvores individuais. Contudo, em florestas tropicais e subtropicais, bons resultados foram alcançados por Cunha (2013) na Floresta Amazônica em árvores de *Cedrela odorata* L.; *Amburana cearenses* (Allemão) A. C. Sm.; *Copaifera paupera* (Herzog) Dwyer; *Swietenia macrophylla* King e, na Floresta

Ombrófila Mista, em árvores de *Araucaria angustifolia* (COSTA, 2011) e de *Ocotea porosa* (WEBER, 2013).

Estabelecer relações de competição permite melhorar a compreensão da dinâmica de crescimento das árvores em florestas estruturalmente heterogêneas e ricas em espécies (OHEIMB et al., 2011), sendo a competição por espaço no dossel uma das características fundamentais da estruturação dos ecossistemas florestais e, por isso, continua como foco de permanente atenção nas pesquisas sobre ecossistemas florestais (THORPE et al., 2010).

### 2.3 Dendrocronologia

A dendrocronologia (do grego: dendro árvores, chronos tempo e logus estudo) teve início em estudos realizados em florestas de origem temperada (FRITTS, 1977; SCHWEINGRUBER, 1988). É uma ciência que, dentre todas suas aplicações, permite a datação do ano de formação de cada camada de crescimento em espécies arbóreas, pela análise dos anéis de crescimento (SPEER, 2010). Em mudanças ambientais de longo prazo, os anéis de crescimento das plantas lenhosas podem fornecer informações importantes (OLIVEIRA et al., 2009), como no estudo da dinâmica climática (precipitação, temperatura) ao longo do tempo (STEPKA, 2012). Outros trabalhos comprovaram eficiência da dendrocronologia na reconstrução de distúrbios naturais como regimes de ventanias (FRAVER; WHITE; SEYMOUR, 2009), do fogo (CLUTTER, 2013) e desfolhação das árvores pelo ataque de insetos (SIMMONS et al., 2014).

A determinação da idade e o estudo do incremento ao longo do tempo em espécies arbóreas baseiam-se no ciclo anual de crescimento decorrente do período de dormência causado pela sazonalidade climática (OLIVEIRA, 2007). Assim, a cada ano, surge um novo anel no tronco, denominado anel de crescimento anual (BURGER; RICHTER, 1991), como ocorre em regiões de clima árido e temperado. Devido à forte sazonalidade climática que induz a dormência cambial vascular, a maioria das espécies apresenta anéis anuais de crescimento (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISE, 2001).

Nas regiões tropicais e subtropicais, havia incerteza da formação anual de anel de crescimento em decorrência da pouca variação de temperatura durante o ano e, desse modo, não haveria sazonalidade na atividade cambial. Entretanto, nessas regiões, a sazonalidade foi comprovada por vários estudos, dentre os quais pode-se citar Worbes (1995); Devall; Parresol e Wright (1995); Worbes (1999); Stahle (1999); Spathelf et al. (2000); Tomazello Filho; Botosso e Lise (2001); Santarosa et al. (2007), Mattos et al. (2007); Lisi et al. (2008) e Mattos et al. (2010). Contudo, uma das limitações nessas regiões refere-se ao menor número de espécies que formam anéis de crescimento bem definidos em comparação com as regiões temperadas e áridas (OLIVEIRA, 2007) e, em determinadas espécies, os anéis representam os períodos de chuva e de seca, inundações, queda das folhas e/ou simplesmente dormência, podendo ocorrer dois ou mais ciclos em um ano (BOTOSSO; MATTOS, 2002), que pode resultar na formação de irregularidades anatômicas como anéis de crescimento falsos ou descontínuos (BURGER; RICHTER, 1991). Outro aspecto importante é a possibilidade de haver anos em que os anéis de crescimento são imensuráveis, característica em espécies com crescimento lento (MAINGI, 2006) ou naquelas árvores suprimidas, que apresentam incremento irrelevante.

Para Rozendaal e Zuidema (2011) e Worbes (2002), a presença de irregularidades anatômicas nas espécies arbóreas nos trópicos é um dos principais motivos que justificam a obtenção de discos no tronco – análise de tronco completa para exames mais acurados na determinação e caracterização dos anéis de crescimento. Entre as vantagens do uso dessa técnica, está a possibilidade de distribuir um maior número de raios ao longo da seção transversal, para minimizar possíveis erros na determinação da idade e do crescimento.

Mattos et al. (2007) descreveram irregularidades anatômicas nas amostras radiais em *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. e *Sebastiania commersoniana* (atualmente *Gymnanthes klotzschiana* Mull.) amostradas na Floresta Ombrófila Mista no município de Candói, PR. Entretanto, nas regiões subtropicais no Brasil, como na região sul, a técnica análise de tronco completa, muitas vezes, é inviabilizada perante as várias restrições para corte de árvores em florestas que integram o bioma Mata Atlântica, conforme regulamentada pela Lei nº 11.428/2006.

Portanto, existe a necessidade do uso de técnicas que envolvem a análise de tronco parcial, ou seja, métodos não destrutivos que evitam o corte da árvore, sendo



as amostras retiradas com sondas metálicas manuais (GONZALÉZ, 2013), com o trado introduzido de forma lenta e gradual em posição perpendicular ao eixo da árvore, buscando alcançar a medula, devendo os anéis estarem dispostos de forma transversal ao eixo do rolo de incremento (FINGER, 2006).

Porém, a dimensão limitada da largura das amostras radiais extraídas com a sonda de Pressler (mais utilizadas, 5 mm) dificulta a identificação correta de anéis falsos ou ausentes. Essas limitações foram um dos motivos da perda de árvores amostras em estudo que avaliou os sinais climáticos registrados em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis*, crescendo em diferentes Florestas Ombrófilas no sul do Brasil (ANDREACCI; BOTOSSO; GALVÃO, 2014). No estudo, foi registrada uma perda de 45% das amostras oriundas da área de planalto e de 61,5% em área do litoral. Contudo, com o uso do trado de incremento, Mattos et al. (2010) avaliaram a aceleração do crescimento em diâmetro da *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Ocotea porosa*, *Ocotea pulchella* (Nees & Mart.) Mez, *Ocotea puberula*, *Cedrella fissilis* e obtiveram os padrões de crescimento necessários para alcançar os objetivos propostos, justificando o uso da datação cruzada para corrigir possíveis erros de datação.

De modo geral, a dendroecologia permite realizar a reconstrução da história ecológica das florestas em termos de dinâmica populacional, padrões de recrutamento, periodicidade e intensidade dos distúrbios e dinâmica de sucessão (DUCHESNE; PRÉVOST, 2013).



## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Descrição da área de estudo

#### 3.1.1 Localização

A área de estudo localiza-se na Floresta Nacional (FLONA) de Três Barras no município de Três Barras, estado de Santa Catarina, situada a aproximadamente 360 km de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, e 180 km de Curitiba, capital do estado do Paraná. A área compreende 4.458,50 ha adquirida, no ano de 1944, pelo Instituto Nacional do Pinho (INP) de uma das famílias tradicionais da região (família Pacheco). Em 1967, com a reestruturação do INP, foi criado o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) que, no uso de suas atribuições, a partir da portaria nº 560, a área passou a ser conhecida como Floresta Nacional de Três Barras. Atualmente, é administrada pelo Instituto Chico Mendes (ICMBio), criado pela lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007.

Segundo Marques (2007), a Floresta Ombrófila Mista predomina em 17,22% (767,94 ha) da área total da FLONA, sendo que, em um remanescente de 26 ha (26°14'28.68" S e 50°18'4.17" W) dessa tipologia florestal, foi realizado o presente estudo. O remanescente selecionado vem sendo monitorado com o uso de 26 parcelas permanentes (1 ha cada) instaladas no ano de 2004, sendo, posteriormente, todas as árvores com DAP  $\geq$  10 cm numeradas e mensuradas (Figura 2).

CUBAS (2011) descreveu a estrutura e a composição florística do remanescente citado anteriormente, determinando o grau de importância das espécies que caracterizam a estrutura da floresta, destacando-se a: *Araucaria angustifolia*, *Ocotea porosa*, *Cupania vernalis*, *Ocotea puberula* e *Ilex paraguariensis*. Outras espécies que também se destacam em densidade de árvores foram: *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman, *Cinnamomum vesiculosum*, *Jacaranda micranta* Cham., *Clethra scabra* e *Myrcia rostrata*. Ressalta-se também

*Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* que representam, em conjunto, mais de 50% da área basal da floresta ( $> 30 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ), o que demonstra a importância dessas espécies na estrutura do remanescente que compreende a área de estudo (Tabela 2). De modo geral, quando se consideram todas as espécies, tem-se 708 árvores por hectare.

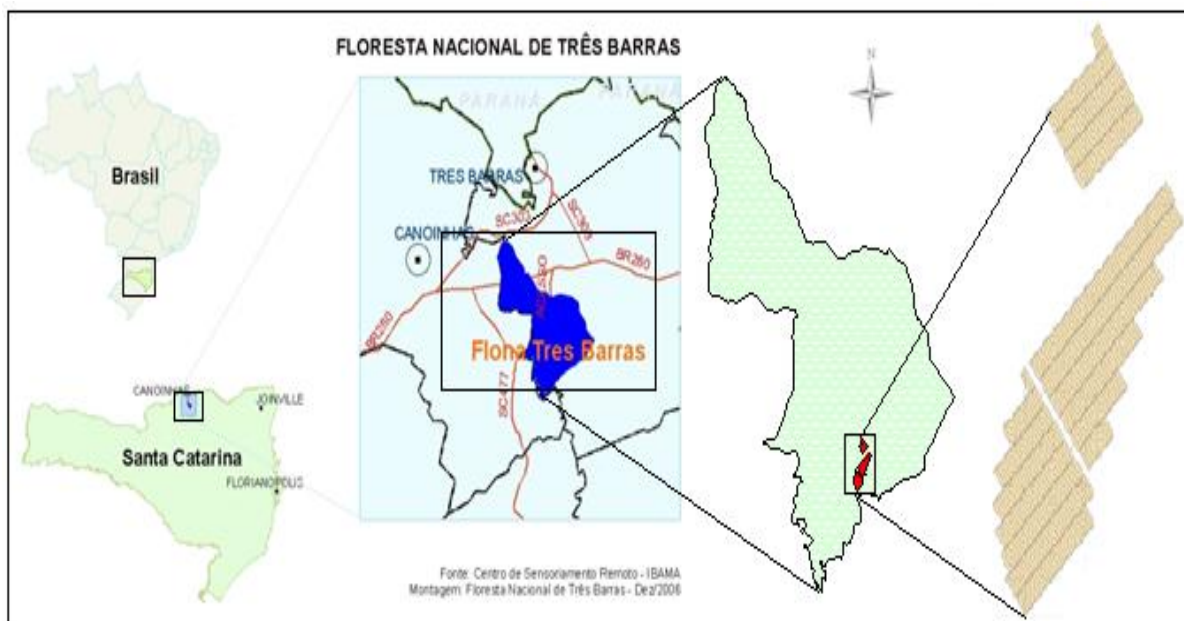


Figura 2- Localização e disposição das 26 ha de Floresta Ombrófila Mista, demarcados com o uso de parcelas permanentes, na FLONA de Três Barras, SC.

Fonte: Adaptado de Marques (2007) .

CUBAS (2011) também registrou que a floresta continuava crescendo em área basal, indicando, claramente, que ainda estava evoluindo em busca de atingir seu estoque completo. A distribuição diamétrica da floresta apresentava-se sob a forma de J-invertido (distribuição decrescente), logo, com grande concentração de árvores de pequeno porte. Nos 26 hectares, o autor encontrou: 11.412 árvores na classe de 10 a 19,9 cm; 3.821 de 20 a 29,9 cm; 1.607 de 30 a 39,9 cm; 865 de 40 a 49,9; 411 de 50 a 59,9; 207 de 60 a 69,9; 71 de 70 a 79,9; 22 de 80 a 89,9; 06 de 90 a 99,9; 03 de 100 a 109,9; 02 de 110 a 119,9.

Tabela 2 - Lista das 10 espécies com os maiores valores de importância (VI) encontrados no ano de 2009 em 26 ha de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de Três Barras, SC.

<b>Espécie</b>	<b>DR %</b>	<b>DoR %</b>	<b>FR %</b>	<b>VI 0-100%</b>
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	17,88	37,03	7,31	20,74
<i>Ocotea porosa</i> (Ness & Mart.) Barroso	8,94	15,71	5,55	10,07
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	13,98	6,73	6,87	9,19
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	3,60	7,11	4,30	5,00
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St. -Hil.	6,13	1,88	5,62	4,54
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	4,08	3,88	4,59	4,18
<i>Cinnamomum vesiculosum</i> (Nees) Kosterm.	4,08	3,99	4,10	4,06
<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	3,76	1,92	4,58	3,42
<i>Clethra scabra</i> Pers.	3,21	2,45	2,46	2,71
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) Dc.	3,04	1,15	3,89	2,69

Em que: DR= densidade relativa (%), DoR= dominância relativa (%), FR= frequência relativa (%) e VI= valor de importância (%).

Fonte: Cubas (2011).

### 3.1.2 Características edafoclimáticas

Segundo a classificação climática de Köppen, a FLONA está situada em uma região de clima Cfb; clima temperado, constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco e geadas frequentes.

A precipitação média anual é de 1.588,5 mm bem distribuídos ao longo do ano, sendo abril o mês mais seco (90,1 mm) e outubro o mais chuvoso (197,5 mm). A temperatura média do mês mais frio é de 11,7 °C em julho e do mês mais quente é de 21,3 °C em janeiro e o número de horas de frio (< 7,2 °C) é, em média, de 382,4 horas e o número médio de geadas por ano é de 17,3. A insolação média anual é de 1.698,4 h e a umidade relativa média anual de 79,66% (MARQUES, 2007).

A região está situada na área de influência da Bacia do Paraná e sobre a base de sedimentação Goduânica, que compreende unidades litoestratigráficas geradas desde o carbonífero, há aproximadamente 340 milhões de anos, até o início do Mesozoico, acerca de 230 milhões de anos, compreendendo um ciclo de sedimentação de quase 110 milhões de anos (MARQUES, 2007).

O remanescente de Floresta Ombrófila Mista (26 ha), onde o estudo foi conduzido, está entre as formações de cobertura Sedimentar Goduânica (Figura 3).

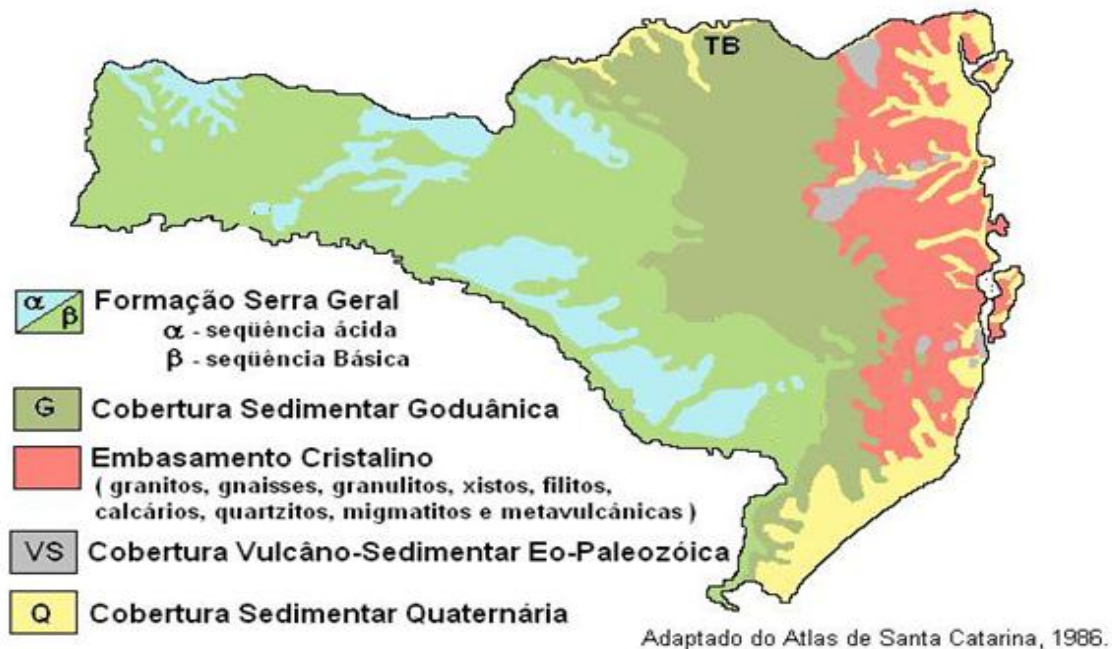


Figura 3 - Formações geológicas e localização da FLONA de Três Barras (TB) no estado de Santa Catarina.

Fonte: Atlas de Santa Catarina (1986), adaptado por Puchalski (2004).

Na área da FLONA de Três de Barras, pode-se observar, no topo das elevações, predomínio em alguns trechos de Latossolo Vermelho Distrófico Típico, e na base das elevações, o Cambissolo Háplico Alumínico e a Associação Cambissolo e Neossolo litólico, localizadas nas áreas de relevo mais íngreme, ao longo do rio Jangada; Associação Latossolo e Cambissolo, localizadas nas áreas altas, que representa também o solo onde se encontra a área de estudo (Figura 4), Associação Gleissolo e Organossolo encontradas nas áreas baixas de várzeas e banhados (EMBRAPA, 1998).

A geomorfologia da FLONA e da região do Planalto Norte Catarinense está em sua grande maioria situada no Patamar Oriental da Bacia do Paraná, assentada sobre a unidade geomorfológica “Patamar de Mafra”, que corresponde a uma superfície regular, quase plana, de baixa energia de relevo. O relevo característico da área de estudo é descrito como plano à suave ondulado, situado a 780 m de altitude.

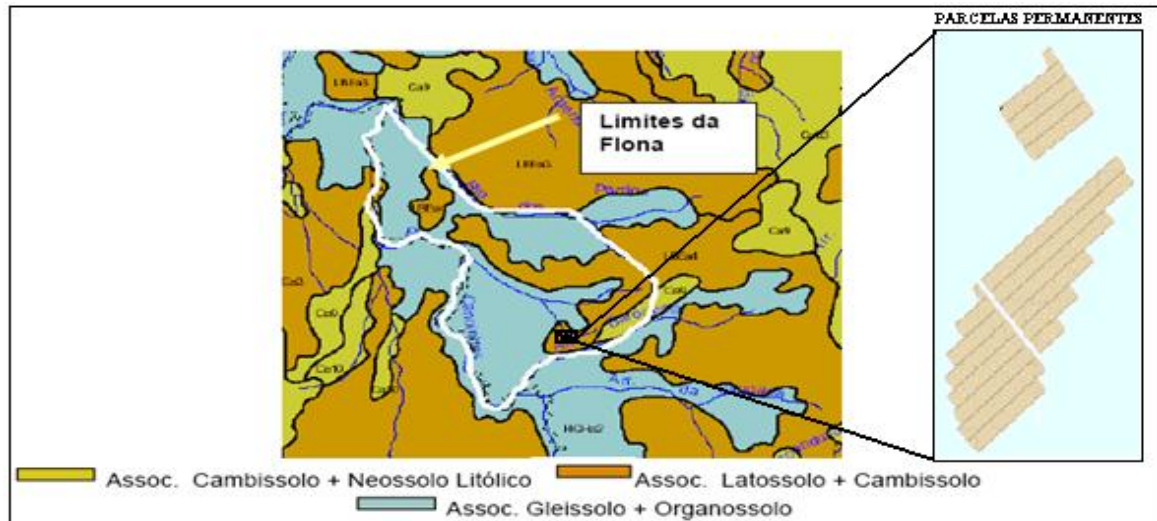


Figura 4 - Classes de solos da FLONA e a localização aproximada do remanescente de Floresta Ombrófila Mista, onde foi conduzido o presente estudo.

Fonte: Adaptado de Embrapa (1998) e Marques (2007).

### 3.1.3 Histórico de exploração madeireira

Várias informações sobre o início da intensa exploração madeireira na Floresta Ombrófila Mista, no planalto norte de Santa Catarina, estão disponíveis em Tomporoski (2013), Carvalho (2010), Valentini (2009), Marques (2007) e, em registros históricos preservados no museu municipal de Canoinhas e Três Barras, SC, os quais foram pesquisados para este estudo.

De modo geral, a exploração madeireira da Floresta Ombrófila Mista em todo o planalto norte catarinense iniciou no ano de 1911 e estendeu-se até o ano de 1940. Esse período corresponde às atividades de exploração florestal realizadas pela empresa Brazil Lumber & Colonization Company, conhecida popularmente como Lumber, instalada, em 1910, nos municípios de Calmon e Três Barras, SC. Na época, foi considerada a maior serraria da América do Sul e suas atividades como empresa privada, foram encerradas no ano de 1940. Após a estatização da empresa por Getúlio Vargas, em 1940, a empresa foi desativada gradativamente até meados da década de 1950 (CARVALHO, 2010).

É importante ressaltar que, no ano de 1944, o Instituto Nacional do Pinho adquiriu a área de 4.458,50 ha, conhecida atualmente como Floresta Nacional de



Três Barras, conforme foi descrito no item 3.1.1. Isso indica que as explorações na região da área de estudo ocorreram antes da estatização da empresa, o que corrobora com as observações descritas por Marques (2007), que atribui ao ano de 1940 o encerramento das atividades madeireiras da Lumber na região que engloba a FLONA.

As operações florestais realizadas pela empresa Lumber, no planalto norte catarinense, especificamente nas proximidades do município de Três Barras, SC, consistiam da realização do corte das árvores com o uso de serra americana (Figura 5 A), sendo, posteriormente, arrastadas para o ramal ferroviário com guinchos movidos a vapor (B) e, posteriormente, carregadas nos vagões (C) e transportadas (D) à serraria (VALENTINI, 2009).

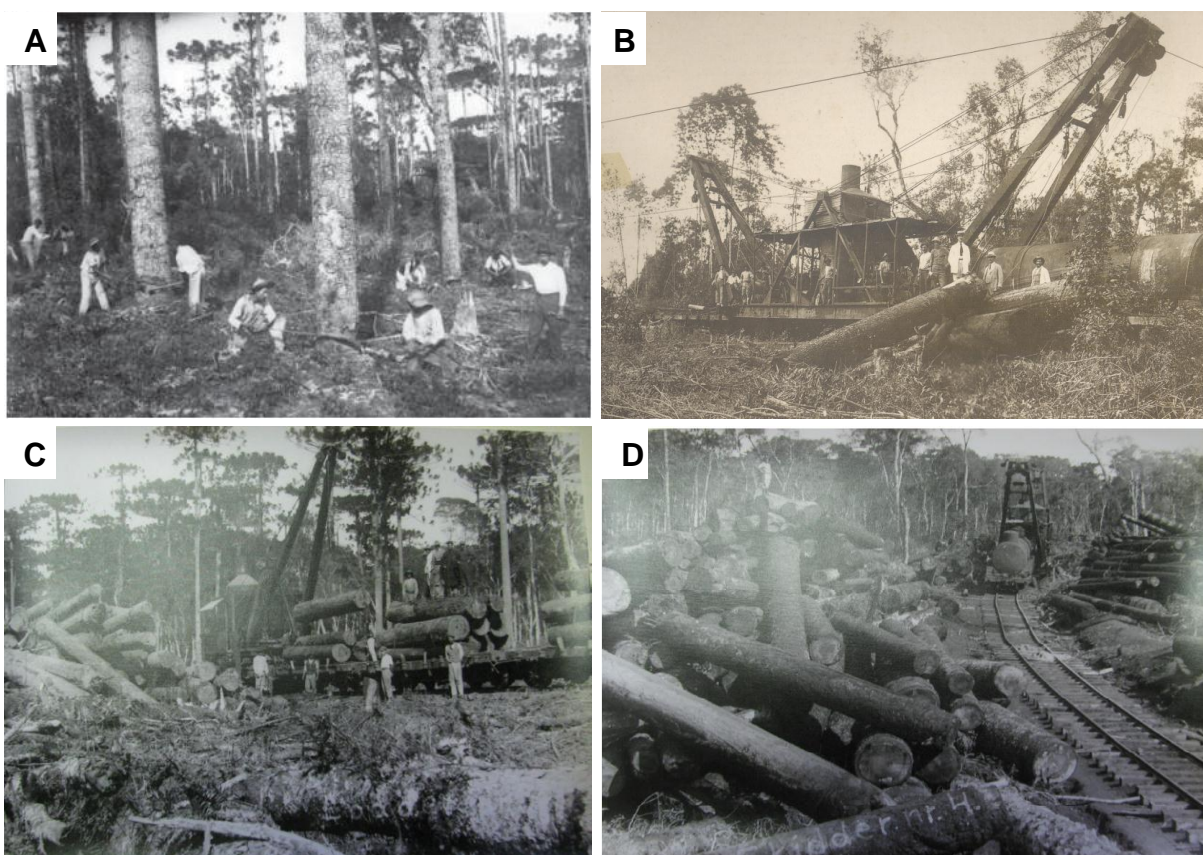


Figura 5 - Operações florestais da empresa Brazil Lumber & Colonization Company que refletem o corte (A), o arraste (B), o carregamento (C) e o transporte (D) das toras de espécies exploradas na Floresta Ombrófila Mista na região do planalto norte catarinense.

Fonte: Forest History Society - Kenny p. Funderburge, 1911.



Durante as operações florestais, priorizavam-se árvores com diâmetro mínimo de corte de 40 cm e as espécies que deviam ser exploradas, todas de alto valor comercial como *Araucaria angustifolia*, *Ocotea porosa*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea puberula*.

Outra importante informação refere-se ao fato de que, nas proximidades da área de estudo, encontra-se um dos ramais desativados construídos pela Lumber, o que confirma a exploração do atual remanescente de Floresta Ombrófila Mista. De modo geral, não há informações que indicam explorações madeireiras, nos últimos 70 anos, no remanescente de Floresta Ombrófila Mista selecionado.

### 3.1.4 Espécies avaliadas

*Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* foram as duas espécies selecionadas para o presente estudo. Tratam-se de espécies de alta importância do ponto de vista econômico e, desse modo, foram as mais exploradas ao longo do tempo na Floresta Ombrófila Mista (VIBRANS et al., 2013; CARVALHO, 2010). Atualmente, no remanescente em análise, são as espécies com os maiores valores de importância, atribuído à alta densidade, dominância e frequência de árvores (CUBAS, 2011).

Destaca-se, também, que apresentam características ecológicas distintas, ou seja, *Araucaria angustifolia* é considerada heliófita (LORENZI, 2000), embora regenere-se em diferentes níveis de luminosidade no sub-bosque da floresta (VALENTE; NEGRELLE; SANQUETTA, 2010; PALUDO et al., 2009), sendo capaz de adaptar-se às condições extremas de sombreamento na fase juvenil (INOUE; GALVÃO; TORRES, 1979). Por outro lado, *Ocotea porosa* é uma espécie clímax, logo, tolerante à sombra (CARVALHO, 1994), e apresenta crescimento mais expressivo em condições com maior disponibilidade de luz (SANTOS, 2012).

Outro aspecto que deve ser considerado, e que serviu como uma característica importante para a escolha das espécies aqui em discussão, é o fato de que apresentam formação anual dos anéis de crescimento com limites bem definidos, que refletem, conseqüentemente, o alto potencial para estudos dendrocronológicos, conforme comprovado por pesquisadores, como: Adenesky Filho (2014); Cattaneo et al. (2013); Stepka (2012); Oliveira; Roig; Pillar (2010);

Oliveira et al. (2009); Silva (2009); Santarosa et al. (2007) para *Araucaria angustifolia* e, Stepka (2012); Santos (2012); Cosmo et al. (2009); Lisi et al. (2008); Mattos et al. (2007); Tomazello Filho et al. (2004); Rondon Neto (2003) para *Ocotea porosa*.

### 3.2 Amostragem e seleção dos indivíduos

Nos 26 ha de Florestal Ombrófila Mista, foram selecionadas, aleatoriamente, 47 árvores de *Araucaria angustifolia* e 48 de *Ocotea porosa*, denominadas como árvores objetivo. Para fins de controle durante a amostragem na seleção, consideraram-se árvores a partir de 10 cm de diâmetro à altura do peito, distribuindo-as em diferentes classes de diâmetro. Essas classes consideravam amplitude de 10 cm, a partir do diâmetro mínimo de 10 cm. É importante ressaltar que não foi possível padronizar o número de árvores amostradas em cada classe de diâmetro, devido à baixa frequência das árvores com diâmetro acima de 70 cm (Figura 6).

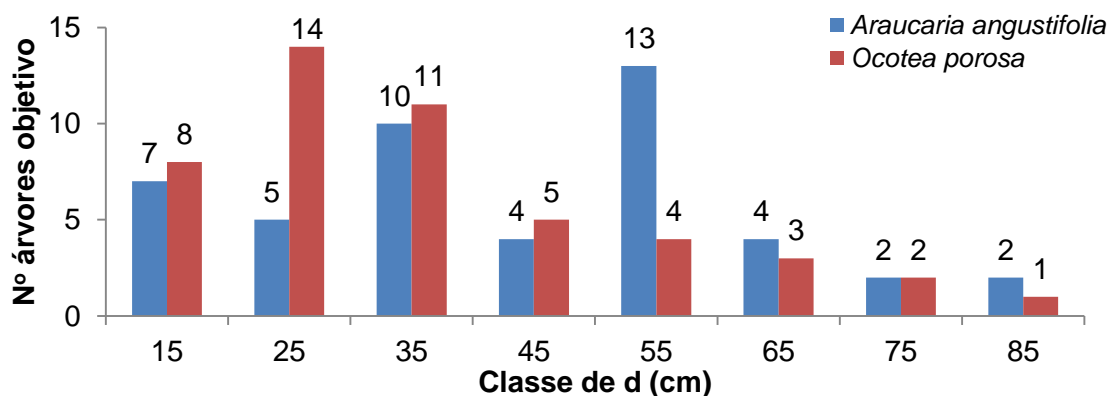


Figura 6 - Distribuição diamétrica das árvores objetivo, de acordo com a espécie avaliada.

A seleção em toda a amplitude de diâmetros permitiu incluir árvores que se encontram nas condições mais variadas de crescimento (sítios e competição),

conforme esperado em uma floresta inequiânea. Isso possibilitou avaliar a influência de algumas variáveis sob o incremento das árvores e permitiu analisar a evolução do incremento corrente anual ao longo do tempo.

Para alcançar os objetivos propostos, as seguintes etapas foram realizadas: (i) medição das variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores selecionadas; (ii) determinação da distância entre a árvore objetivo com aquelas consideradas concorrentes; (iii) retirada de amostra radial do lenho das árvores objetivo. Todos os materiais e procedimentos que envolvem as etapas, aqui em discussão, são apresentados a seguir.

### 3.2.1 Variáveis dendrométricas medidas

Para cada árvore objetivo e suas concorrentes, foram medidas e anotadas:

- I. Circunferência à altura do peito (cap, cm): medido com o uso de fita métrica, à altura de 1,3 m do nível do solo.
- II. Altura (h, m): distância do nível do solo até o ápice da copa, medida com uso do hipsômetro Vertex III.
- III. Ponto de inserção da copa (pic, m): distância do nível do solo até a base da copa viva. Neste caso, foram consideradas apenas as árvores de *Araucaria angustifolia*.
- IV. Altura de bifurcação do fuste (hf, m): distância do nível do solo até o início da primeira bifurcação do fuste. Neste caso, consideraram-se apenas as árvores de *Ocotea porosa*.

### 3.2.2 Variáveis morfométricas:

Para a determinação dos raios de copa ( $r_c$ , m), mediu-se a projeção dos limites da copa sobre o terreno, sendo realizada a medição de quatro (4) ou oito (8) raios. Conforme observações em campo, optou-se em medir quatro raios de copa

em direções fixas (N, S, L e O) para todas as árvores de *Araucaria angustifolia* decorrente da menor variabilidade observada na copa dessas árvores. Devido à maior irregularidade no diâmetro de copa de *Ocotea porosa*, utilizou-se o critério de medir oito raios em direções fixas. A projeção dos limites da copa sobre o terreno foi controlada com o clinômetro (determinação do ângulo de 90<sup>0</sup>) e a demarcação, com o uso de balizas. A direção dos raios foi determinada com uso da bússola (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO). Com as medidas, foi obtido o raio de copa médio.

Os cálculos das variáveis morfométricas foram realizados com a planilha eletrônica, empregando as fórmulas da Tabela 3.

Tabela 3 - Fórmulas para cálculo das variáveis morfométricas.

Parâmetro	Abreviação	Fórmula	Unidade
Comprimento de copa	<i>cc</i>	$cc = h - pic$	m
Diâmetro de copa	<i>dc</i>	$dc = \overline{rc} * 2$	m
Proporção de copa	<i>pc</i>	$pc = \frac{cc}{h} * 100$	%
Relação h/d	<i>hd</i>	$hd = \frac{h}{dap}$	
Formal de copa	<i>fc</i>	$fc = \frac{dc}{cc}$	
Índice de abrangência	<i>ia</i>	$ia = \frac{dc}{h}$	
Índice de saliência	<i>is</i>	$is = \frac{dc}{dap}$	

Onde:  $\overline{rc}$  = raio de copa médio; pic = Ponto de Inserção da copa.

### 3.2.3 Variáveis de competição

Para cada árvore objetivo, foram determinadas as árvores competidoras, considerando toda árvore circunvizinha que tocasse a copa da árvore objetivo, independente de seu porte, sendo medidas as distâncias entre elas (árvore objetivo – concorrente) com o uso de fita métrica. Elas tiveram também mensuradas as variáveis dendrométricas.

Com os dados de campo, a competição atual em que cada árvore objetivo estava submetida foi representada por índices de competição, sendo utilizados dois índices dependentes da distância entre a árvore objetivo e concorrente (índice de Hegyi sem e com modificação) e dois que independem da distância (Glover e Holl; BAL), pois utilizam apenas o diâmetro à altura do peito das árvores consideradas. Esses quatro índices foram testados devido à sua formulação e pelo bom desempenho observado na literatura (OHEIMB et al., 2011; WEIGELT; JOLLIFFE, 2003).

#### a) Índice de Hegyi

Calculado pela relação entre o diâmetro à altura do peito da árvore competidora e o diâmetro da árvore objetivo, multiplicado pelo inverso da distância entre as árvores.

$$I_h = \sum_{j=i}^n \left[ \frac{d_j}{(d_i \cdot L_{ij})} \right]$$

Sendo:  $d_j$  e  $d_i$  = diâmetro da árvore competidora e objetivo, em cm, respectivamente;  $L_{ij}$  = distância até a concorrente  $i$ , em m.

## b) Índice de Hegyi modificado

A formulação matemática é a mesma conforme foi descrito anteriormente, porém, a expressão do denominador é elevada ao quadrado.

$$I_{hm} = \sum_{j=i}^n \left[ \frac{d_j}{(d_i \bullet L_{ij})^2} \right]$$

Sendo:  $d_j$  e  $d_i$  = diâmetro da árvore competidora e objetivo, em cm, respectivamente;  $L_{ij}$  = distância até a concorrente  $i$ , em m.

## c) Índice de Glover e Hool

Esse índice relacionou o diâmetro médio das árvores competidoras com o tamanho da árvore objetivo. Nesse caso, utilizou-se, como numerador, a média dos diâmetros à altura do peito das árvores competidoras, devido à presença de árvores livres de competição.

$$I_{gh} = \frac{\overline{d_j}}{d_i}$$

Sendo:  $\overline{d_j}$  = média dos diâmetros à altura do peito das árvores competidoras;  $d_i$  = diâmetro à altura do peito da árvore objetivo.

d) Índice de Bal modificado (*Basal area larger*)

Esse índice fornece informações de competição sem a necessidade de informação espacial entre as árvores (MONSERUD; STERBA, 1996) e considera, como competidoras, as árvores com área basal maior que a árvore objetivo. Quanto maior o índice, maior a competição exercida sobre a árvore objetivo (DELLA-FLORA, 2001).

$$BAL_{modificado} = \sum_{i=1}^n g$$

Sendo:  $n$  = número de árvores competidoras;  $g$  = área transversal, em metros quadrados.

### 3.2.4 Dendrocronologia

#### 3.2.4.1 Coleta das amostras e medição da largura dos anéis de crescimento

As amostras do lenho das árvores objetivo de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* foram coletadas com o uso do método não destrutivo, que possibilita a análise de tronco parcial, e consiste na retirada de um pequeno cilindro de madeira com a sonda de Pressler, visando à contagem do número de anéis de crescimento (determinação da idade) ou medição (determinação do crescimento) pela largura desses anéis (FINGER, 2006). Desse modo, para reconstruir as informações de interesse, buscou-se que as árvores amostras contivessem a região da medula da árvore.

Foram amostrados o lenho nas posições inferiores (base e diâmetro à altura do peito) e superiores do fuste (ponto de inserção da copa; altura da primeira bifurcação do fuste). Em cada posição, foram extraídas, no mínimo, duas amostras radiais, com um ângulo de 90° entre elas, sendo que, na mesma árvore, mantiveram-se as mesmas orientações (norte, sul, leste e oeste), uma vez definidas na primeira verreamagem.

Os orifícios decorrentes da extração das amostras foram vedados com cera de abelha, para que não houvesse a entrada de água ou de agentes que pudessem interferir na cicatrização do ferimento.

As amostras na base da árvore foram retiradas à altura de 0,10 m do nível do solo, sendo, em muitos casos, necessário o uso de pá e enxada para retirada de solo que limitava o movimento de rotação do trado. Para as posições superiores do fuste, considerou-se o ponto de inserção da copa para as árvores de *Araucaria angustifolia* e altura da primeira bifurcação do fuste (logo abaixo da bifurcação onde não havia deformação no fuste) para a *Ocotea porosa*. Esse procedimento foi necessário devido às características do fuste das espécies avaliadas, uma vez que irregularidades no fuste de *Ocotea porosa* inviabilizavam a coleta na posição do ponto de inserção da copa.

Para a amostragem nas posições superiores do fuste, foram utilizados equipamentos de escalada como: esporas, talabarte florestal regulável, cinto de

segurança tipo paraquedista, fixação dorsal, peitoral e abdominal. O procedimento não foi realizado em árvores finas ou em árvores com diâmetros superiores a 80 cm, decorrente da falta de ajuste dos equipamentos de segurança.

As amostras foram depositadas em canudos plásticos e identificadas com suas respectivas numerações em fitas adesivas. Esse procedimento foi realizado para organizar e não danificar os rolos de incremento durante o transporte. No mesmo dia, em local adequado, as amostras foram retiradas dos canudos e amarradas com o uso de barbantes em suportes de madeira, para secagem natural do material coletado. A amarração foi realizada para que as amostras preservassem o mesmo plano, sem que ocorresse o empenamento delas.

Após a secagem, os rolos de incremento foram fixados com cola branca nos suportes de madeira (fibras na orientação vertical) em que já se encontravam submetidas. Para melhorar a visualização dos anéis de crescimento, a seção transversal das amostras foi lixada com uma sequência de lixas de granulometria crescente (80, 120, 240, 320 e 400 grãos.mm<sup>-2</sup>), utilizando uma lixadeira orbital. Posteriormente, foram analisadas e marcadas sob microscópio estereoscópico modelo Wild M38 para a delimitação dos anéis de crescimento, a partir de uma pequena marcação com lápis no próprio suporte de madeira. Em seguida, as amostras foram digitalizadas em scanner HP Scanjet 2400 (resolução de 1.200 dpi) junto com uma escala de referência para a calibração do software. Com a imagem digitalizada, a medição da largura dos anéis (mm) foi realizada com o software de análise de imagens Image Pro Plus e todos os valores gerados foram exportados para a planilha eletrônica.

#### 3.2.4.1.1 Controle da sincronização dos anéis de crescimento

Os valores medidos para as larguras dos anéis de crescimento em cada amostra radial foram definidos como sendo uma série de crescimento. Para assegurar que a largura do anel de crescimento medido correspondeu ao ano datado, realizou-se a sincronização, inicialmente, entre raios da mesma posição e entre as posições da mesma árvore considerada. Para isso, primeiro, foi feita uma análise na sincronia entre as séries com o uso da planilha eletrônica, buscando



averiguar os pontos (picos) em comum. Na sequência, os dados foram analisados com o software COFECHA (HOLMES,1983), usado frequentemente em estudos de dendrocronologia para avaliar a qualidade das sincronizações entre séries de crescimento.

O COFECHA permite examinar cada série em segmentos menores, definidos no início do processamento dos dados. Com base nas séries inseridas no programa, é ajustado um modelo chamado de série máster que, por meio da correlação linear de Pearson, a existência de correlação significativa entre cada segmento especificado entre as séries reais com a máster ajustada (HOLMES,1983). Desse modo, foi verificada, estatisticamente, a datação revelando as amostras ou segmentos de amostras do lenho que apresentavam problemas de mensuração, indicando possível existência de anéis de crescimento falsos ou incompletos (CHAGAS, 2013).

Após todo o controle das sincronizações nas séries pertencentes à mesma árvore, efetuou-se a média entre elas para cada posição avaliada. Em seguida, todas as séries de crescimento (média) obtidas nas árvores amostradas foram sincronizadas entre si com a mesma sistemática descrita anteriormente. Esse procedimento foi utilizado para selecionar as séries de crescimento que apresentaram correlações significativas para compor a série máster. Portanto, conforme o controle de sincronização realizado com o COFECHA, todas as séries que apresentaram correlações não significativas foram excluídas na composição da série máster. Esse procedimento permitiu obter idades confiáveis para todas as árvores amostradas e construir séries de crescimento que caracterizam o ritmo de crescimento das árvores amostradas.

### **3.3 Análise dos dados**

Após a definição das séries de crescimento com as estatísticas do COFECHA, os valores foram exportados para a planilha eletrônica, gerando o banco de dados. Além dessas informações, foram inseridos, no mesmo arquivo, dados das variáveis dendrométricas, os valores das dimensões morfométricas e dos índices de competição.

### 3.3.1 Análise da capacidade de reestabelecimento da floresta

Para testar a hipótese que as árvores regeneraram após a exploração madeireira, inicialmente, foi determinada a idade das árvores amostradas para verificar se a germinação ocorreu no período que a empresa trabalhou na região norte do estado de Santa Catarina (1911-1940). A idade foi determinada com a contagem do número de anéis de crescimento encontrados nas amostras radiais na posição da base das árvores amostradas.

Outras observações importantes consideradas referem-se a mudanças abruptas no ritmo de crescimento, observadas nas séries nas posições da base e diâmetro à altura do peito. Mudanças abruptas, caso verificadas no período em que a empresa realizou explorações florestais, apoiaria a hipótese de as árvores regeneraram-se e ou desenvolveram-se em melhores condições de luminosidade, devido à abertura do dossel. Contudo, foi considerado também que as mudanças, caracterizadas principalmente pelo aumento repentino do incremento corrente anual, poderiam pronunciar-se em anos consecutivos ao corte da floresta, em um período de 10 anos. Nesse período, a identificação do distúrbio pode ser observada comparando a média do incremento corrente anual com a média de mesmo período, porém, nos 10 anos anteriores (ABRAMS et al., 1999; NOWACKI; ABRAMS, 1997; LORIMER; FRELICH, 1989). Assim, diferenças acima de 100% entre as médias indicariam que as árvores foram expostas no decorrer do tempo a melhores condições de luminosidade, decorrentes de distúrbios naturais (ventanias, pragas, dentre outros) ou antrópicos, como exploração madeireira.

### 3.3.2 Modelagem do incremento periódico anual em área basal (IPAg)

O incremento periódico anual em área basal (IPAg) foi calculado para o período que compreende os últimos 5 anos de crescimento, a partir dos rolos de incremento na posição do diâmetro à altura do peito com a expressão:

$$IPg = \left( dap_e^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) - \left( dap_a^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right)$$

logo,

$$IPAg = \frac{IPg}{n}$$

Sendo: IPg = incremento periódico em área basal (cm<sup>2</sup>); dap<sub>e</sub> = diâmetro à altura do peito (cm) no ano de 2011; dap<sub>a</sub> = diâmetro à altura do peito (cm) no ano de 2006; IPAg = incremento periódico anual em área basal (cm<sup>2</sup>); n = período considerado, em anos.

Na modelagem do incremento periódico anual em área basal (IPAg), foram consideradas, como variáveis independentes, as dendrométricas, morfométricas e de competição na forma pura e transformados na ordem logarítmica, quadrática, cúbica e inversa.

O procedimento de seleção das árvores, a medição das variáveis dendrométricas, o cálculo da morfometria e os índices que representaram a competição foram descritos no item 3.2 e em seus subitens 3.2.1 a 3.2.3.

O fato de ter sido considerado o período de cinco anos surgiu do pressuposto de que as condições atuais de competição que as árvores encontram-se submetidas pouco se alteraram no período considerado, validando, desse modo, o uso desses índices como variáveis a serem testadas no ajuste do modelo de regressão.

O comportamento entre o incremento periódico anual em área basal e as variáveis independentes foi avaliado, inicialmente, com auxílio de gráficos de dispersão na planilha eletrônica. Esse procedimento permitiu encontrar possíveis valores discrepantes e, conseqüentemente, averiguar a veracidade desses valores. Em seguida, para selecionar apenas as variáveis independentes com potencial estatístico de predição para a construção do modelo, procedeu-se à análise de correlação de Pearson. Esse procedimento indicou quais as variáveis independentes influenciaram com maior ou menor grau o crescimento das árvores individualmente, indicando as variáveis potenciais que apresentaram comportamento esperado e mais associado com a variável dependente.

### 3.3.2.1 Modelagem de regressão e seleção de modelos de árvore individual

Inicialmente, o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para testar a normalidade da variável dependente, seguida da determinação da equação de regressão com o procedimento *stepwise*. Nesse procedimento, a inclusão de variáveis independentes ocorre em ordem decrescente de correlação linear simples com a variável dependente e a inclusão da variável que não resulta em melhora significativa do modelo é eliminada (SOUZA et al., 2013), permanecendo no modelo final somente variáveis com poder explanatório significativo ( $Pr < 0,05$ ).

Os critérios de seleção dos melhores ajustes foram a análise da distribuição gráfica dos resíduos, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ).

Na sequência, foi avaliada a existência de colinearidade das variáveis explanatórias, identificadas com base no índice de “Variance Inflation Factor” (VIF), sendo considerada colinearidade valores de VIF superior a 10. Quando ocorre colinearidade, a estimação dos coeficientes é errônea, agregado a um elevado erro padrão para cada coeficiente, o que conduz uma má inferência (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Para análise do modelo selecionado, procedeu-se, a seguir, à avaliação das condicionantes de regressão que se reporta a análise dos erros entre os valores observados e estimados. Neste sentido, os resíduos foram avaliados quanto à sua normalidade, homogeneidade de distribuição e independência, com o uso do teste de Shapiro-Wilk, White e Durbin-Watson, respectivamente.

A avaliação gráfica dos resíduos em razão da variável dependente e das variáveis independentes selecionadas no modelo construído permitiu analisar a precisão e as possíveis tendências do modelo, possibilitando sua correção pela substituição, modificação da variável ou do modelo empregado.

As etapas que envolveram a modelagem do IPAg foram realizadas com a utilização do software SAS - “Statistical Analysis System 9.1” (SAS Institute Inc., 2004), com procedimentos de correlação, programado no software pela chamada PROC CORR, procedimento de seleção das variáveis a partir do PROC STEPWISE, procedimento de regressão com o uso do PROC REG e procedimento de análise

gráfica a partir do PROC GPLOT. Os testes de condicionantes da regressão foram realizados pelo procedimento PROC MODEL com a opção NORMAL, WHITE, DW.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização das variáveis dimensionais das árvores objetivo

#### 4.1.1 Variação dimensional por classe de diâmetro das árvores de *Araucaria angustifolia*

O resumo estatístico das variáveis dendrométricas e morfométricas de 47 árvores objetivo de *Araucaria angustifolia* (Tabela 4) mostrou que o diâmetro à altura do peito médio variou de 14,7 cm para as árvores mais finas classe de 10 – 20 cm a 78,9 cm na classe de dap >70 cm. Entre todas as variáveis dimensionais, a média da altura e do ponto de inserção da copa foram as que menos oscilaram entre as classes diamétricas, apresentando os menores valores de coeficiente de variação, exceto para as árvores entre 10 a 20 cm. Ressalta-se também, como esperado, que o valor médio da variável altura, ponto de inserção da copa, diâmetro de copa e comprimento de copa aumentaram com o aumento do diâmetro à altura do peito.

De modo geral, a maior variação encontrada ocorreu nas variáveis que expressavam o tamanho da copa (diâmetro de copa e comprimento de copa), principalmente nas árvores com diâmetro à altura do peito menor que 30 cm. Nesses casos, as árvores mais finas foram submetidas a número diferente de árvores competidoras e, conseqüentemente, restringindo e regulando a dimensão das árvores no sub-bosque. Para alguns autores, as interações competitivas entre as árvores determinam o tamanho da copa e a posição das árvores na estrutura do dossel (THORPE et al., 2010; PACALA et al., 1996) que, por sua vez, influencia na interceptação de luz, capacidade fotossintética, crescimento e sobrevivência.

A análise do formal de copa indicou aumento desta variável a medida que aumenta o porte da árvore, corroborando com as observações de Costa (2011), de que valores altos indicam árvores com copas mais curtas e largas e valores baixos referem-se a árvores com copa mais longa e estreita. O mesmo autor também observou que a modificação nas formas da copa da araucária dar-se-á conforme a idade e o grau de concorrência.

Como esperado, a análise do coeficiente de correlação de Pearson (Figura 7) apontou correlação negativa entre as variáveis morfométricas e dendrométricas com os índices de competição, indicando que o aumento da competição reduziu a dimensão das variáveis que expressavam a dimensão da árvore, observada pela tendência exponencial negativa (Figura 7).

Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores objetivo de *Araucaria angustifolia* na FLONA de Três Barras, SC.

Classe de dap (cm)	N	Variável	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
10,0-19,9	7	dap (cm)	14,7	10,2	18,3	3,6	24,5
		h (m)	15,4	9,0	19,6	3,9	25,3
		pic (m)	12,6	6,7	16,7	4,2	33,3
		dc (m)	3,2	1,2	5,4	1,3	40,6
		cc (m)	2,9	1,0	5,1	1,5	51,7
		fc	1,0	0,5	2,3	0,6	46,2
20,0-29,9	5	dap (cm)	26,2	22,0	28,0	2,5	9,5
		h (m)	19,7	18,5	21,0	0,9	4,6
		pic (m)	17,5	16,5	18,0	0,7	4,0
		dc (m)	3,8	1,9	6,8	1,9	50,0
		cc (m)	2,2	1,5	3,0	0,8	36,4
		fc	1,7	0,88	3,4	1,17	60,3
30,0-39,9	10	dap (cm)	34,7	31,2	38,5	2,8	8,2
		h (m)	19,9	18,0	22,0	1,4	7,2
		pic (m)	16,9	14,7	19,0	1,4	8,1
		dc (m)	6,8	4,7	10,0	1,8	26,8
		cc (m)	3,0	2,0	5,1	1,0	33,1
		fc	2,3	0,9	5,0	1,3	49,4
40,0-49,9	4	dap (cm)	45,8	42,3	47,7	2,4	5,2
		h (m)	21,2	20,0	22,5	1,0	4,7
		pic (m)	18,6	17,5	19,8	1,0	5,4
		dc (m)	10,4	8,1	12,5	2,1	20,2
		cc (m)	2,6	1,1	3,5	1,1	42,3
		fc	3,2	2,6	3,7	0,5	16,1
50,0-59,9	13	dap (cm)	54,7	50,3	59,8	2,9	5,3
		h (m)	21,5	19,0	24,0	1,4	6,5
		pic (m)	18,1	15,9	21,0	1,6	8,8
		dc (m)	11,3	8,8	14,6	1,7	15,0
		cc (m)	3,4	2,5	4,7	0,8	23,5
		fc	3,3	1,9	4,4	0,8	22,6
60,0-69,9	4	dap (cm)	64,1	62,1	66,2	2,1	3,3
		h (m)	22,8	21,5	24,6	1,4	6,1
		pic (m)	18,5	17,0	19,4	1,1	5,9
		dc (m)	14,7	13,6	16,3	1,3	8,8
		cc (m)	4,3	2,5	5,2	1,2	27,9
		fc	3,4	2,8	6,5	1,8	46,6
>70,0	4	dap (cm)	78,9	71,6	83,4	5,1	6,5
		h (m)	23,9	21,0	26,5	2,3	9,6
		pic (m)	18,6	17,0	21,9	2,2	11,8
		dc (m)	14,6	11,3	17,3	3,1	21,2
		cc (m)	5,3	2,6	9,0	2,8	52,8
		fc	2,8	1,9	6,7	2,1	55,5

Em que: dap (cm) = diâmetro à altura do peito; h (m) = altura total; pic (m) = ponto de inserção da copa; dc (m) = diâmetro de copa; cc (m) = comprimento de copa; fc = formal de copa.



Outro aspecto importante a considerar foi a amostragem de oito árvores objetivo livres de competição dentro da floresta, ou seja, sem a presença de árvores circunvizinhas que atingissem (“tocassem”) a copa da árvore objetivo, conforme identificado pelo valor “zero” no eixo y (Figura 7), correspondente aos índices de competição de maior correlação com as variáveis morfométricas e dendrométricas.

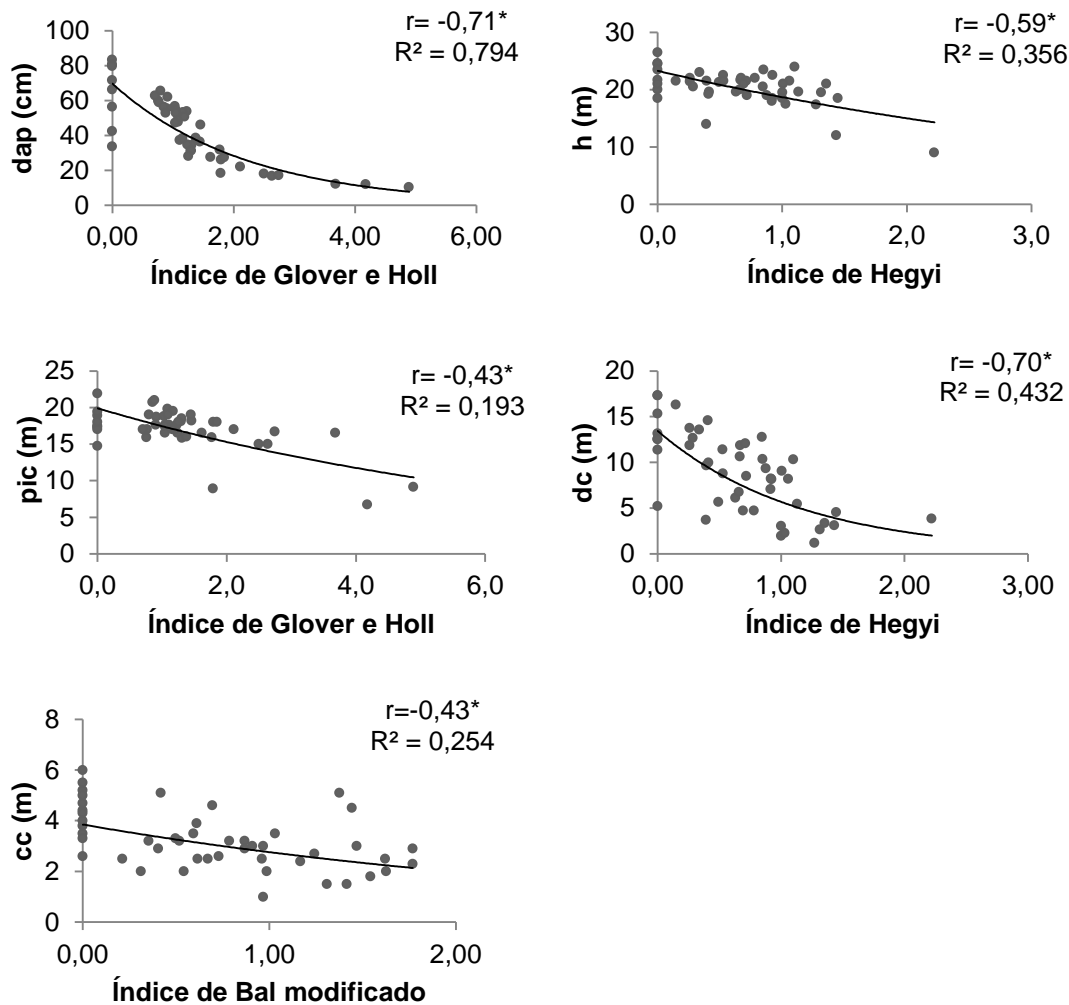


Figura 7 - Relação das variáveis dendrométricas e morfométricas da *Araucaria angustifolia* em função do índice de competição, com os respectivos coeficientes de correlação de Pearson (r) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da linha de tendência.

Em que: dap= diâmetro à altura do peito, h= altura total, pic= ponto de inserção da copa, dc= diâmetro de copa; cc= comprimento de copa, \*= significativo a 0,01%.

A análise gráfica das taxas de incremento em área basal (Apêndice A) apontou grande variabilidade do incremento anual, com um mínimo de 1,30 cm<sup>2</sup> em árvores finas e máximo de 50,68 cm<sup>2</sup> em árvores com diâmetro de 62 cm. Assim, para um mesmo diâmetro, as árvores apresentaram taxas de incremento em área basal distintas, o que está associado à capacidade das árvores de alterar as taxas metabólicas em resposta à disponibilidade de recursos, como, por exemplo, de luz, regulada pela competição das árvores vizinhas (COOMES; ALLEN, 2007).

#### 4.1.2 Variação dimensional por classe de diâmetro das árvores de *Ocotea porosa*

A análise estatística das variáveis dendrométricas e morfométricas mensuradas em 48 árvores objetivo (Tabela 5) mostrou pouca variação da altura média entre as classes diamétricas, com valores de 15 a 22,2 m para as menores e maiores classes de diâmetro, respectivamente.

De modo geral, as maiores variações encontradas, indicadas pelo coeficiente de variação, foram nas variáveis que expressaram as dimensões de copa, dentre as quais a altura de bifurcação do fuste e o comprimento de copa nas árvores de 50 a 60 cm (CV= 81,7%; 53,6% respectivamente). Entretanto, as árvores mais finas (10 a 20 cm) mostraram maior variabilidade no diâmetro da copa (CV= 42,2%), diâmetro à altura do peito (CV= 23,6%) e altura total (CV= 18,8%). Embora a variabilidade encontrada possa ter relação com a frequência de árvores em determinadas classes, é importante considerar que esses resultados reportam a existência de árvores com diâmetros similares, porém, com maior variabilidade na morfometria. Em florestas inequiâneas, esse efeito é comum e deve-se à grande variação nos níveis de competição a que as árvores encontram-se submetidas (OHEIMB et al., 2011; LANG et al., 2010). No presente estudo, esse efeito ficou pronunciado na análise de correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas com os índices de competição, que, nesse caso, somente apresentou correlação das variáveis morfométricas com o índice de Glover e Holl e com o índice de competição de Hegyi modificado (Figura 8).

Tabela 5 - Variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores objetivo de *Ocotea porosa* na FLONA de Três Barras.

Classe de dap (cm)	N	Variável	Méd.	Mín.	Máx.	Desv. pad.	CV (%)
10,0-19,9	8	dap (cm)	15,9	10,1	19,8	3,7	23,3
		h (m)	15,0	10,0	18,5	2,8	18,7
		hf (m)	8,7	4,9	13,0	2,7	31,0
		dc (m)	4,7	2,8	8,8	2,0	42,6
		cc (m)	6,4	2,0	11,1	2,6	40,6
		fc	1,0	0,3	2,8	0,9	84,7
20,0-29,9	14	dap (cm)	26,3	21,6	29,3	2,5	9,5
		h (m)	17,2	13,5	19,6	1,8	10,5
		hf (m)	8,4	3,6	14,5	3,5	41,7
		dc (m)	7,1	4,6	13,2	2,4	33,8
		cc (m)	8,8	2,5	15,9	3,8	43,2
		fc	0,9	0,4	2,4	0,5	53,7
30,0-39,9	11	dap (cm)	34,0	30,1	37,1	2,8	8,2
		h (m)	17,3	16,0	21,0	1,5	8,7
		hf (m)	8,8	4,6	11,5	2,2	25,0
		dc (m)	8,8	6,0	13,9	2,2	25,0
		cc (m)	8,5	5,6	12,4	2,1	24,7
		fc	1,1	0,7	1,8	0,4	34,5
40,0-49,9	5	dap (cm)	42,2	40,1	44,2	1,6	3,8
		h (m)	19,3	18,5	20,5	0,8	4,1
		hf (m)	6,0	3,5	10,5	3,1	51,7
		dc (m)	10,5	7,9	14,3	2,6	24,8
		cc (m)	13,7	9,0	17,0	3,5	25,5
		fc	1,4	0,6	3,5	0,9	63,9
50,0-59,9	4	dap (cm)	51,4	50,1	52,5	1,1	2,1
		h (m)	19,8	18,5	21,0	1,2	6,1
		hf (m)	5,3	2,5	11,7	4,3	81,1
		dc (m)	10,6	9,9	11,6	0,7	6,6
		cc (m)	13,0	2,8	18,5	7,0	53,8
		fc	0,66	0,6	0,7	0,04	7,1
60,0-69,9	3	dap (cm)	61,2	60,2	62,1	1,0	1,6
		h (m)	22,0	21,0	23,0	1,0	4,5
		hf (m)	15,3	14,0	17,0	1,5	9,8
		dc (m)	14,1	11,3	17,0	2,8	19,9
		cc (m)	6,7	6,0	8,0	1,2	17,9
		fc	2,1	1,9	2,3	0,2	10,4
>70,0	3	dap (cm)	75,5	70,0	83,6	7,1	9,4
		h (m)	22,2	21,0	23,5	1,3	5,9
		hf (m)	6,3	2,5	11,0	4,3	68,3
		dc (m)	15,0	10,7	19,3	4,3	28,7
		cc (m)	15,8	12,5	19,5	3,5	22,2
		fc	1,0	0,7	1,5	0,5	47,1

Em que: dap (cm) = diâmetro à altura do peito; h (m) = altura total; hf (m) = altura de bifurcação do fuste; dc (m) = diâmetro de copa; cc (m) = comprimento de copa; fc = formal de copa.

Em relação ao formal de copa, foram constatadas diferenças pouco expressivas na média entre as classes de diâmetro, apresentando valores próximo de 1, com exceção das árvores na classe de 60 a 69,9 cm, indicando que as árvores amostradas de *Ocotea porosa*, de modo geral, apresentam copas pouco extensas em diâmetro, certamente, devido à influência das árvores vizinhas (CUNHA, 2009).

Os resultados encontrados para o comprimento de copa ( $r = -0,52$ ) e diâmetro de copa ( $r = -0,58$ ) indicaram que essas variáveis diminuíram à medida que aumentou a competição. Ainda com o aumento da competição, maior foi a altura de bifurcação do fuste ( $r = 0,33$ ) (Figura 8).

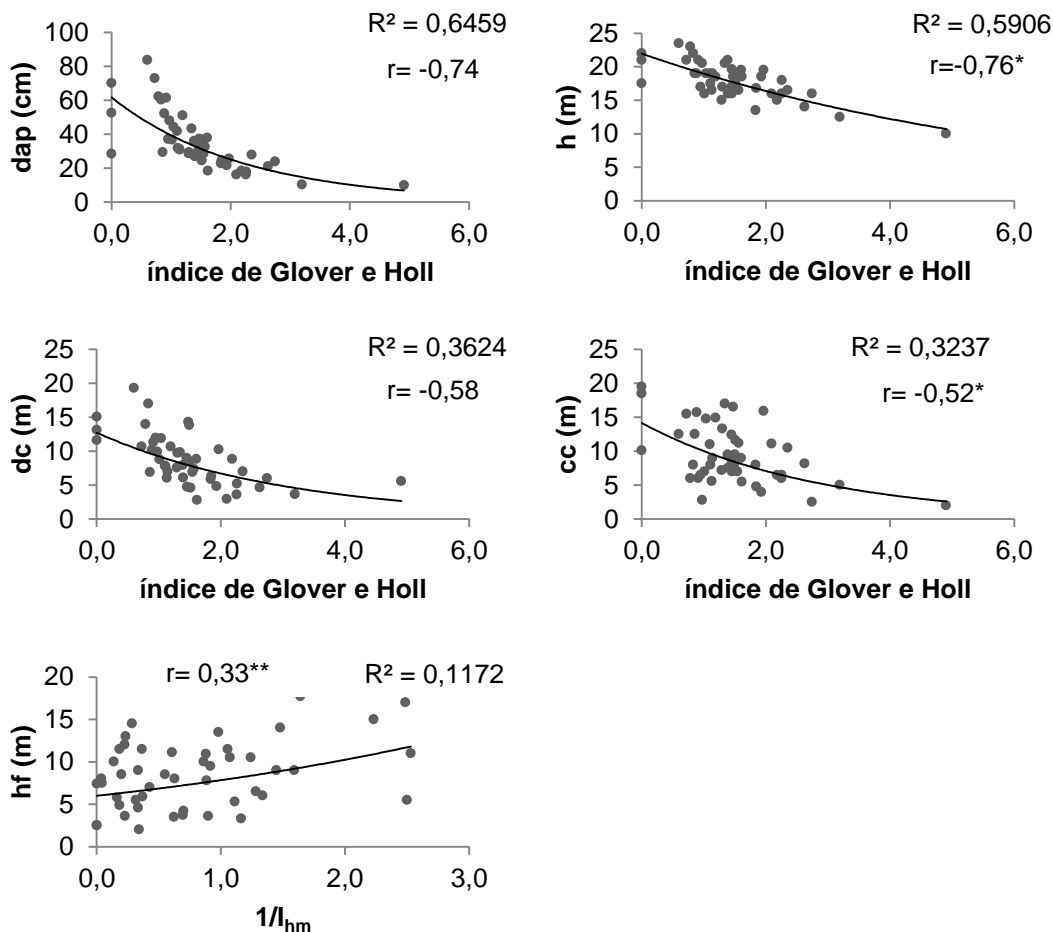


Figura 8 - Relação das variáveis dendrométricas e morfométricas da *Ocotea porosa* em função do índice de competição, com os respectivos coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e coeficientes de determinação da linha de tendência ( $R^2$ ).

Em que: dap=diâmetro à altura do peito, h= altura total, hf= altura de bifurcação do fuste; cc= comprimento de copa,  $1/l_{hm}$ = inverso do índice de competição de Hegyi modificado; \*= significativo a 0,01%. \*\*= significativo a 0,05%.

A mesma relação de redução do diâmetro de copa com o aumento da competição foi relatada por Thorpe et al. (2010), em estudo da morfometria de *Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt., *Pinus contorta* Douglas ex London e *Picea glauca* (Moench) Voss.

#### **4.2 Dendrocronologia de *Araucaria angustifolia***

A análise macroscópica das amostras radiais obtidas nas diferentes posições do fuste revelou a presença de irregularidades anatômicas, como: anéis ausentes, falsos anéis e flutuações intra-anuais de densidade, principalmente na base e no diâmetro à altura do peito, causando maior dificuldade na determinação dos anéis de crescimento nessas posições. Contudo, isso não prejudicou a qualidade das séries de crescimento que compuseram a série máster gerada em cada posição avaliada. É importante ressaltar que as irregularidades observadas no presente estudo também foram encontradas por Adenesky Filho (2014); Cattaneo et al. (2013); Stepka (2012) e Oliveira; Roig; Pillar, (2010).

A correlação de Pearson dos segmentos das séries e a correlação média desses segmentos com a série máster obtida pelo software COFECHA foram apresentadas nas Tabelas 6, 7 e 8, respectivamente para base, diâmetro à altura do peito e ponto de inserção da copa.

Durante a análise dos resultados gerados pelo COFECHA, observou-se a necessidade de exclusão das árvores que apresentaram correlação não significativa na composição das séries cronológicas. Na base, de um total de 21 árvores amostradas, 09 foram eliminadas, resultando em uma perda de 42,9% das amostras nessa posição. Na posição do diâmetro à altura do peito, 15 foram eliminadas (39,4%) e, para o ponto de inserção da copa, das 21 árvores amostras, 1 (4,7%) foi eliminada.

A quantidade de amostras eliminadas não afetou a precisão da série cronológica em cada posição do fuste, uma vez que se observou a existência de sinal comum de crescimento, em, pelo menos, 60% das árvores analisadas.

É importante destacar que praticamente todas as séries de crescimento do ponto de inserção da copa apresentaram correlação significativa, o que se deve a

baixa ocorrência de irregularidades anatômicas e a pouca variação na largura dos anéis de crescimento nessa posição, comumente observadas nas partes superiores do fuste (STOKES; SMILEY, 1996; KERHOULAS; KANE, 2011).

Tabela 6 - Controle de qualidade da medida dos anéis de crescimento da base das árvores de *Araucaria angustifolia* executados pelo software COFECHA.

Séries	Período		Intercorrelação			Correlação com a Máster
			1940 1979	1960 1999	1980 2011	
<b>1</b>	<b>1956</b>	<b>2011</b>	<b>0,49</b>	<b>0,55</b>	<b>0,41</b>	<b>0,393</b>
<b>4</b>	<b>1954</b>	<b>2011</b>	<b>0,45</b>	<b>0,50</b>	<b>0,57</b>	<b>0,520</b>
<b>9</b>	<b>1963</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,52</b>	<b>0,46</b>	<b>0,489</b>
<b>11</b>	<b>1936</b>	<b>2011</b>	<b>0,35B</b>	<b>0,34A</b>	<b>0,31A</b>	<b>0,372</b>
<b>19</b>	<b>1953</b>	<b>2011</b>	<b>0,32A</b>	<b>0,37</b>	<b>0,40</b>	<b>0,357</b>
<b>32</b>	<b>1940</b>	<b>2011</b>	<b>0,53</b>	<b>0,37</b>	<b>0,49</b>	<b>0,515</b>
<b>34</b>	<b>1988</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,46</b>	<b>0,457</b>
<b>35</b>	<b>1980</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,46</b>	<b>0,462</b>
<b>36</b>	<b>1951</b>	<b>2011</b>	<b>0,39B</b>	<b>0,38</b>	<b>0,33A</b>	<b>0,386</b>
38	1966	2011	0,13B	0,15B	-	0,122
44	1947	2011	0,22B	0,42	0,49	0,324
<b>48</b>	<b>1959</b>	<b>2011</b>	<b>0,47</b>	<b>0,50</b>	<b>0,67</b>	<b>0,521</b>
59	1975	2011	-	0,25B	-	0,248
64	1943	2011	0,15B	0,01B	0,01B	0,122
77	1958	2011	0,03B	0,04B	0,21B	0,226
<b>91</b>	<b>1943</b>	<b>2011</b>	0,25B	<b>0,70</b>	<b>0,64</b>	<b>0,375</b>
96	1950	2011	0,15B	0,16B	0,17A	0,165
99	1940	2011	0,20B	0,21B	0,47	0,310
102	1943	2011	0,27B	0,26B	0,37	0,287
103	1947	2011	0,08B	0,08B	0,45	0,235
<b>155</b>	<b>1977</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,60</b>	-	<b>0,597</b>
		Média 1:	0,28	0,34	0,41	0,356
		Média 2:	0,43	0,48	0,47	0,454

Em que: valores em negrito = superior ao valor crítico de 0,3665 a 1%.

Média 1 = valor médio, considerando todas as correlações geradas.

Média 2 = valor médio, considerando apenas as correlações significativas.

Durante a análise das amostras radiais da mesma árvore, observou-se que, em alguns casos, a média obtida para construção da série de crescimento na base ou no diâmetro à altura do peito não representavam determinados picos ao compará-lo com a série média obtida na posição do ponto de inserção da copa, o que resultava em menores correlações. Ressalta-se também que houve dificuldade na determinação e na medição da largura dos anéis de crescimento em árvores dominadas, causado pela largura inexpressiva desses anéis ou pela ausência deles na posição da base e no diâmetro à altura do peito.

Tabela 7 - Controle de qualidade da medida dos anéis de crescimento das amostras do diâmetro à altura do peito das árvores de *Araucaria angustifolia* executados pelo software COFECHA.

Séries	Período	Intercorrelação				Correlação com a Máster	
		1920 1959	1940 1979	1960 1999	1980 2011		
<b>1</b>	<b>1961</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,58</b>	<b>0,54</b>	<b>0,528</b>
<b>3</b>	<b>1954</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,53B</b>	<b>0,49</b>	<b>0,47</b>	<b>0,501</b>
<b>4</b>	<b>1954</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,34A</b>	<b>0,35A</b>	<b>0,6</b>	<b>0,500</b>
6	1931	2011	0,16B	0,35A	0,35A	0,30B	0,212
<b>7</b>	<b>1992</b>	<b>2011</b>	-	-	-	<b>0,51</b>	<b>0,513</b>
<b>9</b>	<b>1971</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,36B</b>	<b>0,37B</b>	<b>0,367</b>
10	1968	2011	-	-	0,25A	0,25B	0,234
11	1934	2011	0,30B	0,35B	0,39	0,36A	0,329
<b>13</b>	<b>1898</b>	<b>2011</b>	<b>0,30A</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,5</b>	<b>0,402</b>
<b>14</b>	<b>1972</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,62</b>	-	<b>0,618</b>
18	1969	2011	-	-	0,28B	0,30B	0,300
<b>19</b>	<b>1964</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,51</b>	<b>0,44</b>	<b>0,475</b>
<b>32</b>	<b>1940</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,71</b>	<b>0,54</b>	<b>0,57</b>	<b>0,647</b>
33	1959	2011	-	0,20B	0,23B	0,35A	0,269
<b>34</b>	<b>1984</b>	<b>2011</b>	-	-	-	<b>0,42</b>	<b>0,425</b>
<b>35</b>	<b>1977</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,45</b>	-	<b>0,452</b>
<b>36</b>	<b>1952</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,49</b>	<b>0,57</b>	<b>0,62</b>	<b>0,557</b>
37	1976	2011	-	-	0,35A	-	0,353
<b>44</b>	<b>1940</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,41</b>	<b>0,40B</b>	<b>0,51</b>	<b>0,452</b>
48	1954	2011	-	0,28A	0,25B	0,28B	0,270
<b>49</b>	<b>1943</b>	<b>2007</b>	-	<b>0,52</b>	<b>0,42</b>	<b>0,47</b>	<b>0,445</b>
<b>50</b>	<b>1944</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,41</b>	<b>0,33A</b>	<b>0,57</b>	<b>0,485</b>
<b>64</b>	<b>1942</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,33A</b>	<b>0,36A</b>	<b>0,61</b>	<b>0,415</b>
<b>70</b>	<b>1948</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,46</b>	<b>0,43</b>	<b>0,38</b>	<b>0,469</b>
71	1955	2011	-	0,17B	0,28B	0,40B	0,288
<b>77</b>	<b>1972</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,46</b>	-	<b>0,464</b>
91	1951	2011	-	0,28A	0,36A	0,36A	0,286
96	1959	2011	-	0,22A	0,27A	0,34A	0,351
99	1945	2011	-	0,20B	0,33A	0,44	0,318
<b>102</b>	<b>1951</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,45B</b>	<b>0,51</b>	<b>0,48B</b>	<b>0,440</b>
<b>103</b>	<b>1949</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,52</b>	<b>0,40</b>	<b>0,46</b>	<b>0,474</b>
<b>109</b>	<b>1956</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,36A</b>	<b>0,31A</b>	<b>0,58</b>	<b>0,396</b>
<b>115</b>	<b>1963</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,42</b>	<b>0,44</b>	-	<b>0,386</b>
118	1961	2011	-	-	0,16B	0,30A	0,209
119	1964	2011	-	-	0,05B	0,16B	0,179
120	1978	2011	-	-	0,34A	-	0,341
190	1950	2011	-	0,23B	0,21B	0,38	0,310
<b>NY1</b>	<b>1984</b>	<b>2011</b>	-	-	-	<b>0,55</b>	<b>0,552</b>
Média 1			0,25	0,38	0,37	0,43	0,400
Média 2			0,30	0,45	0,45	0,51	0,477

Em que: valores em negrito = superior ao valor crítico de 0,3665 a 1%.

Média 1 = valor médio, considerando todas as correlações geradas.

Média 2 = valor médio, considerando apenas as correlações significativas.

Para minimizar os problemas de possíveis incertezas na determinação e na caracterização dos anéis de crescimento, muitos autores recomendam o uso do método destrutivo (análise tronco completa), através da análise de discos do tronco (ROZENDAAL e ZUIDEMA, 2011; WORBES, 2002). Nesse caso, a técnica possibilita distribuir um maior número de raios ao longo da seção transversal, minimizando possíveis erros decorrentes dos raios que apresentam maior ocorrência de irregularidades anatômicas. Certamente, no presente estudo, as irregularidades anatômicas podem ser atribuídas como um dos fatores responsáveis pela eliminação de séries de crescimento nas posições inferiores do fuste.

Tabela 8 - Controle de qualidade das medidas dos anéis de crescimento das amostras do ponto de inserção da copa das árvores de *Araucaria angustifolia* executados pelo software COFECHA.

Séries	Período		Intercorrelação		Correlação com a Máster
			1960 1999	1980 2011	
<b>4</b>	<b>1974</b>	<b>2011</b>	<b>0,41</b>	-	<b>0,406</b>
9	1978	2011	0,30A	-	0,299
<b>11</b>	<b>1963</b>	<b>2011</b>	<b>0,46</b>	<b>0,42</b>	<b>0,441</b>
<b>18</b>	<b>1979</b>	<b>2011</b>	<b>0,51</b>	-	<b>0,509</b>
<b>19</b>	<b>1979</b>	<b>2011</b>	<b>0,69</b>	-	<b>0,693</b>
<b>33</b>	<b>1980</b>	<b>2011</b>	<b>0,57</b>	-	<b>0,571</b>
<b>36</b>	<b>1977</b>	<b>2011</b>	<b>0,55</b>	-	<b>0,554</b>
<b>44</b>	<b>1969</b>	<b>2011</b>	<b>0,79</b>	<b>0,84</b>	<b>0,790</b>
<b>48</b>	<b>1970</b>	<b>2011</b>	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>	<b>0,701</b>
<b>49</b>	<b>1967</b>	<b>2011</b>	<b>0,51</b>	<b>0,54</b>	<b>0,53</b>
<b>50</b>	<b>1966</b>	<b>2011</b>	<b>0,75</b>	<b>0,73</b>	<b>0,735</b>
<b>53</b>	<b>1975</b>	<b>2011</b>	<b>0,67</b>	-	<b>0,67</b>
<b>58</b>	<b>1964</b>	<b>2011</b>	<b>0,64</b>	<b>0,73</b>	<b>0,639</b>
<b>70</b>	<b>1966</b>	<b>2011</b>	<b>0,56</b>	<b>0,54</b>	<b>0,565</b>
<b>71</b>	<b>1971</b>	<b>2011</b>	<b>0,62</b>	<b>0,63</b>	<b>0,617</b>
<b>77</b>	<b>1996</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,56</b>	<b>0,564</b>
<b>91</b>	<b>1975</b>	<b>2011</b>	<b>0,74</b>	-	<b>0,741</b>
<b>99</b>	<b>1971</b>	<b>2011</b>	<b>0,68</b>	<b>0,77</b>	<b>0,682</b>
<b>109</b>	<b>1972</b>	<b>2011</b>	<b>0,78</b>	-	<b>0,785</b>
<b>149</b>	<b>1959</b>	<b>2011</b>	<b>0,40</b>	<b>0,54</b>	<b>0,412</b>
<b>172</b>	<b>1960</b>	<b>2011</b>	<b>0,47</b>	<b>0,52</b>	<b>0,440</b>
	Média 1		0,61	0,63	0,588
	Média 2		0,61	0,63	0,602

Em que: valores em negrito = superior ao valor crítico de 0,3665 a 1%.

Média 1 = valor médio, considerando todas as correlações geradas.

Média 2 = valor médio, considerando apenas as correlações significativas.



Outros estudos de dendrocronologia com *Araucaria angustifolia* também reportaram a perda de amostras na composição da série máster. Stepka (2012) eliminou 30% das árvores, atribuindo essa perda ao maior número de árvores com menor diâmetro e que, por conseguinte, com grande chance de estarem suprimidas no interior da floresta. O autor assumiu um ponto crítico (segmentos de 50 anos comparados a cada 25) de 0,328.

No presente estudo, foram analisados segmentos de 40 anos comparados a cada 20, resultando em um ponto crítico de 0,3665, o que pode resultar na inclusão de menor número de árvores na série cronológica. Em um estudo com 30 araucárias amostradas na Floresta Nacional de São Francisco de Paula e outras 30 no município de Monte Negro, RS, Oliveira; Roig; Pillar, (2010) eliminaram 56,67% e 60% das árvores, respectivamente, com um ponto crítico assumido de 0,390 (segmentos de 30 anos comparados a cada 15 anos) na construção da série máster.

Irregularidades na formação dos anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia*, crescendo em reflorestamento na fronteira Oeste da Argentina, foram relatadas por Cattaneo et al. (2013), levando a eliminar 25% das 60 árvores amostradas devido à correlação não significativa entre as medidas dos anéis nos raios amostrados, causada por irregularidades anatômicas, como anéis de cunha. Nesse caso, as amostras radiais do estudo foram tomadas a 0,2 m do nível do solo e, desse modo, em posição próxima as da região da base amostrada no presente estudo (0,10 m), o que corrobora com os problemas encontrados e apontados na análise macroscópica.

No presente estudo, as menores correlações foram encontradas nas séries temporais mais extensas, destacando-se, principalmente, as séries pertencentes à base da árvore, logo, o maior número de árvores eliminadas esteve entre as de maior idade. A possibilidade de séries extensas estarem sujeitas a maior influência de fatores ambientais, como flutuações climáticas sazonais e perturbações e, com isso, redução do sincronismo das séries e indução a respostas diferenciadas de crescimento, também foi referida por Adenesky Filho (2014).

A correlação média, considerando todos os valores das correlações com a máster no ponto de inserção da copa ( $r = 0,602$ ), de acordo com o teste de Tukey e Crammer, diferiu significativamente com a média obtida na base ( $r = 0,454$ ) e diâmetro à altura do peito ( $r = 0,477$ ), indicando maior sincronismo entre as séries

nas partes superiores do fuste, devido à menor variabilidade radial na largura dos anéis de crescimento nessa posição (Figura 9).

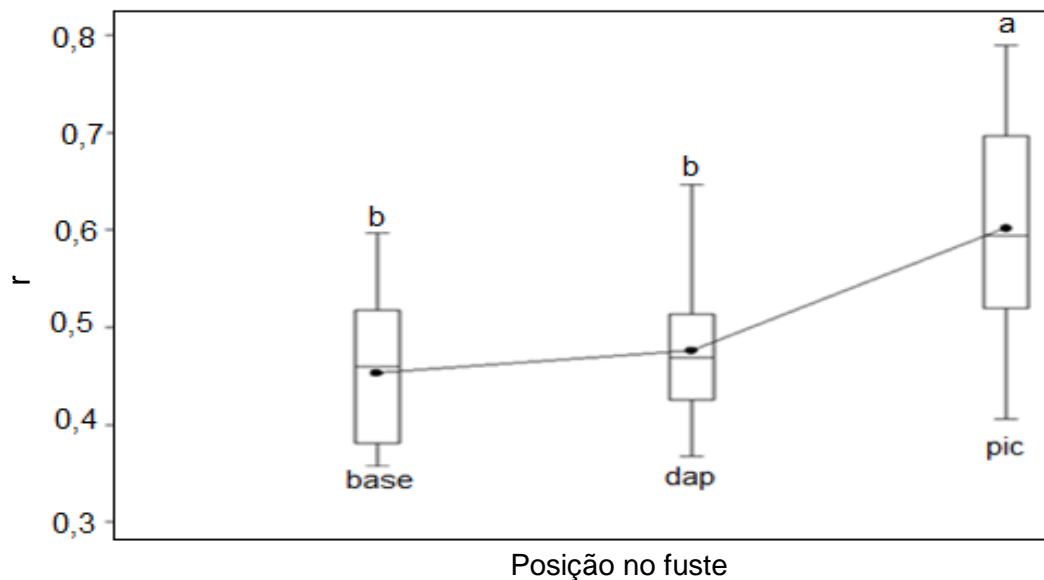


Figura 9 - Correlação de Pearson ( $r$ ) dos segmentos das séries individuais com os segmentos da série máster e teste de Tukey entre as médias da correlação das séries com a máster para a *Araucaria angustifolia*.

Em que: médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey em um nível  $\alpha$  0,05.

De modo geral, a extensão cronológica (máster) obtida no ponto de inserção da copa (52 anos) é 31% e 27% menor em comparação com a base (75 anos) e na posição do dap (71 anos), respectivamente (Figura 10). Embora as amostras radiais da base e do dap forneçam um maior número de anéis anuais para análise em comparação com o ponto de inserção da copa, onde a série temporal é mais curta, as coletas nerosas e difíceis (CHHIN; WANG, 2005), essas séries constituíram-se em referência importante na identificação de anéis ausentes na base e na posição do diâmetro à altura do peito da *Araucaria angustifolia*.

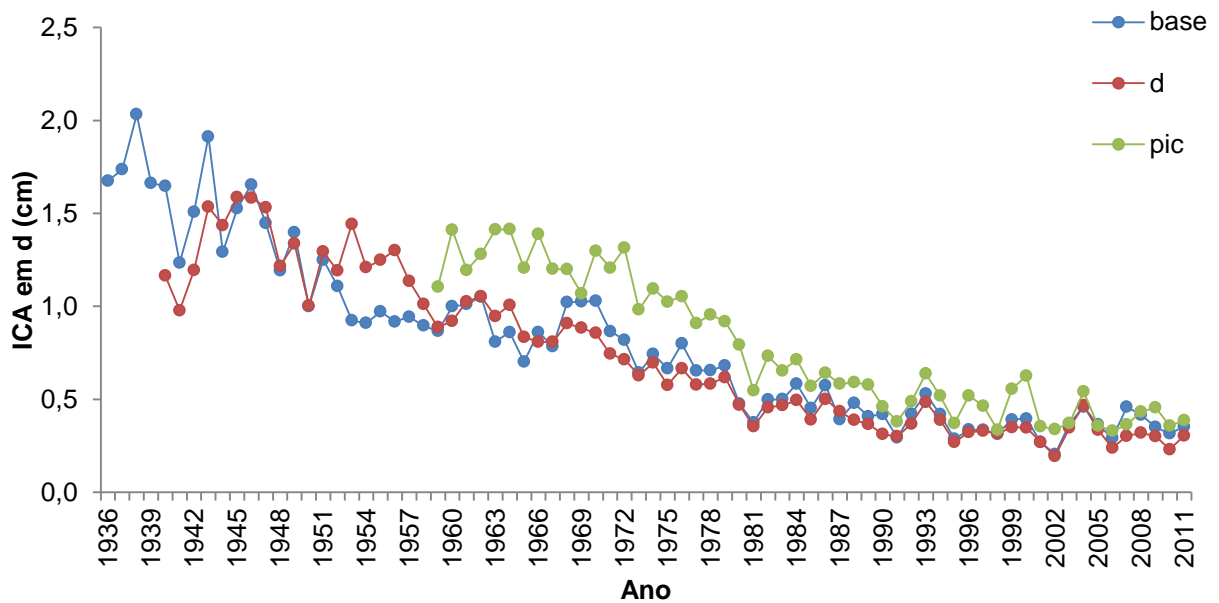


Figura 10 - Série cronológica (máster) obtida na base, diâmetro à altura do peito (dap) e ponto de inserção da copa (pic) das árvores amostradas de *Araucaria angustifolia*.

Em que: ICA em d = Incremento corrente anual em diâmetro.

O fato de praticamente todas as árvores terem apresentado um sinal comum de crescimento nas posições superiores do fuste, como já havia sido discutido anteriormente, permite amostrar um menor número de árvores e viabilizar o uso dessas séries como auxílio na identificação de irregularidades anatômicas nas posições inferiores do fuste da araucária. Como esperado, as três séries máster construídas foram fortemente correlacionadas entre si, de acordo com o coeficiente de correlação apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes de correlação entre as cronologias máster da base, diâmetro à altura do peito (d) e ponto de inserção da copa (pic).

	base	dap	pic
base	1,000	-	-
dap	0,935	1,000	-
pic	0,937	0,954	1,000

Em que: dap = diâmetro à altura do peito; pic = ponto de inserção da copa.

### 4.3 Dendrocronologia de *Ocotea porosa*

As análises macroscópicas revelaram anéis de crescimento com limites bem demarcados, com maior espessamento e achatamento radial das paredes das fibras do lenho tardio (RONDON NETO, 2003; TOMAZELLO FILHO et al., 2004).

A correlação de Pearson dos segmentos e a correlação média desses segmentos com a série máster obtida para a *Ocotea porosa*, apresentada na Tabela 10, 11 e 12, respectivamente, para base, diâmetro à altura do peito e altura de bifurcação do fuste, mostrou séries de crescimento com correlação não significativa, havendo a necessidade de serem eliminadas na composição da série máster. Desse modo, o sinal comum das séries foi maximizado e formou uma série máster sólida, que representou comportamento similar entre as séries nas três posições de amostragem, conforme relatado por Alvarado (2009), em condições semelhantes.

Na construção da série da base, 38,2% das amostras de um total de 34 árvores amostradas foram eliminadas, na posição do dap, 27% das 48 árvores amostradas foram retiradas e, na altura de bifurcação do fuste, 28% das 28 árvores amostradas foram também retiradas para a construção da série máster. O número de árvores eliminadas na série do dap foi similar ao retirado no estudo de Stepka (2012) para a mesma espécie e mesmo local do presente estudo. O autor retirou 33% das árvores amostradas.

Árvores com série não correlacionada em determinada posição foram descartadas para a construção da série máster, como o exemplo da árvore 167 que apresentou correlação não significativa na série da base ( $r = 0,339$ ) e significativa para o diâmetro à altura do peito ( $r = 0,439$ ) e na altura de bifurcação do fuste ( $r = 0,423$ ). O mesmo sucedeu-se com as árvores 54, 56, 76, 82, 89, 93.

Tabela 10 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras da base das árvores de *Ocotea porosa* executados pelo software COFECHA.

Séries	Período		Intercorrelação				Correlação com a Máster
			1920 1959	1940 1979	1960 1999	1980 2011	
<b>21</b>	<b>1934</b>	<b>2011</b>	<b>0,42</b>	<b>0,51</b>	<b>0,65</b>	<b>0,61</b>	<b>0,511</b>
22	1965	2011	-	-	0,28A	0,5	0,312
<b>24</b>	<b>1977</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,37</b>	-	<b>0,371</b>
26	1961	2009	-	-	0,29A	0,33A	0,303
<b>27</b>	<b>1970</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,39</b>	<b>0,42</b>	<b>0,421</b>
<b>30</b>	<b>1957</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,38</b>	<b>0,37B</b>	<b>0,29B</b>	<b>0,390</b>
<b>47</b>	<b>1942</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,39</b>	<b>0,62</b>	<b>0,51</b>	<b>0,439</b>
54	1952	2011	-	0,23B	0,21A	0,05B	0,190
<b>60</b>	<b>1939</b>	<b>2011</b>	<b>0,63</b>	<b>0,61</b>	<b>0,6</b>	<b>0,54</b>	<b>0,566</b>
68	1945	2011	-	0,21B	0,15B	0,04B	0,200
<b>72</b>	<b>1959</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,70</b>	<b>0,521</b>
<b>75</b>	<b>1970</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,49</b>	<b>0,50</b>	<b>0,425</b>
83	1959	2010	-	0,52	0,52	0,32A	0,350
<b>84</b>	<b>1965</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,64</b>	<b>0,70</b>	<b>0,673</b>
<b>86</b>	<b>1953</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,75</b>	<b>0,72</b>	<b>0,63</b>	<b>0,632</b>
<b>89</b>	<b>1969</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	<b>0,698</b>
<b>90</b>	<b>1941</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,33B</b>	<b>0,54</b>	<b>0,46</b>	<b>0,438</b>
92	1927	2011	0,06B	0,09B	0,36A	0,39	0,211
<b>94</b>	<b>1934</b>	<b>2011</b>	<b>0,25A</b>	<b>0,31B</b>	<b>0,69</b>	<b>0,69</b>	<b>0,469</b>
100	1936	2007	0,16B	0,19B	0,37	0,43	0,249
<b>133</b>	<b>1949</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,38</b>	<b>0,40</b>	<b>0,56</b>	<b>0,439</b>
<b>139</b>	<b>1950</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,45</b>	<b>0,59</b>	<b>0,63</b>	<b>0,508</b>
<b>147</b>	<b>1964</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,41</b>	<b>0,40</b>	<b>0,436</b>
155	1977	2011	-	-	0,32A	-	0,324
167	1965	2011	-	-	0,40B	0,35A	0,339
170	1865	2011	0,14B	0,13B	0,35B	0,65	0,335
179	1934	2009	0,22B	0,21B	0,36A	0,27A	0,266
197	1930	2011	0,13B	0,41	0,32A	0,19B	0,221
<b>125F2</b>	<b>1956</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,48</b>	<b>0,52</b>	<b>0,42</b>	<b>0,379</b>
<b>192F4</b>	<b>1959</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,58</b>	<b>0,56</b>	<b>0,50B</b>	<b>0,560</b>
195F2	1944	2011	-	0,19B	0,4	0,26A	0,230
<b>576 F1</b>	<b>1949</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,52</b>	<b>0,46</b>	<b>0,55</b>	<b>0,468</b>
<b>SN02</b>	<b>1960</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,64</b>	<b>0,60</b>	<b>0,600</b>
<b>SN03</b>	<b>1959</b>	<b>2011</b>	-	<b>0,65</b>	<b>0,64</b>	<b>0,77</b>	<b>0,675</b>
Média 1:			0,25	0,39	0,47	0,47	0,416
Média 2:			0,43	0,49	0,55	0,56	0,506

Em que: Valores em negrito = superior ao valor crítico de 0,3665 a 1%.

Média 1 = valor médio, considerando todas as correlações geradas.

Média 2 = valor médio, considerando apenas as correlações significativas.

Tabela 11 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras do diâmetro à altura do peito das árvores de *Ocotea porosa* executados pelo software COFECHA.

Séries	Período	Intercorrelação				Correlação com a máster	
		1920-1959	1940-1979	1960-1999	1980-2011		
22	1963	2011	-	-	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>0,606</b>
24	1976	2011	-	-	<b>0,57</b>	-	<b>0,574</b>
26	1978	2011	-	-	<b>0,45B</b>	-	<b>0,448</b>
27	1967	2011	-	-	<b>0,56</b>	<b>0,60</b>	<b>0,589</b>
30	1957	2011	-	<b>0,41</b>	<b>0,50</b>	<b>0,54</b>	<b>0,404</b>
42	1972	2011	-	-	<b>0,60</b>	-	<b>0,601</b>
47	1942	2011	-	0,25B	0,19B	0,29A	0,256
51	1939	2011	<b>0,54</b>	<b>0,48</b>	<b>0,81</b>	<b>0,79</b>	<b>0,710</b>
52	1957	2011	-	0,28A	0,30B	0,10B	0,126
54	1950	2011	-	<b>0,76</b>	<b>0,70</b>	<b>0,52</b>	<b>0,556</b>
55	1940	2011	-	0,47	0,22B	0,12B	0,285
56	1933	2011	<b>0,27B</b>	<b>0,23B</b>	<b>0,48B</b>	<b>0,43B</b>	<b>0,373</b>
60	1933	2011	0,25B	0,26B	0,33B	0,32A	0,279
61	1934	2011	<b>0,59</b>	<b>0,50B</b>	<b>0,60</b>	<b>0,64</b>	<b>0,620</b>
63	1962	2011	-	-	0,17B	0,22A	0,187
68	1942	2011	-	0,10B	0,41	0,47	0,296
72	1960	2011	-	-	<b>0,73</b>	<b>0,70</b>	<b>0,702</b>
73	1960	2011	-	-	<b>0,51</b>	<b>0,66</b>	<b>0,502</b>
74	1961	2011	-	-	<b>0,65</b>	<b>0,80</b>	<b>0,655</b>
76	1962	2011	-	-	<b>0,49</b>	<b>0,62</b>	<b>0,506</b>
82	1975	2011	-	-	<b>0,44</b>	-	<b>0,439</b>
83	1961	2008	-	-	0,43B	0,31A	0,347
84	1966	2011	-	-	<b>0,55</b>	<b>0,56</b>	<b>0,552</b>
86	1958	2011	-	<b>0,73</b>	<b>0,74</b>	<b>0,76</b>	<b>0,710</b>
87	1962	2011	-	-	0,29A	0,29A	0,245
89	1956	2011	-	<b>0,69</b>	<b>0,75</b>	<b>0,77</b>	<b>0,639</b>
90	1950	2011	-	<b>0,81</b>	<b>0,81</b>	<b>0,76</b>	<b>0,716</b>
92	1919	2010	0,19B	0,17B	0,28A	0,30B	0,205
93	1920	2011	0,03B	0,25B	0,21B	0,17B	0,118
94	1937	2011	<b>0,40</b>	<b>0,39</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,635</b>
112	1938	2008	<b>0,35B</b>	<b>0,34B</b>	<b>0,67</b>	<b>0,61</b>	<b>0,464</b>
131	1952	2011	-	0,30A	0,34A	0,40	0,355
133	1978	2011	-	-	<b>0,64</b>	-	<b>0,640</b>
134	1964	2011	-	-	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>	<b>0,443</b>
136	1947	2011	-	<b>0,48</b>	<b>0,54</b>	<b>0,53</b>	<b>0,448</b>
137	1967	2011	-	-	<b>0,51</b>	<b>0,58</b>	<b>0,525</b>
139	1951	2011	-	<b>0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,38</b>	<b>0,367</b>
147	1978	2011	-	-	0,19B	-	0,191
156	1943	2011	-	<b>0,35A</b>	<b>0,63</b>	<b>0,65</b>	<b>0,545</b>
167	1962	2011	-	-	<b>0,46</b>	<b>0,51</b>	<b>0,439</b>
179	1936	2011	0,43	0,40	0,34B	0,26A	0,330
182	1966	2011	-	-	<b>0,52</b>	<b>0,58</b>	<b>0,537</b>
193	1960	2011	-	-	<b>0,48</b>	<b>0,46</b>	<b>0,426</b>
125f4	1961	2011	-	-	<b>0,60</b>	<b>0,68</b>	<b>0,620</b>
125f5	1957	2011	-	<b>0,39</b>	<b>0,38</b>	<b>0,46</b>	<b>0,435</b>

Continuação...

Tabela 11 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras do diâmetro à altura do peito das árvores de *Ocotea porosa* executados pelo software COFECHA.

Séries	Período		Intercorrelação				Correlação com a máster
			1920-1959	1940-1979	1960-1999	1980-2011	
<b>px167</b>	<b>1963</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,73</b>	<b>0,79</b>	<b>0,727</b>
<b>SN02</b>	<b>1960</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,69</b>	<b>0,65</b>	<b>0,633</b>
<b>SN03</b>	<b>1960</b>	<b>2011</b>	-	-	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>	<b>0,606</b>
	Média 1:		0,34	0,41	0,51	0,52	0,474
	Média 2:		0,43	0,50	0,60	0,62	0,556

Em que: Valores em negrito = superior ao valor crítico de 0,3665 a 1%.

Média 1 = valor médio, considerando todas as correlações geradas.

Média 2 = valor médio, considerando apenas as correlações significativas.

Tabela 12 - Controle de qualidade dos anéis de crescimento das amostras da altura de bifurcação do fuste das árvores de *Ocotea porosa* executados pelo software COFECHA.

Séries	Período		Intercorrelação				Correlação com a Máster
			1920 1959	1940 1979	1960 1999	1980 2011	
<b>24</b>	<b>1981</b>	<b>2011</b>				<b>0,74</b>	<b>0,737</b>
<b>42</b>	<b>1966</b>	<b>2011</b>			<b>0,49</b>	<b>0,63</b>	<b>0,524</b>
54	1957	2011		0,13B	0,20B	0,24B	0,229
56	1933	2011	0,21B	0,18B	0,46B	0,41	0,321
<b>61</b>	<b>1942</b>	<b>2011</b>		<b>0,44</b>	<b>0,45</b>	<b>0,55</b>	<b>0,487</b>
63	1964	2011			0,15B	0,18A	0,188
<b>74</b>	<b>1961</b>	<b>2011</b>			<b>0,62</b>	<b>0,67</b>	<b>0,637</b>
76	1981	2011				0,30B	0,303
82	1970	2011			0,12B	0,14B	0,111
<b>84</b>	<b>1977</b>	<b>2011</b>			<b>0,46</b>		<b>0,463</b>
<b>86</b>	<b>1977</b>	<b>2011</b>			<b>0,80</b>		<b>0,797</b>
89	1971	2011			0,23B	0,29B	0,236
<b>90</b>	<b>1939</b>	<b>2011</b>	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>	<b>0,74</b>	<b>0,65</b>	<b>0,522</b>
<b>93</b>	<b>1973</b>	<b>2011</b>			<b>0,40B</b>		<b>0,396</b>
<b>94</b>	<b>1943</b>	<b>2011</b>		<b>0,39</b>	<b>0,68</b>	<b>0,73</b>	<b>0,568</b>
<b>112</b>	<b>1936</b>	<b>2005</b>	<b>0,62</b>	<b>0,66</b>	<b>0,32B</b>	<b>0,30B</b>	<b>0,490</b>
131	1965	2011			0,29B	0,26A	0,271
<b>133</b>	<b>1957</b>	<b>2011</b>		<b>0,69</b>	<b>0,72</b>	<b>0,78</b>	<b>0,645</b>
<b>134</b>	<b>1948</b>	<b>2011</b>		<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>0,64</b>	<b>0,559</b>
<b>136</b>	<b>1960</b>	<b>2011</b>			<b>0,41</b>	<b>0,46</b>	<b>0,437</b>
<b>139</b>	<b>1968</b>	<b>2011</b>			<b>0,42B</b>	<b>0,41B</b>	<b>0,440</b>
<b>147</b>	<b>1982</b>	<b>2011</b>				<b>0,55</b>	<b>0,550</b>
<b>167</b>	<b>1971</b>	<b>2011</b>			<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,423</b>
179	1944	2011		0,14B	0,04B	0,19B	0,164
<b>197</b>	<b>1936</b>	<b>2011</b>	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,60</b>	<b>0,62</b>	<b>0,596</b>
<b>px167</b>	<b>1969</b>	<b>2011</b>			<b>0,55</b>	<b>0,64</b>	<b>0,556</b>
<b>SN02</b>	<b>1970</b>	<b>2011</b>			<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,703</b>
<b>SN03</b>	<b>1973</b>	<b>2011</b>			<b>0,66</b>		<b>0,664</b>
	Média 1:		0,44	0,42	0,46	0,48	0,465
	Média 2:		0,52	0,53	0,56	0,59	0,560

Em que: Valores em negrito = superior ao valor crítico de 0,3665 a 1%.

Média 1 = valor médio, considerando todas as correlações geradas.

Média 2 = valor médio, considerando apenas as correlações significativas.

Já na fase inicial de análise das amostras radiais de uma mesma árvore, observou-se maior facilidade de sincronização entre as séries obtidas na altura da bifurcação do fuste. Neste sentido, à medida que aumentou a altura dessa posição, pequenos aumentos nas correlações foram observados, porém menos pronunciados se comparados com os obtidos com *Araucaria angustifolia*. Essa característica não refletiu a correlação média dessa posição (considerando todas as séries com a série máster) em comparação com a média obtida na base e diâmetro à altura do peito como comprovado com o teste de Tukey e Kramer, que não indicou haver diferenças significativas entre a correlação média obtida em cada posição (Figura 11).

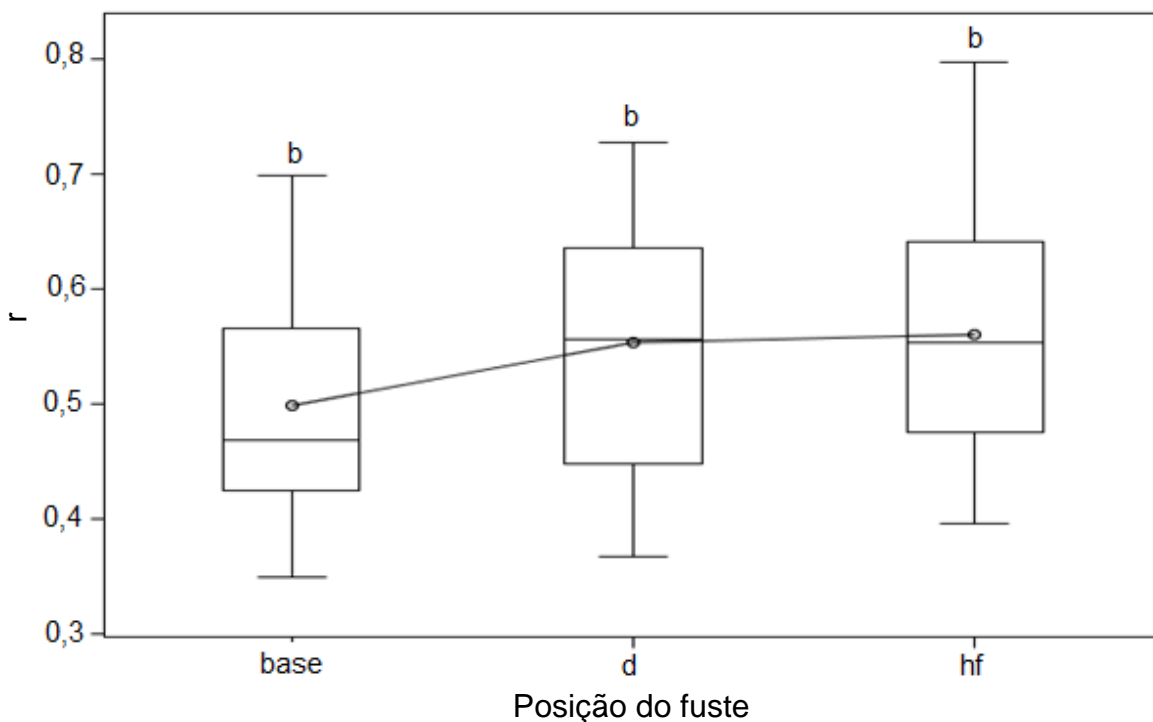


Figura 11 - Correlação de Pearson ( $r$ ) dos segmentos das séries individuais com os segmentos da série máster e teste de Tukey entre a correlação das séries com a série máster obtida na base, diâmetro à altura do peito ( $d$ ) e altura de bifurcação do fuste para *Ocotea porosa*.

Em que: médias seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey em um nível  $\alpha \leq 0,05$ .

As correlações decresceram a partir da altura de bifurcação do fuste ( $r = 0,560$ ), diâmetro à altura do peito ( $0,556$ ) e base ( $0,506$ ). A maior dificuldade de sincronização das séries ocorreu nos primeiros anos de crescimento da base,



referente às árvores que regeneraram no período de 1920-1959, refletidas nas correlações não significativas encontradas em 6 das 8 árvores mais velhas (Tabela 10), o que dificultou a sincronização no período de 1943 a 1952 na cronologia máster da base, comparada com o diâmetro à altura do peito e altura de bifurcação do fuste (Figura 12). Contudo, o coeficiente de correlação indicou que o sincronismo foi satisfatório entre as cronologias obtidas, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Coeficientes de correlação entre as cronologias máster obtidas nas diferentes posições do fuste da *Ocotea porosa*.

	<b>base</b>	<b>dap</b>	<b>hf</b>
<b>base</b>	1,000		
<b>dap</b>	0,650	1,000	
<b>hf</b>	0,666	0,837	1,000

Em que: dap = diâmetro à altura do peito; hf = altura de bifurcação do fuste.

A extensão cronológica da série máster encontrada na altura de bifurcação do fuste (76 anos) foi similar ao obtido na base e no diâmetro à altura do peito (78 anos), que pode estar associada a diferença pouco expressiva entre a distância da posição do dap e hf, sendo que, em alguns casos, a bifurcação da árvore encontrava-se abaixo de 2,5 m, resultando baixa diferença em número de anéis em cada posição. Essas características foram observadas, principalmente, nas árvores de maiores portes.

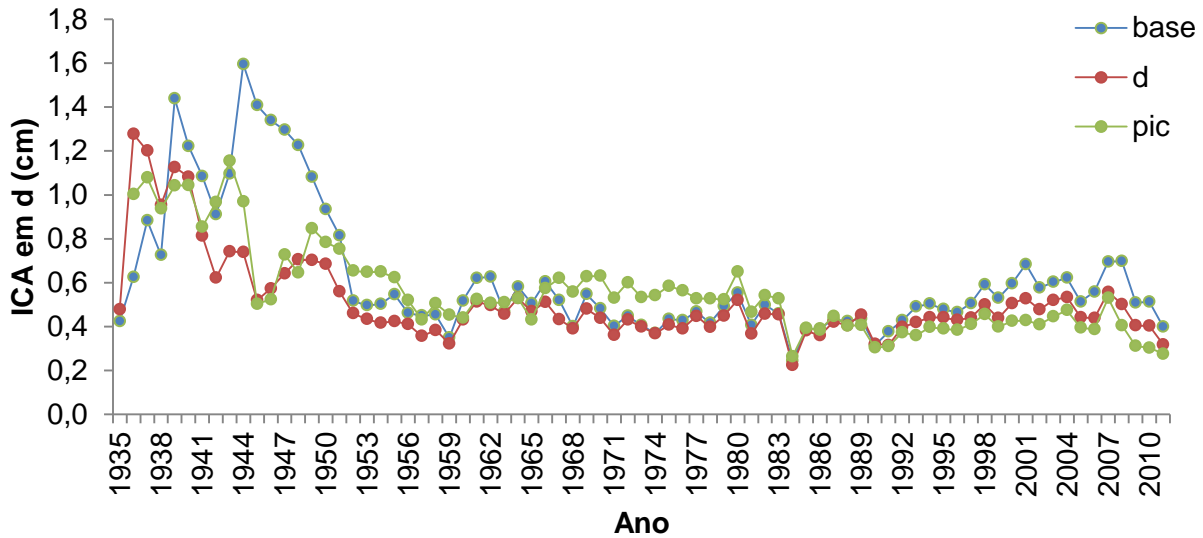


Figura 12 - Séries máster da base, diâmetro à altura do peito (dap) e altura de bifurcação do fuste (hf) das árvores de *Ocotea porosa*.

Em que: ICA em d= Incremento corrente anual em diâmetro.

#### 4.4 Capacidade de reestabelecimento da floresta

A determinação da idade das árvores com a análise das amostras da base (0,10 m) foi eficiente. No entanto, outras observações importantes devem ser destacadas. Muito embora se saiba que a idade do dap corresponde ao tempo consumido para alcançar 1,3 m de altura (CHHIN; WANG, 2005), e que, desse modo, o número de anéis não configura a idade real, as diferenças no número de anéis entre as duas posições (base e dap), no presente estudo, foram pouco expressivas, sendo possível, em alguns casos, o uso dessas amostras para inferir sob o período da exploração madeireira.

Como esperado, a hipótese de que as árvores mais grossas amostradas estabeleceram-se logo após as explorações florestais realizadas pela empresa Lumber foi confirmada. *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* estabeleceram-se no mesmo período, com início no ano de 1934, estendendo-se até a década de 1940, coincidindo com o período final de exploração florestal realizado pela empresa Lumber (1911-1940) na região norte de Santa Catarina.

O incremento periódico médio em diâmetro, considerando os dez primeiros anos iniciais de cada árvore (Figura 13, A e B), indicou, claramente, para as duas espécies, que as árvores de maior idade apresentaram os maiores incrementos, enquanto árvores mais jovens tiveram os menores incrementos, comprovando que as mais velhas cresceram em condições de menor concorrência, enquanto que as jovens estabeleceram-se na floresta, mais tarde, sob competição.

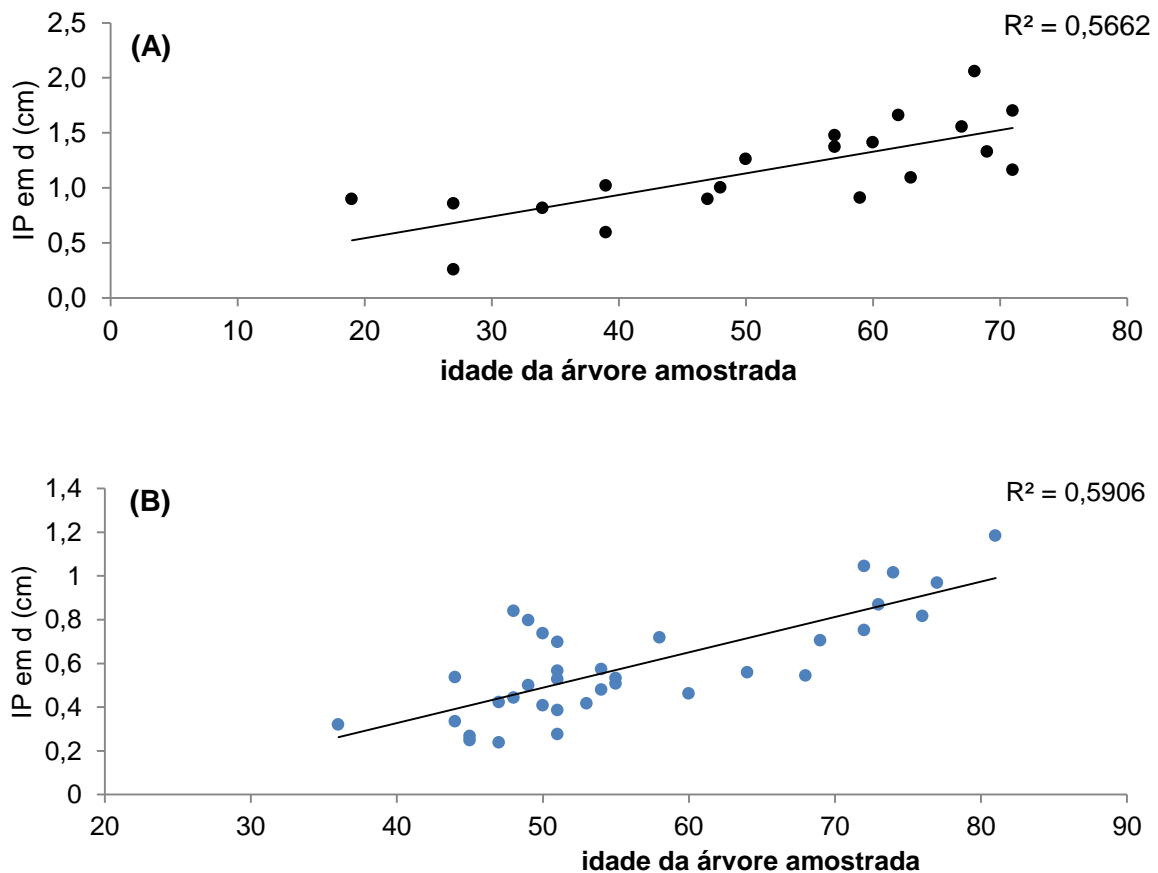


Figura 13 - Incremento periódico médio em diâmetro nas idades 0 a 10 anos da *Araucaria angustifolia* (A) e *Ocotea porosa* (B).

Em que: ICA = incremento corrente anual em diâmetro.

O fato de o remanescente florestal estudado ter sido intensamente explorado, e logo abandonado sem o uso de práticas silviculturais ou agrícolas, pode ter favorecido as duas espécies estudadas a permanecerem na estrutura de todas as

fases sucessionais da floresta e, assim, apresentarem idades semelhantes. A ausência das práticas silviculturais permitiu considerar que as plantas jovens, já estabelecidas sob o dossel da floresta, sobreviveram às explorações e puderam desenvolver-se até alcançar a fase adulta (LIMA, 2005) e que a grande quantidade de cepas e raízes após a exploração permitiu que espécies que apresentam habilidades de rebrota, dentre as quais a *Araucaria angustifolia* (WENDLING et al., 2009) e *Ocotea porosa* (COSMO et al., 2009) se beneficiassem com a permanência na estrutura da regeneração natural (MARTINS, 2009; LUOGA; WITKOWSKI; BALKWILL, 2004; KAMMESHEIDT, 1998).

Durante a coleta dos dados, observou-se número expressivo de árvores de *Ocotea porosa* com número elevado de fustes na mesma cepa. Nesses casos, foram selecionadas 6 árvores e retiradas amostras radiais na posição da base de todos os fustes e as idades encontradas coincidem com a idade observada nas árvores mais grossas amostradas, corroborando como um indicativo de que a rebrota dessas árvores pode ser proveniente do corte realizado pela Lumber.

A habilidade de rebrota de tecidos vegetais configura-se numa resposta fisiológica das plantas a danos como cortes, queima, ataque de pragas e doenças ou distúrbios fisiológicos, podendo ocorrer por meio da regeneração de cepas ou de raízes (MARTINS, 2009).

Em Floresta de Mata Atlântica, Negrelle (1995) observou que, das 100 árvores caídas, 82% apresentaram rebrotas e concluiu que os indivíduos provenientes dessa habilidade podem competir com árvores pioneiras no processo de fechamento da clareira. Para alguns autores (LUOGA; WITKOWSKI; BALKWILL, 2004; PUTZ; BROKAW, 1989), esse comportamento atribui-se ao rápido crescimento dos brotos em comparação com as plantas geradas via sementes, devido à dimensão do sistema radicular das cepas, o que proporciona maior disponibilidade de substâncias de reserva, que exercem efeitos sobre a capacidade de rebrota de cepas e de crescimento das brotações (PERRANDO; CORDER, 2006).

#### 4.4.1 Crescimento em diâmetro das árvores amostradas

O incremento médio medido em cada classe de diâmetro de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* (Figura 14) mostrou clara tendência de aumento com o aumento do porte da árvore, exceto para a classe com árvores acima de 70 cm.

A comparação dos incrementos médios entre as espécies por classe de diâmetro revelou que as maiores diferenças encontram-se nas menores classes. Nas árvores das classes de 15 e 25 cm, a *Araucaria angustifolia* apresentou, respectivamente, incremento 35% e 22% superior ao comparado com a *Ocotea porosa*. Mas, nas demais classes, os incrementos das duas espécies foram semelhantes.

A diferença detectada pode estar associada às condições locais de crescimento para determinadas árvores. Durante a coleta dos dados, foi observado que algumas árvores finas encontravam-se em locais com maior disponibilidade de luz e com boa formação de copa, que, nesses casos, podem apresentar maiores incrementos. Além disso, pelas características ecofisiológicas de cada uma das espécies avaliadas, espera-se que a *Araucaria angustifolia* apresente maior incremento, desde que esteja disponível na floresta.

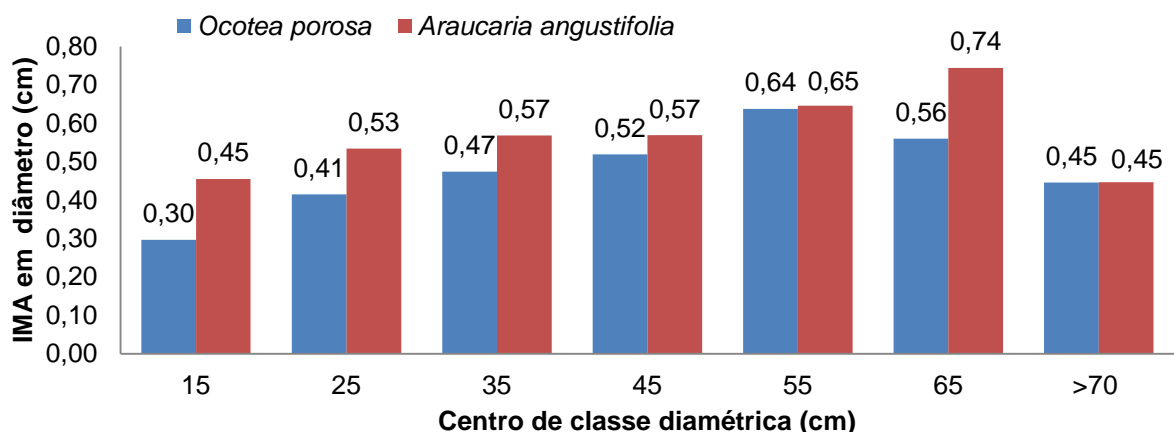


Figura 14 - Incremento diamétrico médio anual das espécies avaliadas por classe de diâmetro.

#### **4.5 Modelagem do incremento periódico anual em área basal da *Araucaria angustifolia***

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,8733$ ;  $Pr = 0,0001$ ), não houve normalidade nos dados de incremento periódico anual em área basal (IPAg). Porém, a transformação logarítmica de IPAg ( $\ln$  IPAg) pelo mesmo teste mostrou não significância ( $W = 0,9653$ ;  $Pr = 0,1742$ ), ajustando os dados à normalidade. O histograma com a distribuição do incremento periódico anual em área basal observado e com transformação logarítmica são apresentados no apêndice C.

A transformação Box-Cox confirmou que a variável dependente na escala logarítmica foi adequada, com o valor de lambda zero contido no intervalo de confiança. Para Wykoff (1990) e Andreassen e Tomter (2003), o uso do incremento em área basal transformada (logaritmo) é, geralmente, uma das melhores variáveis para descrever a curva não linear do crescimento das árvores.

##### **4.5.1 Seleção das variáveis independentes potenciais para a modelagem**

A análise dos coeficientes de correlação de Pearson entre o logaritmo do incremento periódico anual em área basal ( $\ln$  IPAg) e as variáveis independentes (variáveis dendrométricas, morfométricas e competição) puras e transformadas revelou correlação significativa e negativa entre o  $\ln$  IPAg com as variáveis que representaram a competição (índice de Glover e Holl, Bal, Hegyi, Hegyi modificado), corroborando com o comportamento esperado de que à medida que aumentou a competição, menor foi o incremento (Tabela 14). O sinal negativo observado para a variável h/d indicou que árvores mais grossas e baixas agregaram mais área basal do que árvores finas e altas como também observado por Cunha (2013). Por outro lado, as variáveis dendrométricas (dap, h) e morfométricas (dc, ac, cc, pic) apresentaram correlações significativas e positivas, indicando que à medida que essas variáveis aumentaram, maior foi o  $\ln$  IPAg. As variáveis proporção de copa e índice de saliência foram as únicas que não apresentaram correlações significativas

na escala original ou transformada, sendo desconsideradas na modelagem do incremento.

A falta de correlação da proporção de copa pode ser atribuída a pouca variação encontrada na altura do ponto de inserção da copa nas classes diamétricas. Esse efeito reflete, por exemplo, que uma árvore com diâmetro à altura do peito de 20 cm pode ter uma proporção de copa similar a uma árvore de 30 cm, porém, devido ao tamanho das árvores, diferentes incrementos.

Tabela 14 - Correlação de Pearson observada entre o logaritmo do incremento periódico anual em área basal e as variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição, originais e transformadas.

Variável	X	x <sup>2</sup>	1/x	Ln (x)
dap (cm)	0,80	0,72	-0,80	0,83
h (m)	0,68	0,68	-0,63	0,67
dc (m <sup>2</sup> )	0,73	0,66	-0,63	0,74
pic (m)	0,51	0,51	-0,49	0,51
h/d	-0,78	-0,72	0,78	-0,80
cc (m)	0,46	0,37	-0,46	0,49
ac (m <sup>2</sup> )	0,66	0,51	-0,46	0,74
Fc	0,38	0,27 <sup>ns</sup>	-0,38	0,42
pc (%)	0,17 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
is	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
ia	0,63	0,59	-0,55	0,63
l <sub>b</sub>	-0,56	-0,52	0,31 <sup>ns</sup>	-0,35
l <sub>h</sub>	-0,68	-0,66	0,48	-0,61
l <sub>gh</sub>	-0,60	-0,60	0,71	-0,74
l <sub>hm</sub>	-0,62	-0,47	0,52	-0,81

Em que: x = variável original logaritmo do incremento periódico anual em área basal; dap = diâmetro à altura do peito; h = altura total; dc = diâmetro de copa; pic = ponto de inserção da copa; h/d = relação altura e diâmetro; cc = comprimento de copa; ac = área de copa; fc = formal de copa; pc = proporção de copa; is = índice de saliência; ia = índice de abrangência; l<sub>b</sub> = índice de BAL modificado; l<sub>h</sub> = índice de Hegyi; l<sub>gh</sub> = índice de Glover e Hool; l<sub>hm</sub> = índice de Hegyi modificado.

#### 4.5.2 Desenvolvimento do modelo de regressão

Durante a modelagem, observou-se que a variável ln(dap) apresentou a maior correlação simples com a variável dependente, sendo incluída no primeiro passo do

procedimento *stepwise*. As demais variáveis incluídas nos passos seguintes apresentaram coeficientes não significativos no modelo, sem responder aos critérios estatísticos considerados. Entretanto, o modelo gerado, apesar de significativo, não descrevia a variação dos incrementos satisfatoriamente.

A exclusão da variável  $\ln(dap)$  do conjunto dos dados permitiu construir um modelo com variáveis que representaram o tamanho da árvore, a competição e o tamanho de copa, que explicaram 68,2% (coeficiente de determinação ajustado) da variável observada em  $\ln IPAg$ . Os passos do procedimento *stepwise* e os parâmetros estatísticos das variáveis independentes selecionadas foram apresentados na Tabela 15. O modelo desenvolvido foi representado pela seguinte expressão:

$$\ln(IPAg) = b_0 - b_1 * (1/dap) - b_2 * (I_h) - b_3 * (1/cc)$$

Em que:  $\ln$ = logaritmo natural;  $1/dap$ = inversa do diâmetro à altura do peito;  $I_h$ = Índice de Hegyi;  $1/cc$ = inverso do comprimento de copa,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ = coeficientes da equação.

O sinal dos coeficientes do modelo indicou que as variáveis seguiram o comportamento biológico esperado, ou seja, à medida que aumentou o diâmetro ou o comprimento de copa, maior foi o incremento (nesse caso, o sinal negativo para o inverso da variável torna-o diretamente proporcional), logo, o aumento da competição resultou em menores incrementos. Além disso, as variáveis independentes selecionadas no modelo apresentaram valor de FIV (Fator de inflação de variância) inferior a 5, indicando ausência de inflação na variância de seus estimadores, descartando problemas de colinearidade (Tabela 15B) que levaria a erro na estimativa dos coeficientes, agregado a um elevado erro padrão para cada coeficiente, o que conduziria uma má inferência (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).



Tabela 15 - Regressão passo a passo obtida no procedimento *stepwise* (A) e estatísticas de ajuste e precisão do modelo (B) da equação do logaritmo de incremento periódico anual em área basal (Ln IPAg) da *Araucaria angustifolia*.

<b>(A) Regressão <i>stepwise</i>.</b>					
<b>Passo</b>	<b>R<sup>2</sup> - equação</b>	<b>R<sup>2</sup> - Parcial</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Variável</b>
1	0,6479	0,6479	82,81	< 0,0001	1/dap
2	0,6785	0,0306	4,18	0,0469	I <sub>h</sub>
3	0,7028	0,0244	3,52	0,0673	1/cc

<b>(B) Estatísticas de ajuste.</b>									
<b>Variável</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Syx</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>VIF</b>	<b>Syx</b>	<b>R<sup>2</sup>aj.</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
(b <sub>0</sub> )	3,81049	0,189	404,24	<0,0001	0,00				
1/dap (b <sub>1</sub> )	-26,29155	5,346	24,19	<0,0001	2,02	0,52	0,682	33,9	<0,0001
I <sub>h</sub> (b <sub>2</sub> )	-0,43758	0,214	4,2	0,0465	1,87				
1/cc (b <sub>3</sub> )	-0,89448	0,477	3,52	0,0673	1,18				

Em que: R<sup>2</sup>aj.= coeficiente de determinação ajustado; s<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa; F= valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes, 1/dap= valor inverso do diâmetro à altura do peito; I<sub>h</sub>= índice de Hegyi; 1/cc= valor inverso do comprimento de copa.

Com relação às variáveis selecionadas, os resultados revelaram a superioridade do diâmetro à altura do peito em explicar a variação nos dados observados de incremento em área basal (logaritmo), conforme também já observado em outros estudos de crescimento (MONSERUD; STERBA, 1996; ANDREASSEN; TOMTER, 2003).

Embora a adição da variável I<sub>h</sub> e 1/cc tenha contribuído em pouco menos de 6% no ajuste do modelo de regressão, observou-se que a presença dessas variáveis no modelo trouxe menor erro e uma melhoria na distribuição dos resíduos. Esse comportamento reforça as observações relatadas por Lorimer (1983) e Castagneri et al. (2008), que indicaram a inclusão de variáveis que descrevem a copa e o status competitivo em estudos de crescimento.

O uso de variáveis que expressam a copa e a competição na modelagem do incremento em área basal de *Araucaria angustifolia* também foi relatado nos estudos de Zanon (2007), em que a vitalidade de copa e o índice de Glover e Hool explicaram 82,27% da variação do incremento em área basal. Contudo, com exceção dos índices de competição, Costa (2011) observou que a relação h/d e as variáveis que expressaram o tamanho da copa (formal de copa, comprimento de copa, proporção de copa, relação h/d) explicaram 81,13% da variação encontrada no incremento em área basal da araucária.

A análise gráfica dos valores observados e estimados em razão das variáveis que compõem o modelo selecionado (Figura 15) mostrou que os valores estimados

coberam a variação observada do incremento periódico anual em área basal. Esse efeito ficou evidente nas variáveis independentes que apresentaram uma variação natural do incremento, como pode ser observado no índice de Hegyi e comprimento de copa.

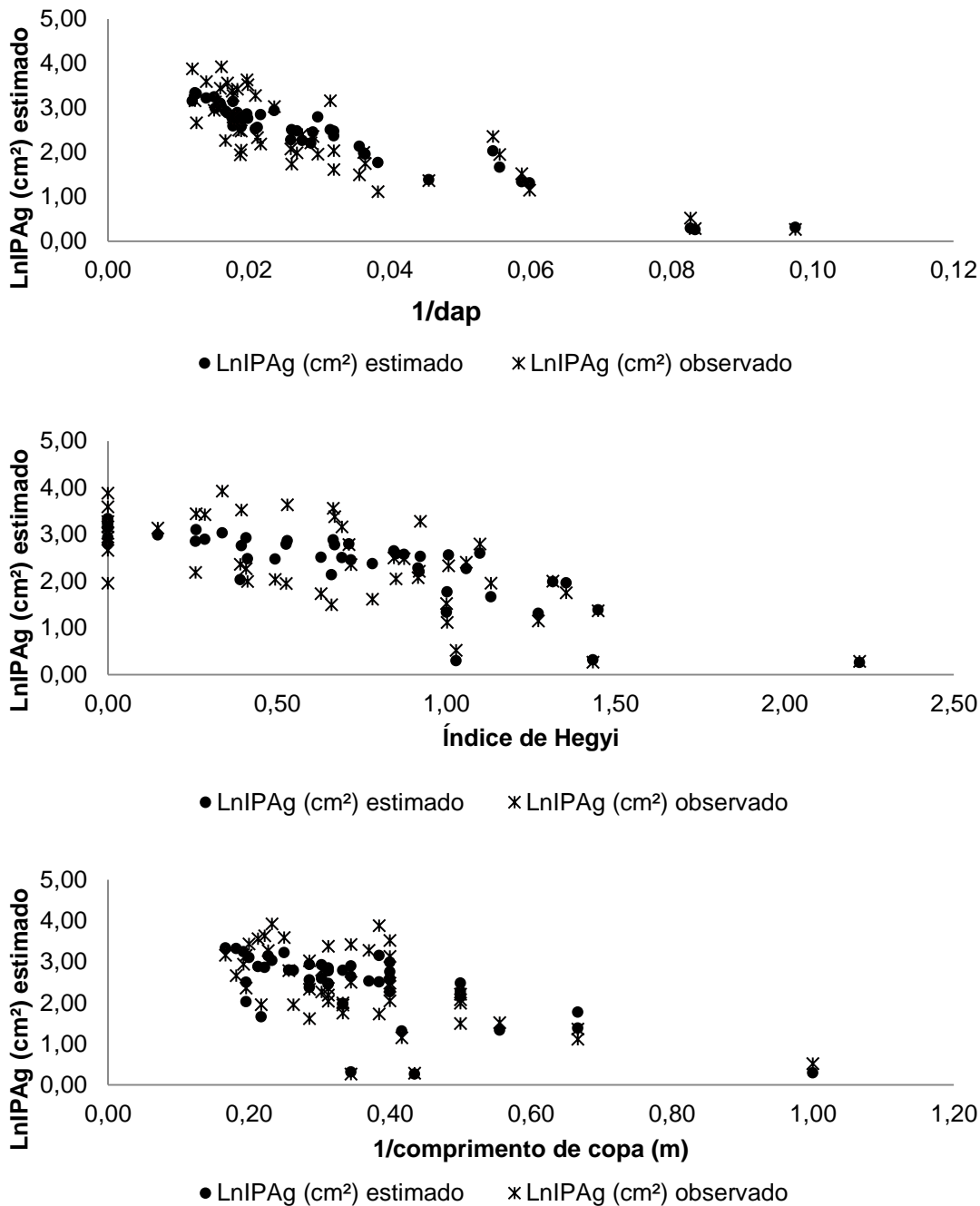


Figura 15 - Distribuição dos dados estimados e observados do logaritmo de incremento periódico anual em área basal da *Araucaria angustifolia* em razão das variáveis independentes selecionadas no modelo desenvolvido: inversa do diâmetro à altura do peito (A); índice de Hegyi (B) e inverso do comprimento de copa (cc).

#### 4.5.3 Análise de distribuição dos resíduos

Os resultados dos testes realizados para a distribuição dos resíduos indicaram homogeneidade nas variâncias, atribuído pelo teste de White (17,49; Pr = 0,2694), e normalidade na distribuição, de acordo com o teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,94$ ; Pr = 0,0429). O teste de Durbin-Watson revelou não haver indícios de correlação entre erros ( $DW = 1,707$ ) positivos (Prob.< $DW = 0,1376$ ) e negativos (Prob.> $DW = 0,8624$ ), comprovando o bom ajuste e a precisão do modelo.

A dispersão residual em função do logaritmo do incremento periódico anual em área basal estimada revelou distribuição homogênea sem a presença de erros sistemáticos. Contudo, observou-se uma leve tendência de subestimativas para as árvores com incremento abaixo de  $0,50 \text{ cm}^2$  (Figura 16), caracterizado pelas árvores com diâmetro à altura do peito menor que 15 cm.

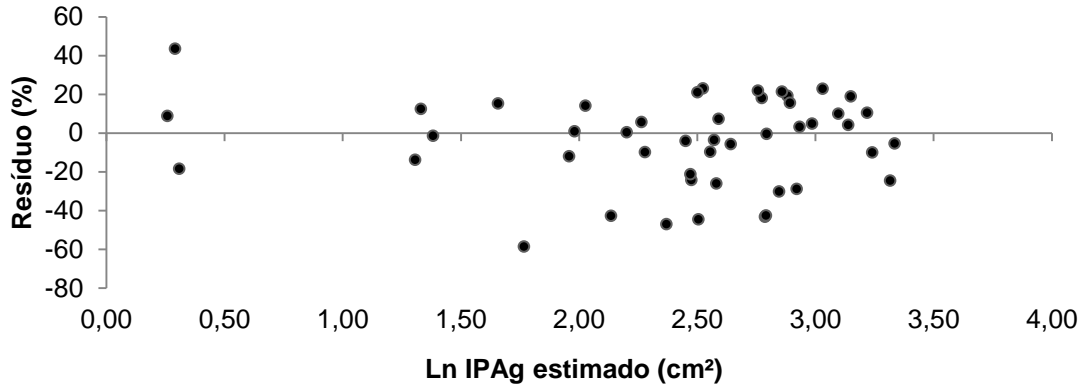


Figura 16 - Distribuição dos resíduos percentuais em função dos valores estimados da variável logaritmo do incremento periódico anual em área basal de *Araucaria angustifolia*.

#### 4.6 Modelagem do incremento periódico anual em área basal da *Ocotea porosa*

A análise de normalidade dos dados observados de incremento periódico anual em área basal (IPAg) com o uso do teste de Shapiro Wilk indicou que os dados não se ajustam a uma distribuição normal ( $W = 0,9302$ ; Pr = 0,077). Contudo,

a transformação logarítmica de IPAg (LnIPAg) pelo mesmo teste mostrou não significância ( $W = 0,9684$ ;  $Pr = 0,2302$ ), ajustando-se os dados, posteriormente, à normalidade (Apêndice D). A transformação Box-Cox confirmou a variável dependente na escala logarítmica como adequada, com valor de lambda com o zero contido no intervalo de confiança.

#### 4.6.1 Seleção das variáveis independentes potenciais

A análise da correlação de Pearson entre a variável dependente logaritmo do incremento periódico anual em área basal (LnIPAg) e as variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição (Tabela 16) identificou as variáveis de competição como fortemente correlacionadas com a variável dependente, alcançando o índice de Glover e Holl ( $r = -0,82$ ); Hegyi ( $r = -0,80$ ); Hegyi modificado ( $r = -0,76$ ) e Bal modificado ( $-0,53$ ). A proximidade nos valores de correlação dos índices de competição, com exceção de Bal modificado, foi causada por dois fatores: o primeiro envolve a semelhança na formulação dos índices dependentes da distância (Hegyi; Hegyi modificado) e entre os índices independentes da distância (Glover e Holl; Bal mod). O segundo envolve as associações entre as variáveis de entrada (dap ou dap e distância) utilizadas para determinar o grau de concorrência (CONTRERAS; AFFLECK; CHUNG, 2011). Desse modo, ficou evidente o potencial dos índices utilizados para representar a competição exercida pelas árvores vizinhas, como também descrito por Santos (2012). A autora, avaliando o incremento em área basal da *Ocotea porosa* em povoamentos homogêneos, obteve fortes correlações entre o incremento e os índices de Hegyi ( $r = -0,5897$ ); Bal modificado ( $r = -0,4492$ ) e Glover e Holl ( $0,8910$ ). Contudo, Weber (2013) observou que o incremento periódico anual percentual em área basal da *Ocotea porosa* apresentou fraca correlação com os índices de competição, o que pode ser reflexo da escala da variável dependente utilizada no estudo.

De acordo com Weiner e Damgaard (2006), as árvores de maior porte estão em vantagem competitiva sobre as árvores menores e, muitas vezes, esse cenário pode resultar em um efeito desproporcionalmente negativo para as árvores que sofrem a competição. Desse modo, Wykoff (1990); Sterba, Blad, Katzensteiner

(2002) e Zhao; Borders; Wilson, (2004) utilizaram o índice de Bal como variável representativa desse efeito, uma vez que o índice considera a área basal das árvores concorrentes de maiores dimensões.

Tabela 16 - Correlação de Pearson observada entre o logaritmo do incremento periódico anual em área basal e as variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição, originais e transformadas.

Variável	X	x <sup>2</sup>	1/x	Ln (x)
dap	0,70	0,59	-0,83	0,80
h	0,66	0,63	-0,70	0,68
dc	0,51	0,43	-0,55	0,55
hf	-0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>na</sup>
h/d	-0,77	-0,76	0,71	-0,76
cc	0,43	0,38	-0,47	0,47
ac	0,43	0,31	-0,49	0,55
fc	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
pc	0,29 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
I <sub>s</sub>	-0,54	-0,57	0,43	-0,50
I <sub>A</sub>	0,33	0,30	-0,35	0,35
bal	-0,53	-0,51	0,30 <sup>ns</sup>	-0,38
I <sub>h</sub>	-0,80	-0,70	0,50	-0,69
I <sub>gh</sub>	-0,82	-0,73	0,71	-0,79
I <sub>hm</sub>	-0,76	-0,62	0,63	-0,82

Em que: x = variável original logaritmo do incremento periódico anual em área basal; dap = diâmetro à altura do peito; h = altura total; dc = diâmetro de copa; hf = altura de bifurcação do fuste; h/d = relação altura-diâmetro; cc = comprimento de copa; ac = área de copa; fc = formal de copa; pc = proporção de copa; I<sub>s</sub> = índice de saliência; I<sub>A</sub> = índice de abrangência; bal = índice de bal modificado; I<sub>h</sub> = índice de Hegyi; I<sub>gh</sub> = índice de Glover e Hool; I<sub>hm</sub> = índice de Hegyi modificado.

No presente estudo, os resultados indicaram que todas as árvores consideradas competidoras, independentemente do porte, apresentaram um efeito negativo no incremento em área basal, como comprovaram as correlações citadas, em que os índices que consideraram todas as árvores concorrentes independentes do porte (Hegyi, Glover e Holl, Hegyi modificado) apresentaram as melhores associações com o incremento em área basal. Isso indica que, embora *Ocotea porosa* seja uma espécie tolerante à sombra (CARVALHO, 1994), a taxa de crescimento é sensível à competição lateral decorrente das árvores vizinhas,

reforçando a importância desses índices em estudos de crescimento das espécies arbóreas.

Como esperado, entre as variáveis dendrométricas, o diâmetro à altura do peito e a altura da árvore mostraram-se fortemente correlacionadas com o LnIPAg, ( $r = 0,70$ ;  $0,66$  respectivamente), como também verificado por Adamec et al. (2014) e Cunha (2013).

As transformações aplicadas nas variáveis independentes modificaram algumas correlações, como na área de copa e no diâmetro à altura do peito, melhorando as correlações em 21,8 e 12,5%, respectivamente. É importante ressaltar que, dentre todas as variáveis independentes analisadas, o ponto de inserção da copa, o formal de copa e a proporção de copa não apresentaram correlações significativas, sendo as únicas variáveis classificadas como não potenciais e, conseqüentemente, não utilizadas na modelagem do incremento em área basal. A falta de correlação é atribuída às distintas variações em árvores que apresentam o mesmo incremento em área basal, atribuídas à diferença na intensidade de concorrência (WEINER; DAMGAARD, 2006).

#### 4.6.2 Modelo desenvolvido

A primeira variável independente selecionada no procedimento de regressão “*stepwise*” foi o índice de Glover e Holl, por apresentar a maior correlação com a variável dependente seguida do dap e da área de projeção da copa ( $\text{LnIPAg} = f(\text{IGH}, \text{DAP}, \text{AC})$ ). Embora os resultados de ajuste e precisão ( $R^2_{\text{aj.}} = 0,69$ ;  $S_{yx} = 0,45$ ), a variável área de copa selecionada é de difícil obtenção, muitas vezes onerosa devido à existência de árvores com copas irregulares, sendo necessário tomar medidas de raios de copa em diferentes direções (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008) e, por essa razão, optou-se em não a utilizar, substituindo-a pelo comprimento de copa, também correlacionado com a variável dependente.

O modelo desenvolvido ( $R^2_{\text{aj.}} = 0,713$ ;  $S_{yx} = 0,44$ , Tabela 17) incluiu variáveis que expressam o tamanho da árvore (diâmetro à altura do peito), a competição (índice de Hegyi) e o tamanho da copa (comprimento de copa). Essas variáveis apresentaram valor de FIV (Fator de inflação de variância) inferior a 5, indicando

ausência de inflação na variância de seus estimadores, descartando problemas de colinearidade entre essas variáveis. O modelo desenvolvido foi representado pela seguinte expressão:

$$\ln(IPAg) = b_0 - b_1 * (I_h) + b_2 * (dap) - b_3 * (1/cc)$$

Em que: Ln= logaritmo natural;  $I_h$ = Índice de Hegyi; dap= diâmetro à altura do peito; 1/cc= inverso do comprimento de copa,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ = coeficientes da equação.

O modelo descreveu o comportamento biológico das variáveis com a compatibilidade do sinal dos coeficientes, sendo o incremento das árvores amostradas maior à medida que aumentava o diâmetro e menor com o aumento da competição e o comprimento de copa.

Tabela 17 - Regressão passo a passo obtida no procedimento *stepwise* (A) e estatísticas de ajuste e precisão do modelo (B) da equação do logaritmo de incremento periódico anual em área basal (Ln IPAg) da *Ocotea porosa*.

<b>(A) Regressão stepwise.</b>									
Passo	R <sup>2</sup> - equação	R <sup>2</sup> - Parcial	F	Pr>F	Variável				
1	0,6341	0,6341	77,97	<0,0001	lh				
2	0,7096	0,0756	11,45	0,0015	dap				
3	0,7314	0,0218	3,48	0,0688	1/cc				
<b>(B) estatísticas de ajuste</b>									
Variável	Parâmetro	S <sub>yx</sub>	F	Pr>F	VIF	S <sub>yx</sub>	R <sup>2</sup> aj.	F	Pr>F
(b <sub>0</sub> )	2,8681	0,2790	105,58	<0,0001	0,000				
$I_h$ (b <sub>1</sub> )	-0,35397	0,0654	29,3	<0,0001	1,647	0,44	0,713	39,03	<0,0001
dap (b <sub>2</sub> )	0,01532	0,0050	9,4	0,0037	1,641				
1/cc (b <sub>3</sub> )	-1,4838	0,7949	3,48	0,0688	1,195				

Em que: R<sup>2</sup>aj.= coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes, dap= diâmetro à altura do peito;  $I_h$  = índice de Hegyi; 1/cc = valor inverso do comprimento de copa.

Dentre as variáveis, o índice de Hegyi explicou 63,41% da variação total do incremento em área basal. O índice mostrou que a competição ajuda a prever o incremento em área basal e realça a necessidade de considerar a competição em modelos de crescimento de árvores individuais, como também foi observado por Cunha (2013). Embora o desempenho desses índices varie de acordo com cada espécie (BIGING; DOBBERTIN, 1992), em florestas com alta densidade, pode apresentar melhores resultados em razão dos efeitos da concorrência ser maior (RIVAS et al., 2005). Assim, a densidade pode ser um dos fatores que pode ter contribuído para a eficiência dos índices em discussão, uma vez que a área do presente estudo apresenta alta densidade de árvores (CUBAS, 2011).

O diâmetro à altura do peito, reconhecido como uma das variáveis mais importantes a ser considerada e mantida em modelos de crescimento, dada pela facilidade e precisão em obtê-la, bem como pela alta correlação com outras características da árvore (ZHAO et al., 2014), contribuiu em 7,56% no poder preditivo do modelo. Outros estudos de modelagem do incremento em área basal que retrataram espécies em locais com diferentes condições de crescimento incluem o diâmetro à altura do peito como uma das variáveis mais importantes nos modelos, como nos desenvolvidos por Weber (2013) em árvores de *Ocotea porosa*; Cavalli (2013) em árvores isoladas de *Cedrela fissilis* e Cunha (2013) para *Cedrela odorata*.

No presente estudo, a variável comprimento de copa, incluída no modelo na ordem inversa, contribuiu com 2,18% no ajuste final do modelo, mas significativa se considerado um maior valor de  $t$  ( $p=0,0688$ ). Entretanto, trata-se de uma simples variável que reflete a dimensão da copa e que proporciona uma “medida” da capacidade fotossintética da árvore (CUNHA, 2013) e, por essa razão, mesmo com menor significância, permaneceu no modelo.

A descrição gráfica dos valores observados e estimados (Figura 17) comprovaram que as estimativas cobriram grande parte da variação observada. O efeito foi mais pronunciado quando analisado isoladamente o efeito da variável comprimento de copa, com os valores estimados cobrindo os valores extremos de incremento em área basal, gerados nas árvores com os maiores comprimentos de copa (Figura 17 C).



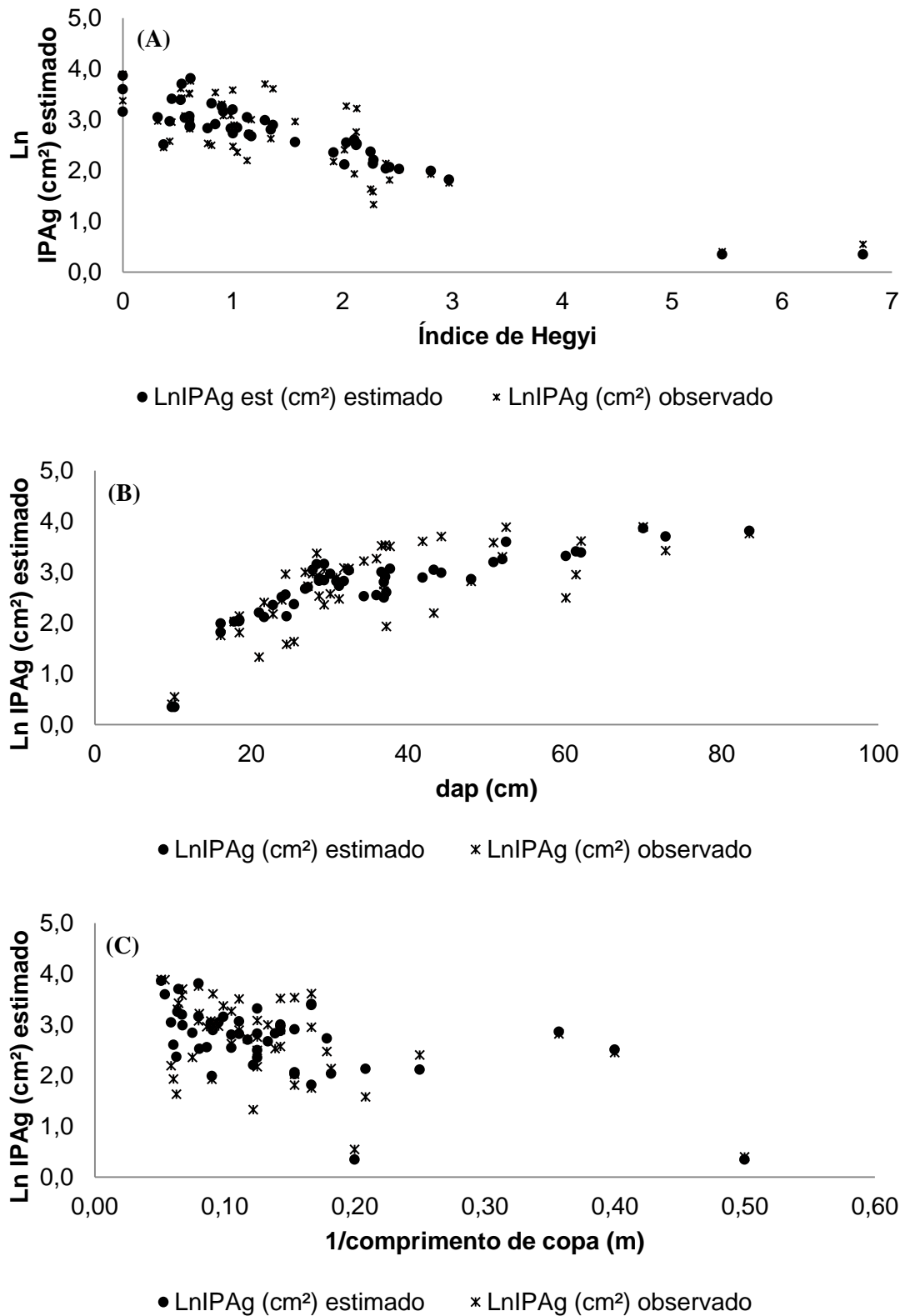


Figura 17 - Distribuição dos dados estimados e observados do logaritmo do incremento periódico anual em área basal da *Ocotea porosa* em razão das variáveis independentes selecionadas no modelo desenvolvido: Índice de Hegyi (A); diâmetro à altura do peito (B) e inversa do comprimento de copa (C).

#### 4.6.3 Análise dos resíduos

A dispersão residual em função do incremento periódico anual em área basal revelou distribuição homogênea sem a presença de erros sistemáticos. Contudo, uma leve tendência de superestimativas para poucas árvores com incremento abaixo de 15 cm<sup>2</sup> (Figura 18).

Os pressupostos das condicionantes de regressão, descrita pela homogeneidade, normalidade e independência dos resíduos, foram cumpridos, respectivamente, pelo teste de White, Shapiro-Wilk e Durbin-Watson. Com um nível de significância de (Pr = 0,0415), o teste de White acusou leve heterocedasticidade. O teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,96$ ; Prob.= 0,1528) indicou que os resíduos atenderam a condição de normalidade e o teste de Durbin-Watson revelou não haver indícios de correlação entre erros ( $DW = 1,447$ ) positivos (Prob.<DW = 0,0200) e negativos (Prob.>DW = 0,9800), comprovando a adequação do modelo para descrever o Ln IPAg.

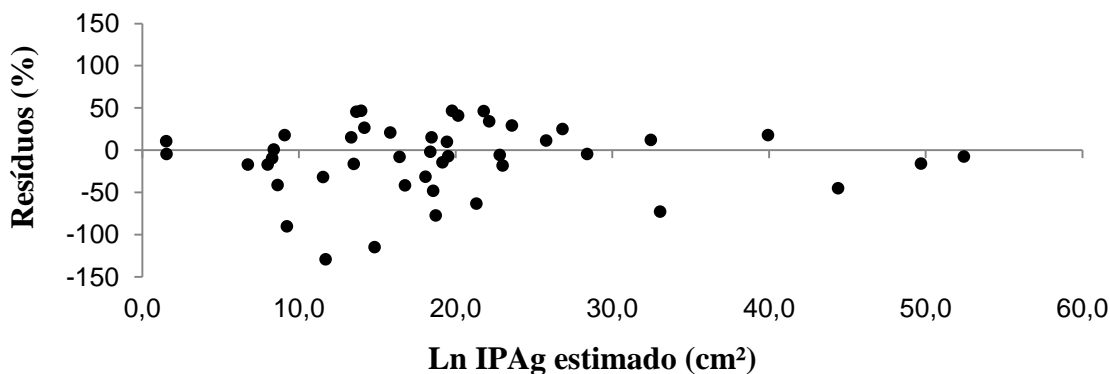


Figura 18 - Distribuição dos resíduos percentuais em função dos valores estimados da variável logaritmo do incremento periódico anual em área basal de *Ocotea porosa*.

## 5 CONCLUSÕES

As árvores de *Araucaria angustifolia* apresentam, de modo geral, pouca variação radial na largura dos anéis de crescimento na posição da altura de inserção da copa, o que resulta em melhores correlações entre as séries de crescimento nessa posição, permitindo maior acurácia na formação da série máster.

Embora haja a dificuldade em adquirir-se amostras radiais em posições superiores do fuste com o uso do trado de Pressler, as séries de crescimento obtidas dessa posição configuram-se como referência importante na identificação de anéis ausentes nas posições inferiores do fuste.

A maior ocorrência de irregularidades anatômicas como anéis falsos e ausentes encontra-se na posição da base e do diâmetro à altura do peito das árvores amostradas.

As árvores dominadas de *Araucaria angustifolia* apresentam maior ocorrência de anéis ausentes na posição da base e no diâmetro à altura do peito. De forma geral, o número de deformações anatômicas cresceu do ápice para a base, acentuando-se com o aumento da competição que a árvore encontra-se submetida.

Os resultados comprovam que as árvores mais grossas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* estabeleceram-se logo após a exploração madeireira, justificando a alta densidade, a frequência e a dominância das duas espécies na estrutura do dossel.

O incremento em área basal é fortemente influenciado pelas dimensões da árvore, morfometria e intensidade de competição que a mesma encontra-se submetida, que se apresentam como uma opção para a modelagem do crescimento em florestas inequiâneas.

Os índices que representam a competição contribuem no ajuste e na precisão dos modelos de regressão, destacando-se, principalmente, quando utilizado na modelagem do incremento em área basal da *Ocotea porosa*.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAKALA, T. et al. Influence of competition and age on tree growth in structurally complex old-growth forests in northern Minnesota, USA. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 308, p. 128–135, 2013.

ABRAMS, M. D. A. et al., 370-year dendroecological history of an old-growth *Abies–Acer–Quercus* forest in Hokkaido, northern Japan. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 29, p. 1891–1899, 1999.

ADAME, P. et al. Individual-tree diameter growth model for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) coppices. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 1011–1022, 2008.

ADAMEC, Z. et al. The response of basal area increment in old sprout-origin sessile oak (*Quercus Petraea* (Matt.) Liebl.) trees during their conversion to a coppice-with-standards. **Acta Universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis**, Zemědělská, v. 62, n. 5, 2014.

ADENESKY FILHO, E. **Florística, fitossociologia e dendroecologia em encosta e planície do médio Rio Tibagi, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil**. 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ALBUQUERQUE, J. M. de.; WATZLAWICK, L. F.; MESQUITA, N. S. de. Efeitos do uso em sistema faxinal na florística e estrutura em duas áreas da Floresta Ombrófila Mista no município de Rebouças, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 323-334, abr.-jun. 2011.

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. 129 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

AMARAL, L. de. P. et al. Influência da floresta alterada na distribuição espacial de três espécies da Floresta Ombrófila Mista avaliada pela geoestatística. **Revista árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 491-501, 2013.

ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de florestas Ombrófilas do Sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 323-332, abr./jun. 2014.

ANDREASSEN, K.; TOMTER, S. M. Basal area growth models for individual trees of Norway spruce, Scots pine, birch and other broadleaves in Norway. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 180, p. 11–24, 2003.

ARAUJO, M. M et al. Análise de agrupamento em remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 1-18, jan.-mar. 2010.

BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. **Forest Science**, v. 38, n. 3, p. 695-720, 1992.

BOTOSSO, P.C.; MATTOS, P.P. Conhecer a Idade das Árvores: Importância e Aplicação. **Documentos**, Colombo, v.73, p.11-19, 2002.

BRASIL. **Lei da Mata Atlântica**. n. 11.428. Brasília: 2006.

BROKAW, N. V. L. Gap-phase regeneration in a tropical forest. **Ecology**, Washington, v. 66, n. 3, p. 682-68, 1985.

BUDOWSKI, G. Distribution of Tropical American rain forest species in the light of successional process. **Turrialba**, v. 15, p. 40-2, 1965.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991, 152 p.

CANHAM, C. D. et al. Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in new england forests. **Ecological applications**, Washington, v. 16, n. 2, p. 540-554, abr. 2006.

CARVALHO, M. M. X. de. **Uma grande empresa em meio à floresta: a história da devastação da floresta com araucária e a Souther Brazil Lumber and Colonization (1870-1970)**. 2010. 313 f. Tese (Doutorado em História) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 2003. 1038 p.

CASTAGNERI, D. et al. Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255 p. 651–659, 2008.

CATTANEO, N. et al. Sex-related, growth–climate association of *Araucaria angustifolia* in theneotropical ombrophilous woodlands of Argentina. **Dendrochronologia**, v. 31, p. 147-152, 2013.

CAVALLI, J. P. **Caracterização e modelagem do crescimento da copa e do incremento de árvores isoladas de *Cedrela fissilis* Vell.** 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CHAGAS, M. P. **Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo**. 2013. 159 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CHHIN, S.; WANG, G. G. The effect of sampling height on dendroclimatic analysis. **Dendrochronologia**, v. 23, p. 47–55, 2005.

CLUTTER, A. L. Dendrochronological Reconstruction of Fire, Bogus Basin Area Boise National Forest. **Student Research initiative**, Montreal, v. 8, 2013.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p. 1939–1949, 2011.

COOMES, D. A.; ALLEN, R. B. Effects of size, competition and altitude on tree growth. **Journal of Ecology**, Nova Zeeland, v. 95, p. 1084 – 1097, 2007.

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: SOUTH AMERICAN DENDROCHRONOLOGICAL FIELDWEEK, 5., 2009, Faxinal do Céu, Paraná. **Anais**, 2009. p. 17-24.

COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC**. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

COUWENBERGHE, R. V. et al. Light and competition gradients fail to explain the coexistence of shade-tolerant *Fagus sylvatica* and shade-intermediate *Quercus petraea* seedlings. **Annals of Botany**, Oxford, v. 112, p. 1421–1430, 2013.

CUBAS, R. **Florística, estrutura e dinâmica em uma Floresta Ombrófila Mista no Norte do estado de Santa Catarina**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2011.

CUNHA, T. A. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia Ocidental**. 2013. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Amazônia Ocidental. **Acta amazônica**, Manaus, v. 43, n.1, p. 9 – 18, 2013.

DELLA-FLORE, J. B. **Modelos de Crescimento para Árvores Singulares *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness**. 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DEVALL, M. S.; PARRESOL, B. R.; WRIGHT, S. J. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguel* in central Panama. **IAWA Journal**, Vol. 16 n. 4, 1995.p. 411-424

DUCHESNE, L.; PRÉVOST, M. Canopy disturbance and intertree competition: implications for tree growth and recruitment in two yellow birch–conifer stands in Quebec, Canadá. **Journal of Forest Research**, Chiyoda-ku ,v. 18, p. 168–178, 2013.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

EBERT, A. et al. Natural Regeneration in Tropical Secondary Forest in Southern Amazonia, Brazil. **Open Journal of Forestry**, v.4, n. 2, p. 151-160, 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos de Santa Catarina**. Rio de Janeiro; 1998.

ENRIGHT, N. J.; OGDEN, J.; RIGG, L. S. Dynamics of forests with Araucariaceae in the western Pacific. **Journal of Vegetation Science**, v. 10, n. 6, p. 793-804, dez. 1999.

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**, Guarapuava, v. 5, n. 1, Jan-Jun. 2003.

FIGUEIREDO FILHO, et al. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 763-776, out./dez. 2010.

FINGER, C. A. G. **Biometria florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 2006. 284 p.

FOREST HISTORY SOCIETY. **Acervo fotográfico**, 1910. Disponível em: [http://foresthistor.org/research/Galleries/Funderburke\\_Gallery/pages/FHS5780th.htm](http://foresthistor.org/research/Galleries/Funderburke_Gallery/pages/FHS5780th.htm). Acesso em: 12 ago. 2014.

FRANCO, A. M. S.; DILLENBURG, L. R. Ajustes morfológicos e fisiológicos em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 135-144, 2007.

FRAVER, S.; WHITE, A. S.; SEYMOUR, R. S. Natural disturbance in an old-growth landscape of northern Maine, USA. **Journal of Ecology**, Nova Zeeland , v. 97, p. 289-298, 2009.



FRITTS, H. C. **Tree Rings and Climate**. New Jersey, 1976, 567 p.

GANDOLFI, S. **História natural de uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Campinas, São Paulo, Brasil**. 2000. 520 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GONZALÉZ, A. D. V. **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et Golf de plantação da Mata da Predeira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

HESS, A. F. et al. Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método de liocourt, município de Painel, SC. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 575-580, 2014.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, v. 43, p. 69–75, 1983.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).

IBRAHIM, E. M.; OSMAN, E. H. Diameter at Breast Height-Crown Width Prediction Models for *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill & Perr and *Combretum Hartmannianum* Schweinf. **Journal of Forest Products & Industries**, v.3, n. 4, p. 191-197, 2014.

INOUE, M. K.; GALVÃO, F.; TORRES, D. V. Estudo ecofisiológico sobre *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE.: Fotossíntese em dependência à luz no estágio juvenil. **Floresta**. Curitiba, v. 10, n. 1, 1979.

JARDIM, F. C. da. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C. Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas, em Moju-PA. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 37-48, 2007.

KAMMESHEIDT, L. The role of tree sprouts in the restoration of stand structure and species diversity in tropical moist forest after slash-and-burn agriculture in Eastern Paraguay. **Plant Ecology**, v. 139, p. 155-165, 1998.

KERHOULAS, L. P.; KANE, J. M. Sensitivity of ring growth and carbon allocation to climatic variation vary within ponderosa pine trees. **Tree Physiology**, v. 32, p. 14-23, 2011.

KIERNAN, D. H.; BEVILACQUA, E.; NYLAND, R. D. Individual-tree diameter growth model for sugar maple trees in uneven-aged northern hardwood stands under selection system. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p.1579–1586, 2008.

KLEIN, R. M. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina. In: REITZ, R. (Ed) **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues. 1978.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Alemanha: Ed. GTZ. Rossdorf, 1990. 343 p.

LANG, A. C. et al. Tree morphology responds to neighbourhood competition and slope in species-rich forests of subtropical China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, p. 1708-1715, 2010.

LANG, A. C. et al. Local neighborhood competition following an extraordinary snow break event: implications for tree-individual growth. **Biogeosciences and Forestry**, v. 7, p. 19-24, 2014.

LASSERE, S. R.; VAIRETTI, M.; LASSERE, E. N. de. Crecimiento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze., en distintos tipos de suelos de Puerto Piray, Misiones. **IDIA: Suplemento Forestal**, n. 7, p. 36-45, 1972.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil: Região Sul**. v. 2. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

LI, Q. et al. Compensatory effects between *Pinus massoniana* and broadleaved tree species. **Journal of Plant Ecology**, v. 3, n. 3, p. 183-189, Sep. 2010.

LIMA, R. A. F. Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. **Revista brasileira de botânica**, v. 28, n. 4, p. 651-670, 2005.

LISI, C. S. et al. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal Semi-Deciduous Forest in Southeast Brazil. **IAWA Journal**, v. 29, n. 2, p. 189-207, 2008.

LONGHI, R. V. **Manejo experimental de uma Floresta Ombrófila Mista Secundária no Rio Grande do Sul**. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1998. v. 1. 352 p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2000. 384 p.

LORIMER, C. G. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 6, p. 343-360, 1983.

LORIMER, C. G.; FRELICH, L. E. a methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 19, 1989.

LUOGA, E. J.; WITKOWSKI, E.T.F.; BALKWILL, K. Regeneration by coppicing (resprouting) of Miombo (African savanna) trees in relation to land use. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 189, p. 23-35, 2004.

MAINGI, J. K. Growth rings in tree species from the tana river floodplain, Kenya. **Journal of East African Natural History**, v. 95, n. 2, p. 181-211, 2006.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: das magnoliáceas às flacurtiáceas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1997. 271 p.

MARQUES, A. C. **Planejamento da paisagem da Floresta Nacional de Três Barras (Três Barras – SC): subsídios ao plano de manejo**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

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

MATTOS, P. P. de. et al. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR. Nota científica. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 54, p. 153-156, jan./jun. 2007.

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.

MONSERUD, R. A.; STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even-and-uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.80, p. 57-80, 1996.

MOSCOVICH, F. A. **Estudo da dinâmica de crescimento em uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS**. 2006. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MÓSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Early growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] Kuntze) in response to soil compaction and drought. **Plant and Soil**, v. 258, p. 293–306, 2004.

MUNHOZ, C. A.; SILVA, J. V. da.; MARQUES, M. C. M. Demography of the endangered tree species *Ocotea porosa* (Lauraceae) along a gradient of forest disturbance in southern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 28, n. 4, p. 617-623, 2014.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.105-119, 2001.

NEGRELLE, R. R. B. Sprouting After Uprooting of Canopy Trees in the Atlantic Rain Forest of Brazil. **BIOTROPICA**, v. 27, n. 4, p. 448-454, 1995.

NEVAI, A. L.; VANCE, R. R. Plant interspecies competition for sunlight: a mathematical model of canopy partitioning. **Mathematical Biology**, v. 55, p. 105–145, 2007.

NOWACKI, G. J.; ABRAMS, M. D. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. **Ecological Monographs**, v. 67, n. 2, p. 225-249, mai. 1997.

OFFORD, C. A.; MEAGHER, P. F.; ZIMMER, H. C. Growing up or growing out? How soil pH and light affect seedling growth of a relictual rainforest tree. **AoB Plants**, v. 6, p. 04-29, mar. 2014.

OHEIMB, G. V. et al. Individual-tree radial growth in a subtropical broad-leaved forest: The role of local neighbourhood competition. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, p. 499–507, 2011.

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

OLIVEIRA, J. M. et al. Seasonal cambium activity in the subtropical rain forest tree *Araucaria angustifolia*. **Trees**, v. 23, p.107–115, 2009.

OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**, v. 35, p. 134–147, 2010.

PACALA, S. W. et al. Forest models defined by field measurements: estimation, error analysis and dynamics. **Ecological Monographs**, v. 66, n. 1, p. 1-43, 1996.

PALUDO, G. F. et al. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na reserva genética florestal de Caçador, estado de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p.1109-1121, 2009.

PAPAIK, M. J.; CANHAM, C. D. Multi-model analysis of tree competition along environmental gradients in southern New England Forests. **Ecological Applications**, v. 16, n. 5, p. 1880-1892, out. 2006.

PERRANDO, E. R.; CORDER, M. P. M. Rebrotas de cepas de *Acacia mearnsii* em diferentes idades, épocas do ano e alturas de corte. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 4, p. 555-562, 2006.

PRETZSCH, H.; SCHÜTZE, G. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. **European Journal of Forest Research**, v. 128, p. 183–204, 2009.

PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1997. 561 p.

PUCHALSKI, A. **Variações edafo-climáticas e ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no estado de Santa Catarina**. 2004. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PUTZ, F. E.; BROKAW, V. L. Sprouting of broken trees on Barro Colorado Island, Panama. **Ecology**, Washington, v. 70, n. 2, p. 508-512, 1989.

RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, p. 17-30, 2003.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariáceas**. In: **Flora ilustrada catarinense**, Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 63 p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto Madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, n. 34-35, p. 1-525, 1983.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1952. 450 p.

RICHARDS, M.; MCDONALD, A. J. S., AITKENHEAD, M. J. Optimisation of competition indices using simulated annealing and artificial neural networks. **Ecological modeling**, v. 214, p. 375–384, 2008.

RIGG L. S.; ENRIGHT N. J.; JAFFRE, T. Stand structure of the emergent conifer *Araucaria laubenfelsii* in maquis and rainforest, Mont Do, New Caledonia. **Australian Journal of Ecology**, Nova Zeeland , v. 23, p. 528-538, fev. 1998.

RIVAS, J. J. C. et al. The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango – Mexico. **European Journal of Forest Research**, v. 124, p. 133-142, may. 2005.

RONDON NETO, R. M. **Análise do histórico silvicultural de quatro espécies de uma Floresta Ombrófila Mista com auxílio da dendrocronologia**. 2003. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, v. 25, p. 3–16, 2011.

SANTOS, A. T. **Análise do crescimento e simulação de manejo de um plantio de *Ocotea porosa***. 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTAROSA, E. et al. Crescimento sazonal em *Araucaria angustifolia*: evidências anatômicas. Nota científica. **Revista Brasileira de Biociências**, nota científica, v. 5, p. 618-620, jul. 2007.

SAS. **The SAS System for Windows**. Cary: SAS Institute. 2004.

SAS/STAT. **User's guide** – release 9.1.3 edition. Cary N. C.: SAS Institute Inc. 2004.

SAWCZUK A. R. et al. Alterações na estrutura horizontal, no período de 2002-2008, em Floresta Ombrófila Mista no centro-sul do estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 149-160, jan.-mar. 2014.

SCHAAF, L. B. et al. Incremento diamétrico e em área basal no período 1979-2000 de espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, mai./ago. 2005.

SCHAAF et al. Modificações florístico-estruturais de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana no período entre 1979 e 2000. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 271-291, 2006.

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

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

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree rings: basics and applications of dendrochronology**. Dordrecht: Reidel, 1988. 276 p.

SCOLFORO. J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de floretas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA, 1998. 453 p.

SILVA, H. D. da. et al. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n. 43, p. 61-74, jul.- dez. 2001.

SILVA, A. S. da. **Dinâmica de colonização de *Araucaria angustifolia* em campos e sua influência na expansão florestal no Sul do Brasil**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SIMMONS, M. J. et al. Effects of Invasive Winter Moth Defoliation on Tree Radial Growth in Eastern Massachusetts, USA. **Insects**, v.5, p. 301-318, abr. 2014.

SOLIGO, A. J. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* regenerada sob *Pinus elliottii* e em povoamento homogêneo interplantado com *Pinus* spp.** 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SÖNMEZ, T.; ERCANLI, I.; KELE, S. A distance-independent basal area growth model for oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link) growing in mixture with oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Artvin region, North-East Turkey. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 8, p. 740-751, aug. 2009.

SOUZA, A. F. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. **Austral Ecology**, Malden, v.32, p. 524-533, 2007.

SOUZA, A. F. et al. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, p. 221-232, 2008.

SOUZA, R. F. et al. Modelagem do carbono orgânico total e da lenha por unidade de área para bracingais nativos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 117-127, jan.-mar. 2013.

SOUZA, A. F. et al. Detecting ecological groups from traits: a classification of subtropical tree species based on ecological strategies. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 441-452, 2014.

SPATHELF, P.; FLEIG, F. D.; VACCARO, S.; ESBER, L. M. Análise Dendroecológica de *Ocotea pulchella* (Canela Lajeana), na Serra Geral de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, 2000. p. 95-108.

SPEER, J. H. **Fundamentals of tree-ring research**. University of Arizona Press, 2010. 368 p.

STAHLE, D. W. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. **IAWA Journal**, Fayetteville, v. 20, n. 3, p. 249-253, 1999.

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, Curitiba, 2012.

STERBA, H.; BLAD, A.; KATZENSTEINER, K. Adapting an individual tree growth model for Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in pure and mixed species stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 159, p. 101-110, 2002.

STERCK, F. J. et al. Light fluctuations, crown traits, and response delays for tree saplings in a Costa Rican lowland rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.15, n. 1, p. 83-95, jan. 1999.

STOKES, M.A.; SMILEY, T. L. 1996. **An Introduction to Tree-Ring Dating**. University of Arizona Press, 1996. 73 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISE, C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento em árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELA, W. (Org.). **Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC, 2001, p. 117-143.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 66, p. 46-55, 2004.

TOMPOROSKI, A. A. **O polvo e seus tentáculos: A Southern Brazil Lumber and Colonization Company e as transformações impingidas ao planalto contestado, 1910-1940**. 2013. 282 f. Tese (Doutorado em História) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

TONHASCA JR, A. **Ecologia e história natural da Mata Atlântica**. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 2005. 197 p.

TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa, 2007. 30 p.

THORPE, H. C. et al. Competition and tree crowns: A neighborhood analysis of three boreal tree species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1586-1596, 2010.

VALENTE, T. P.; NEGRELLE, R. R. B.; SANQUETTA, C. R. Regeneração de *Araucaria angustifolia* em três fitofisionomias de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Iheringia - Série botânica**, Porto Alegre, v. 65, n. 1, p. 17-24, 2010.

VALENTINI, D. J. **Atividades da Brazil Railway Company no sul do Brasil: A instalação da Lumber e a guerra na região do contestado (1906-1916)**. 2009. 301 f. Tese (Doutorado em História) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

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

VELOSO, H.P.; GOES FILHO, L. Fitogeografia Brasileira: classificação fisionômica ecológica da vegetação neotropical. In: **PROJETO RADAMBRASIL**, 1982, Salvador. (Bol. Técnico. Serie vegetação, 1).

VIBRANS, A. C. et al. **Floresta Ombrófila Mista: Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**, v. 3. 1. ed. Blumenau: Edifurb, 2013. 440 f.

ZANINI, L.; GANADE, G.; HUBEL, I. Facilitation and competition influence succession in a subtropical old field. **Plant Ecology**, v. 185, p. 179-190, 2006.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por Dioicia**. 2007. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ZEIDE, B. Quality as a characteristic of ecological models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 55, p. 161-174, 1991.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 594-616, aug. 1993.



ZHANG, X.; LEI, Y. A linkage among whole-stand model, individual-tree model and diameter-distribution model. **Journal of forest science**, v. 56, n. 12, p. 600-608, 2010.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 199, p. 307-322, 2004.

ZHAO, J. et al. Thinning Mixed-Species Stands of Douglas-Fir and Western Hemlock in the Presence of Swiss Needle Cast: Guidelines Based on Relative Basal Area Growth of Individual Trees. **Forest Science**, Bethesda, v. 60, n. 1, p. 191-199, 2014.

WEBER, V. P. **Relação morfométrica e de competição no crescimento de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso na região central de Santa Catarina**. 2013. 91 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

WEIGELT, A.; JOLLIFFE, P. Indices of plant competition. **Journal of Ecology**, Nova Zeeland , v. 91, p. 707-720, 2003.

WEINER, J.; DAMGAARD, C. Size-asymmetric competition and size-asymmetric growth in a spatially explicit zone-of-influence model of plant competition. **Ecological Research**, v. 21; p. 707-712, 2006.

WENDLING, I. et al. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomia Costarricense**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 2009.

WHITMORE, T. C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, Washington, v.70, n. 3, p. 536-538, 1989.

WILLIAMSON, G. J. et al. Giant eucalypts – globally unique fire-adapted rain-forest trees?. **New Phytologist**, Lancaster, v. 196, p. 1001-1014, 2012.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees – a review. **IAWA journal**, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics ± a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, v. 20, p. 1-2, 2002.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 87, p. 391-403, 1999.

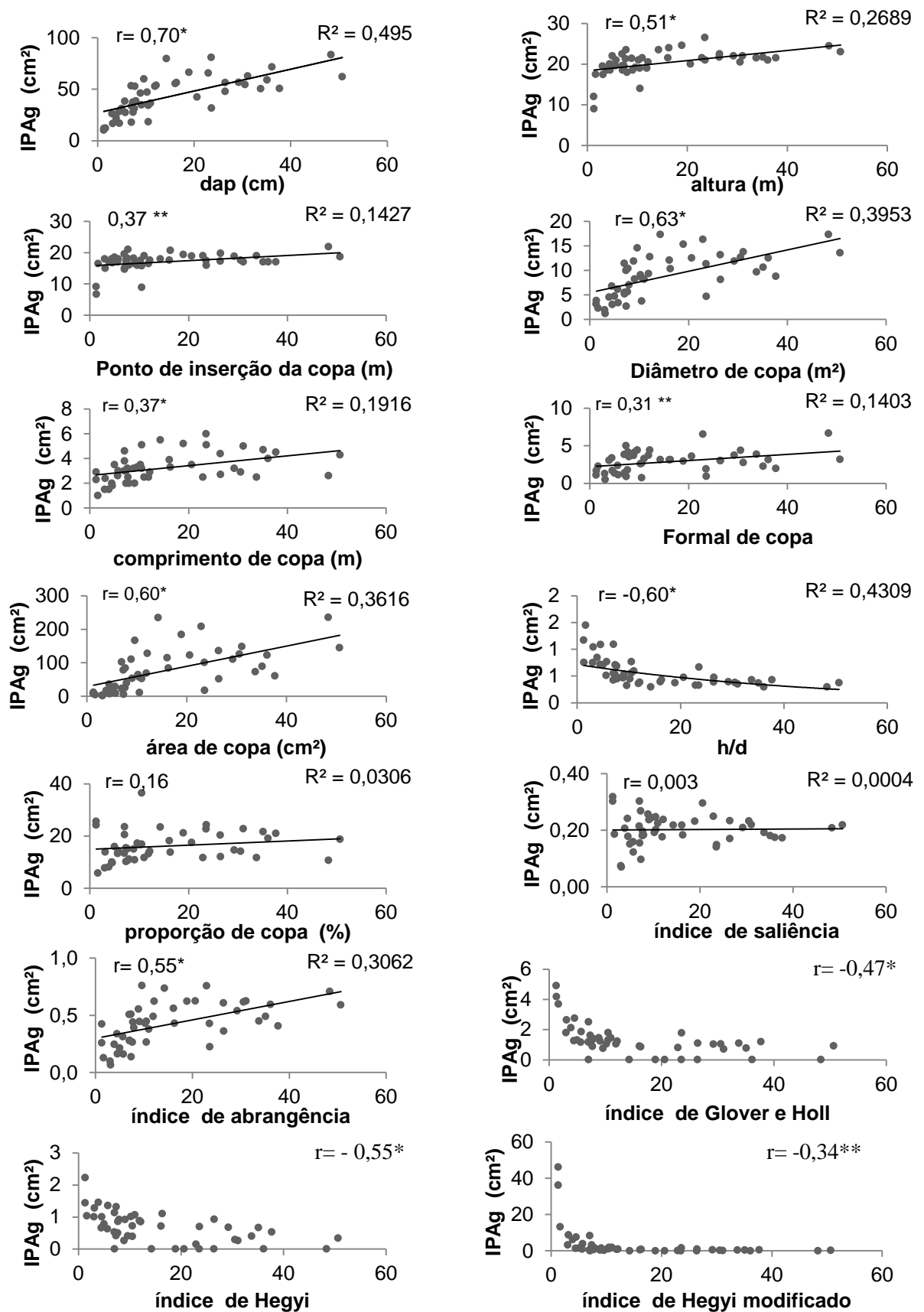
WYKOFF, W. A Basal Area Increment Model for Individual Conifers in the Northern Rocky Mountains. **Forest science**, Bethesda, v. 36, n. 4, p. 1077-1104, 1990.



## **APÊNDICES**

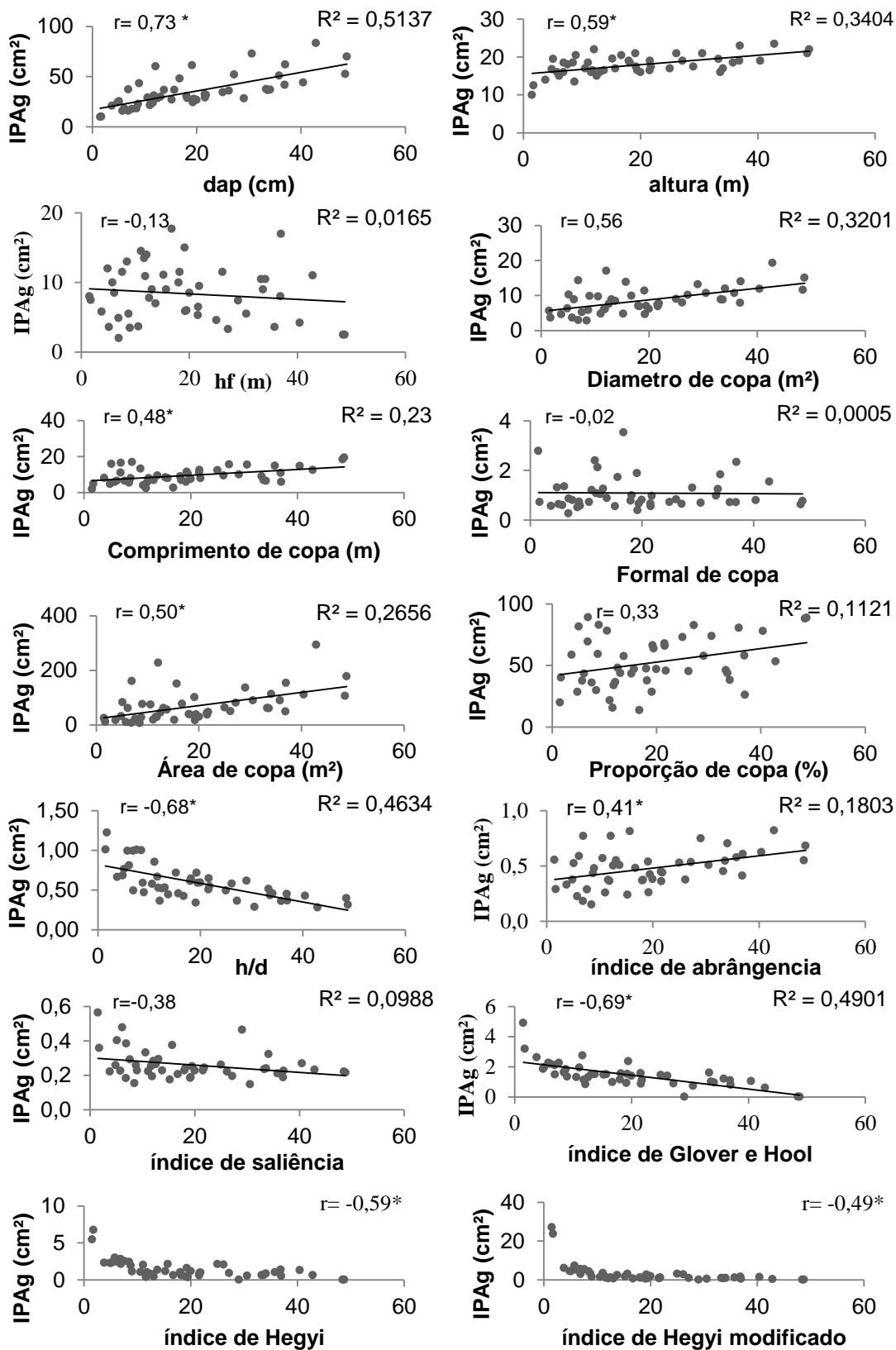


Apêndice A - Comportamento do incremento periódico anual em área basal (IPAg) da *Araucaria angustifolia* com as variáveis de tamanho e competição da árvore.



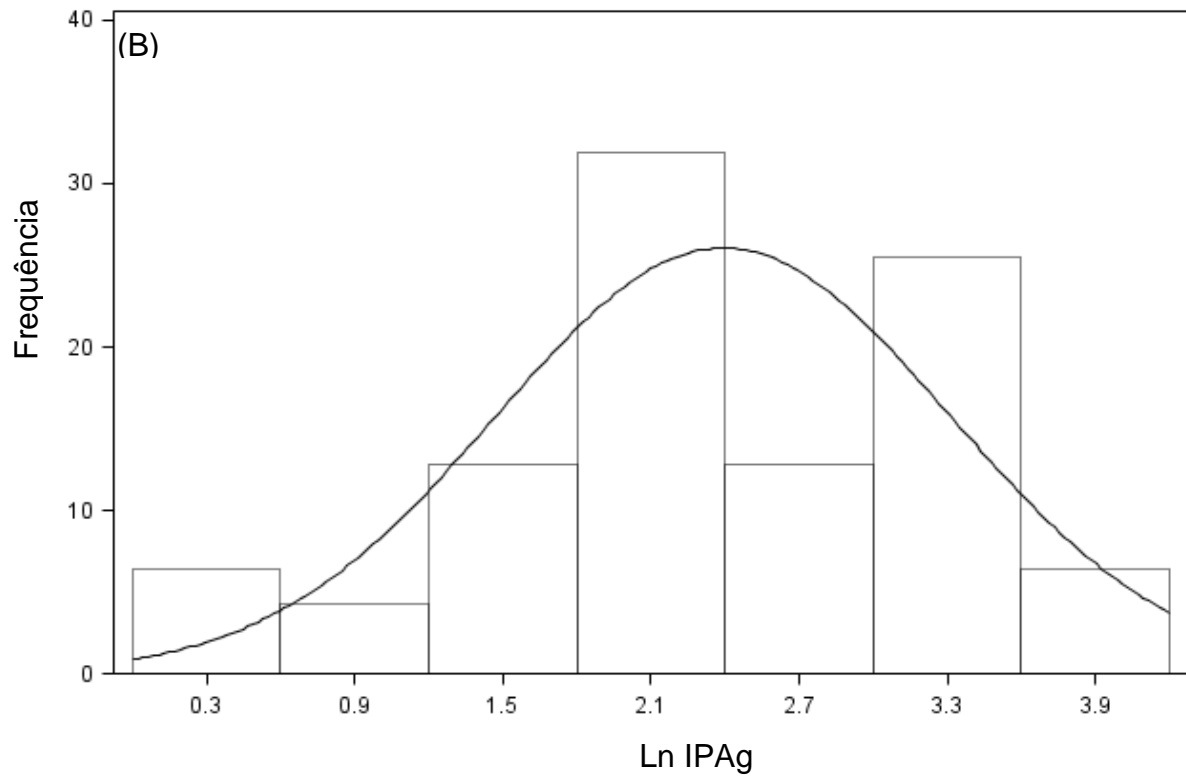
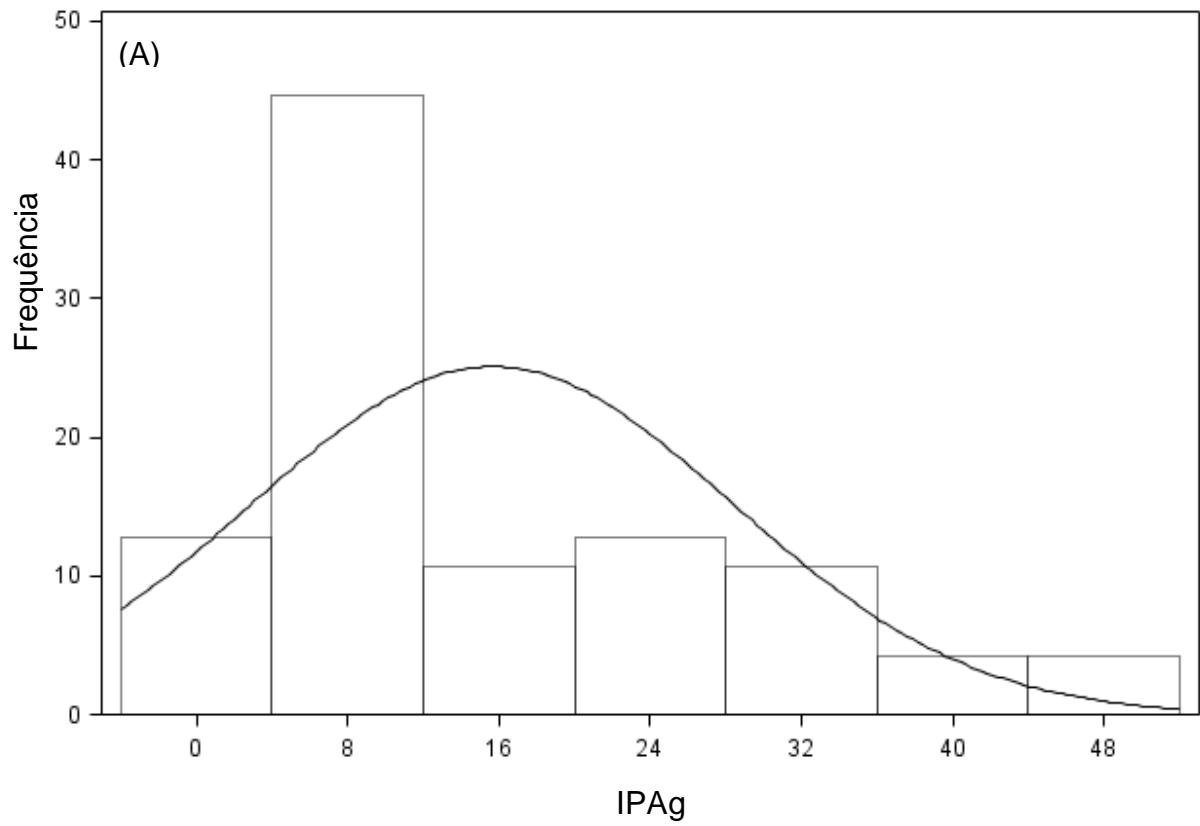
Em que: \* e \*\* significativo a 0,01 e 0,05% respectivamente; ns= não significativo.

Apêndice B - Comportamento do incremento periódico anual em área basal (IPAg) da *Ocotea porosa* com as variáveis de tamanho e competição da árvore.



Em que: \* e \*\* significativo a 0,01 e 0,05% respectivamente; ns= não significativo.

Apêndice C - Histograma da distribuição dos dados observados do incremento periódico anual em área basal (A) e logaritimizada (B) da *Araucaria angustifolia*.



Apêndice D - Histograma da distribuição dos dados observados do incremento periódico anual em área basal (A) e logaritmizada (B) da *Ocotea porosa*.

