

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

**MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE  
ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Araucaria angustifolia*  
(Bertol.) Kuntze NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Tatiane Chassot**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE  
ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.)  
Kuntze NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

**por**

**Tatiane Chassot**

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

**Orientador: Prof. Frederico Dimas Fleig**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

Chassot, Tatiane, 1985-  
C488m

Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na floresta ombrófila mista / por Tatiane Chassot ; orientador Frederico Dimas Fleig. - Santa Maria, 2009.  
48 f. ; il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2009.

1. Engenharia florestal 2. Pinheiro brasileiro 3. Concorrência entre árvores 4. Incremento em diâmetro I. Fleig, Frederico Dimas, orient. II. Título

CDU: 630.5

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

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

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

**MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE ÁRVORES  
INDIVIDUAIS DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze NA FLORESTA  
OMBRÓFILA MISTA**

elaborada por  
**Tatiane Chassot**

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

**Comissão Examinadora:**

**Frederico Dimas Fleig, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Rodrigo Borges de Mattos, Dr.** (Ministério Público do RS)

**Ângela Pellegrin Ansuji, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

Santa Maria, 5 de agosto de 2009.

Dedico esse trabalho a meus queridos pais Darceli e Ilóivia, minha irmã Jaqueline  
e ao meu amor Odair!

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível graças à ajuda de muitas pessoas! Por isso agradeço, de forma particular:

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de estudo.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao PELD – Projeto Ecológico de Longa Duração – “Conservação e Manejo Sustentável de Ecossistemas Florestais – Bioma Araucária e suas Transições”, pela disponibilidade dos dados levantados nas parcelas permanentes da FLONA de São Francisco de Paula - RS.

Ao professor Dr. Frederico Dimas Fleig, meu orientador, pelos ensinamentos e explicações, pela incansável ajuda e orientação durante todo o trabalho, principalmente durante depuração e validação dos dados.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, especialmente os professores César Finger, Paulo Schneider, Solon Longhi, Miguel Durlo, Sidinei Lopes, pelos valiosos ensinamentos transmitidos durante as aulas.

Aos membros da banca examinadora, Rodrigo Borges de Mattos e Ângela Pelegrin Ansuji pelas contribuições durante a defesa desse trabalho.

Aos meus colegas e amigos, Ana Cláudia Araújo, Juliana Garlet, Suzana da Rosa, Kátia Backes, Karina Modes, Veridiana Padoin, Marília Lazarotto, pela troca de idéias, companheirismo durante os estudos para as provas, aflições compartilhadas e momentos de descontração.

Ao teacher Pyta, pela amizade, carinho, pelas maravilhosas e descontraídas aulas de inglês e pela correção do abstract.

Aos demais amigos que demonstraram algum interesse pelo trabalho desenvolvido.

À secretária do PPGEF, Tita, pela amizade e carinho que sempre teve por mim.

À minha família, especialmente meus pais e minha irmã, pelo apoio, admiração e força!

Obrigada Odair, meu amor, por sempre estar do meu lado... sem você, eu não teria chegado até aqui!

## RESUMO

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

### **MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

Autor: Tatiane Chassot

Orientador: Dr. Frederico Dimas Fleig

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 5 de agosto de 2009.

Este trabalho objetivou modelar o crescimento em diâmetro para árvores individuais de *Araucaria angustifolia*, ocorrentes na Floresta Ombrófila Mista da Floresta Nacional de São Francisco de Paula, no nordeste do Rio Grande do Sul. Para tanto, foram utilizadas remedições de 8 anos de 251 indivíduos de araucária, distribuídos ao longo das parcelas permanentes do Projeto PELD – CNPq. Após confirmação da consistência dos dados, foi construído um modelo de produção, tendo como variável dependente o diâmetro futuro, utilizando regressão e análise de covariância. Como variáveis independentes, foram utilizadas as características dimensionais dos indivíduos e os índices de concorrência independentes de distância. A variável mais correlacionada com o diâmetro futuro foi o diâmetro atual. Os índices de concorrência apresentaram alta correlação com a variável dependente, representando corretamente a pressão competitiva exercida sobre a árvore, mas não entraram no modelo de regressão. Somente o diâmetro atual, multiplicado por um coeficiente, acrescido de um valor constante o qual diferiu de acordo com a posição sociológica do indivíduo, foi eficiente para prever o diâmetro futuro. O modelo apresentou melhores estimativas para indivíduos de *Araucaria angustifolia* emergentes, no entanto, o seu emprego na prognose de crescimento de árvores individuais deve ser cauteloso devido a magnitude dos erros de predição que apresentou.

Palavras-chave: concorrência; incremento; pinheiro brasileiro

## **ABSTRACT**

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

### **INDIVIDUAL - TREE DIAMETER GROWTH MODEL FOR *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze IN MIXED OMBROPHYLOUS FOREST**

Author: Tatiane Chassot

Advisor: Dr. Frederico Dimas Fleig

Date and Place of Defense: Santa Maria, 5 de agosto de 2009.

This work aims at modeling the diameter growth for individual trees of *Araucaria angustifolia*, present in the Mixed Ombrophylous Forest at National Forest of São Francisco de Paula, northeast of Rio Grande do Sul. Therefore, 8 years remeasurements of 251 araucaria individuals were used, they were distributed over the permanent plots of the Project PELD – CNPq. After the data consistency confirmation, a yield model was built, having as dependent variable the future diameter, using regression and analysis of covariance. As independent variable, the dimensional characteristic of the individuals were used and the distance independent competition indices. The most correlated variable with the future diameter was the current diameter. The competition indices showed high correlation with the dependent variable, correctly representing the competitive pressure exerted on the tree, but they didn't enter in the regression model. Only the current diameter, multiplied by a coefficient, plus a constant value which differed according to the sociological position of the individuals, it was effective to predict the future diameter. The model showed better estimates for emerging individuals of *Araucaria angustifolia*, however, its use in the individual tree growth prognosis should be cautious due to the magnitude of the errors it presented.

Key-words: *Araucaria angustifolia*; competition; individual tree

## LISTAS DE TABELAS

TABELA 1 – Caracterização geral das parcelas amostradas em ordem decrescente de porcentagem de araucária .....	25
TABELA 2 – Estatística descritiva para árvores selecionadas de <i>Araucaria angustifolia</i> nas parcelas do PELD-FLONA-SFP-RS .....	31
TABELA 3 - Estatística descritiva para árvores selecionadas de <i>Araucaria angustifolia</i> , classificadas como emergentes, nas parcelas do PELD-FLONA-SFP-RS .	32
TABELA 4 - Estatística descritiva para árvores selecionadas de <i>Araucaria angustifolia</i> , classificadas como intermediárias, nas parcelas do PELD-FLONA-SFP-RS .....	33
TABELA 5 - Estatística descritiva para árvores selecionadas de <i>Araucaria angustifolia</i> , classificadas como sobdossel, nas parcelas do PELD-FLONA-SFP-RS ...	34
TABELA 6 – Correlação de Pearson e probabilidades para as variáveis dimensionais e de concorrência para <i>Araucaria angustifolia</i> .....	36
TABELA 7 – Correlações parciais e probabilidades entre as variáveis, com controle para o diâmetro .....	38
TABELA 8 – Análise de covariância da função $dap_{\text{futuro}} = b_0 + b_1dap_{\text{atual}}$ em função da posição sociológica dos indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> .....	38
TABELA 9 – Modelos de predição em diâmetro ( $dap_{\text{futuro}} = b_0 + b_1dap_{\text{atual}}$ ) para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> , separados por posição sociológica .....	39

## LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1 – Croqui da localização do município de São Francisco de Paula – RS .....	23
FIGURA 2 – Esquema das unidades amostrais do PELD na Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS .....	26
FIGURA 3 – Incremento em diâmetro para <i>Araucaria angustifolia</i> , em um período de 7 anos .....	35
FIGURA 4 – Valores dos Índices de Concorrência de BAL em relação ao diâmetro para <i>Araucaria angustifolia</i> .....	36
FIGURA 5 – Valores dos Índices de Concorrência de Glover e Hool em relação ao diâmetro para <i>Araucaria angustifolia</i> .....	37
FIGURA 6 – Curvas de crescimento em diâmetro para as diferentes posições sociológicas da <i>Araucaria angustifolia</i> .....	40
FIGURA 7 – Erros na estimativa do diâmetro futuro de <i>Araucaria angustifolia</i> por meio de modelos de produção, para diferentes posições sociológicas .....	41
FIGURA 8 – Resíduos médios e resíduos médios absolutos na estimativa do diâmetro futuro para <i>Araucaria angustifolia</i> .....	42
FIGURA 9 – Funções dos coeficientes $b_0$ e $b_1$ em função da posição sociológica .....	43

## LISTAS DE FUNÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Índice de Glover e Hool (1979): $I_{GH}$ .....	28
EQUAÇÃO 2 - Índice de Glover e Hool (1979): $I_1$ .....	29
EQUAÇÃO 3 - Índice de Glover e Hool (1979): $I_2$ .....	29
EQUAÇÃO 4 - Índice de BAL ( $G_{\text{médio}}/g_i$ ) .....	29
EQUAÇÃO 5 - Índice de BAL1 ( $G_{\text{maior}}/G/\text{ha}$ ) .....	29
EQUAÇÃO 6 – Porcentagem de erro do modelo de produção .....	30
EQUAÇÃO 7 – Resíduo médio .....	30
EQUAÇÃO 8 – Resíduo médio absoluto .....	30
EQUAÇÃO 9 – Modelo de produção para <i>Araucaria angustifolia</i> como função do diâmetro e posição sociológica .....	44

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Abr = Índice de Abrangência (diâmetro da copa/altura total da árvore)

BAL1 = Índice de concorrência de BAL ( $G_{\text{maior}}/G/\text{ha}$ )

BAL10 = Índice de concorrência de BAL ( $G_{\text{médio}}/g_i$ ) para a subunidade 10 x 10m

BAL50 = Índice de concorrência de BAL ( $G_{\text{médio}}/g_i$ ) para a subunidade 50 x 50m

BALt = Índice de concorrência de BAL ( $G_{\text{médio}}/g_i$ ) para a área total de 1ha

$b_0$  = coeficiente linear da função (intercepto)

$b_1$  = coeficiente angular da função

cap = circunferência à altura do peito

CC = classe de copa

dap = diâmetro à altura do peito

dap<sub>atual</sub> = diâmetro atual

dap<sub>futuro</sub> = diâmetro a ser alcançado no futuro

EXP = exposição do terreno

F = valor de F calculado para a variável dependente (significância do modelo)

FLONA - SPF = Floresta Nacional de São Francisco de Paula

GL = Graus de Liberdade

$g_{\text{atual}}$  = área basal atual

ha = hectare (10.000 m<sup>2</sup>)

hd = relação altura diâmetro

ht = altura total

I1 = Índice de concorrência de Glover e Hool ( $h_i/\bar{h}$ )

I2 = Índice de concorrência de Glover e Hool ( $d_i^2 * h_i / \bar{d}^2 * \bar{h}$ )

ICA = Incremento Corrente Anual

IGH10 = Índice de concorrência de Glover e Hool ( $d_i^2/\bar{d}^2$ ) para a subunidade 10 x 10 m

IGH50 = Índice de concorrência de Glover e Hool ( $d_i^2/\bar{d}^2$ ) para a subunidade 50 x 50 m

IGHt = Índice de concorrência de Glover e Hool ( $d_i^2/\bar{d}^2$ ) para a área total de 1ha

Inc. dap = incremento em diâmetro

INCL = inclinação do terreno

IPA = Incremento Periódico Anual

PELD = Projeto Ecológico de Longa Duração

Ped = pedregosidade

Prob>F = nível de probabilidade de erro do modelo

Prob>t = nível de probabilidade de erro do coeficiente

PS = posição sociológica

QM = quadrado médio

$R^2$  = coeficiente de determinação

$R^2_{ajust}$  = coeficiente de determinação ajustado

Sal = Índice de Saliência (diâmetro da copa/dap)

SQ = soma de quadrados

$S_{yx}\%$  = erro padrão da estimativa em percentagem

t = valor de t calculado para o coeficiente

TV = tendência de valorização

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
<b>3.1 Caracterização e descrição da área de estudo</b> .....	22
<b>3.2 Obtenção de dados</b> .....	26
<b>3.3 Procedimento de cálculo – Modelagem</b> .....	27
3.3.1 Índice de concorrência – densidade pontual .....	28
3.3.2 Ajuste do modelo .....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	31
<b>4.1 Descrição das variáveis estudadas</b> .....	31
<b>4.2 Incremento em diâmetro para <i>Araucaria angustifolia</i></b> .....	34
<b>4.3 Modelos de produção para <i>Araucaria angustifolia</i></b> .....	38
4.3.1 Modelos de produção para <i>Araucaria angustifolia</i> por posição sociológica .....	38
4.3.2 Modelo de produção para <i>Araucaria angustifolia</i> como função do diâmetro e posição sociológica .....	43
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46

# 1 INTRODUÇÃO

Em décadas passadas e ainda em dias atuais, o manejo de florestas implantadas, equiâneas e, na maioria das vezes, com uma única espécie, vem sendo largamente estudado, sendo que muita coisa já se sabe sobre o manejo de florestas com essas características.

Concomitantemente, nos últimos anos, o interesse em produtos secundários da floresta e na utilização de produtos madeiráveis nobres, de maneira sustentável, fez com que as florestas nativas, inequiâneas de múltiplas espécies, se tornassem mais atrativas, do ponto de vista de sua utilização.

Em estudos de crescimento e produção para florestas homogêneas, usam-se variáveis médias do povoamento ou características de árvores médias, combinadas com a idade das árvores. Para florestas nativas, no entanto, devido à grande diversidade de espécies, nas mais diferentes idades e tamanhos, essas variáveis não são aplicáveis. Como também cortes rasos em florestas nativas não podem ser feitos, o manejo, para posterior colheita das árvores, deve ser realizado considerando a árvore de forma individual.

Assim, cada espécie é estudada individualmente, levando-se em consideração suas características individuais, sítio e condições de competição a que está submetida. Juntando-se esses fatores, são construídos modelos de crescimento orientados em árvores individuais. Esses modelos simulam o incremento em diâmetro ou área basal para cada árvore individual e então predizem o crescimento e/ou produção do povoamento.

De acordo com a disponibilidade de informações espaciais da localização das árvores na floresta, esses modelos podem ser divididos em dependentes e independentes de distância. Os independentes de distância não levam em consideração a localização da espécie em estudo; portanto, há uma menor dificuldade no levantamento de dados, sendo que a determinação da distância entre as árvores não se faz necessária. Por isso, os modelos independentes de distância têm sido usados mais largamente para predições de crescimento e produção.

Como esses modelos para árvores individuais são bastante complexos, exigindo onerosa coleta de dados e programação, ainda são pouco desenvolvidos. No entanto, acredita-se que seja a melhor maneira de expressar o crescimento de árvores em florestas mistas e inequiâneas, pois o manejo dessas florestas somente é possível quando tivermos informações sobre o crescimento das espécies que as compõem.

Tendo em vista a carência de informações sobre o crescimento das espécies que compõem as florestas nativas e o crescente interesse e importância, este trabalho teve por

objetivo geral fornecer respostas sobre o desenvolvimento dos indivíduos dessas florestas, bem como obter uma base de dados capaz de proporcionar estimativas de crescimento florestal, produção, desbastes e outras práticas silviculturais.

O objetivo específico desse trabalho foi formular um modelo de crescimento diamétrico para árvores individuais da espécie *Araucaria angustifolia*, espécie característica da Floresta Ombrófila Mista, como função de suas características dimensionais individuais e da concorrência.

Com esse modelo, poderemos prever o crescimento dos indivíduos e, assim, decidir sobre o manejo dessas florestas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma das maneiras de se obter conhecimentos sobre o crescimento das espécies é por meio de modelos de crescimento. Esses modelos auxiliam nas pesquisas e no manejo das florestas de várias formas. Um dos importantes usos inclui a possibilidade da predição de produção em tempos futuros, partindo das condições atuais.

Segundo Campos e Leite (2006), há uma extensa literatura no que diz respeito a modelos de crescimento de florestas homogêneas e equiâneas. No entanto, esse tipo de ecossistema é simples e muitos desses modelos não explicam diretamente a variação do tamanho das árvores dentro do povoamento e, portanto, não são aplicáveis para florestas de múltiplas espécies com diferentes idades (VANCLAY, 1994).

De acordo com Sterba (1992), em povoamentos equiâneos, o incremento é determinado em função das características médias das variáveis dimensionais, das árvores médias do povoamento e em função da idade. Essas variáveis, segundo Andreassen e Tomter (2002), são os componentes básicos para as estimativas futuras em povoamentos homogêneos.

No entanto, em uma floresta inequiânea, embora a idade tenha expressão, não é conhecida ou muitas vezes é de difícil determinação devido à ausência de anéis anuais de crescimento em algumas espécies, sendo, assim, substituída pela dimensão das árvores. A estrutura e a densidade do povoamento influenciam na quantidade de luz que entra na floresta e, assim, conseqüentemente, o crescimento das espécies (STERBA, 1992). De acordo com o autor, as dimensões das árvores são resultados da combinação do sítio, idade e concorrência.

Povoamentos inequiâneos possuem um elevado nível de complexidade e diversidade comparado a povoamentos homogêneos. Possuem uma vasta gama de espécies, com várias alturas e tamanhos de copa, resultando em um perfil vertical irregular do povoamento. Conseqüentemente, idade e índice de sítio (variáveis utilizadas na tabela de produção para povoamentos homogêneos) não são utilizáveis para modelagem do crescimento de árvores individuais, sendo esta uma das razões por que a modelagem do crescimento e da produção para esse tipo de floresta não tem sido desenvolvida tão rapidamente como para povoamentos homogêneos (KIERMAN et al., 2008).

Segundo Vanclay (1994), para determinarmos o crescimento e incremento de espécies que compõem as florestas inequiâneas e de múltiplas espécies, devemos lançar mão de técnicas de modelagem de crescimento considerando as árvores de forma individual, pois cada espécie apresenta um conjunto de características singulares, como: ritmo de crescimento,

necessidades por nutrientes, luz e espaço para crescimento, em um período de desenvolvimento bem mais longo quando comparado a uma floresta pura.

Segundo Della-Flora (2001), esses modelos têm como vantagem o detalhamento da estrutura do povoamento sendo potencialmente aplicáveis para as florestas naturais, além de permitirem a análise de aspectos fisiológicos e de coexistência. Nesses modelos, não é mais o povoamento a unidade de prognose, mas sim cada árvore individual. Nas tabelas de produção usuais, a média das dimensões e somas por unidade de área serão o somatório dos incrementos das árvores singulares.

Os diversos modelos de crescimento e produção para florestas mistas e inequidistantes podem ser divididos em três grupos, sendo modelos para o povoamento total (*whole stand model*), de classes de tamanho (*size class model*) e de árvore individual (*single-tree model*). Nos modelos para o povoamento total, o crescimento e a produção são enfocados no povoamento, ou seja, o povoamento é tomado como unidade básica para modelagem; nos modelos de classes de tamanho, empregam-se classes (de diâmetro, de altura, etc.) como unidades básicas; já nos modelos para árvores individuais, a árvore é a unidade básica. Os modelos para árvore individual simulam cada indivíduo com relação ao estabelecimento, crescimento e mortalidade, e a soma das estimativas de cada árvore resulta na produção do povoamento (VANCLAY, 1994).

Os modelos de crescimento em nível de árvore individual ou singular são mais complexos e de difícil construção quando comparados aos modelos em nível de povoamento ou modelos de classe de tamanho, pois são constituídos por vários submodelos que estimam o crescimento em diâmetro, crescimento em altura, crescimento em volume, concorrência entre as árvores. Além disso, muitos modelos apresentam variáveis de difícil medição e avaliação, como variáveis relacionadas às medições das copas das árvores (DANIELS et al., 1986).

Em função do tipo de índice de concorrência utilizado, os modelos de crescimento para árvores singulares foram divididos em dois principais grupos: os modelos espaciais, chamados de modelos dependentes de distância, e os não espaciais, chamados de modelos independentes de distância. Para os modelos espaciais, são necessários dados de sua localização no terreno, coordenadas geográficas, por exemplo, ou distância entre as árvores. Já os modelos não espaciais são mais simples e exigem menor levantamento de dados, pois não utilizam dados espaciais de localização (PORTÉ; BARTELINK, 2002; VANCLAY, 1994).

A modelagem do crescimento de árvores individuais vem sendo desenvolvida principalmente em países europeus e americanos. Conforme Hasenauer (1994), o primeiro

modelo simulador de árvore singular foi desenvolvido por Newhan, no ano de 1964, para povoamentos puros. A partir de então, os pesquisadores passaram a trabalhar muito com modelagem, orientada em árvores singulares.

Vários modelos de crescimento singulares foram desenvolvidos tanto para florestas monoespecíficas como para mistas, como os de Trasobares et al. (2004), que modelaram o crescimento e produção para *Pinus halepensis*; Huang e Titus (1999), que modelaram o incremento em altura de povoamento de *Picea glauca* e *Populus tremuloides*; Nyström e Kexi (1997), que modelaram o incremento em área basal de *Picea abies* em povoamentos jovens; Zhang et al. (1996), que modelaram o crescimento de *Pinus taeda* em povoamentos jovens; Adame et al. (2008), que modelaram o incremento em diâmetro de *Quercus pyrenaica*; González et al (2006), que modelaram o incremento em diâmetro de *Quercus suber* (independente de distância); Andreassen e Tomter (2002), que modelaram o crescimento em área basal de espécies folhosas e coníferas, criando um modelo independente de distância; e Zhao et al. (2006), que modelaram o efeito das demais árvores do povoamento no crescimento e sobrevivência de árvores individuais em floresta mista. No entanto, ainda pouco se conhece sobre florestas nativas, principalmente no que diz respeito ao ritmo de crescimento das espécies.

Para *Araucaria angustifolia*, já existem estudos em nível de povoamento homogêneo equiâneo, como a tabela de produção proposta por Schneider et al. (1992), e também para povoamentos inequiâneos, sendo que Hess et al. (2009) estudaram o crescimento de araucária em função da idade. Porém, nesses estudos, com objetivo de planejamento da produção e prognose do crescimento, as estimativas estiveram baseadas em valores médios do povoamento.

Della-Flora (2001) formulou modelos de crescimento para duas espécies da Floresta Estacional Decidual do Rio Grande do Sul. Para a espécie *Nectandra megapotamica*, a função de crescimento encontrada foi  $ICA = b_0 + b_1 * DAP^2 - b_2 * DEGRADAÇÃO - b_3 * P.S. - b_4 * PEDRAS - b_5 * BAL$  e para *Ocotea puberula*, a função de crescimento foi  $ICA = b_0 - b_1 * BAL - b_2 * DAP - b_3 * P.S. + b_4 * Int.INCL. * EXP$ .

Mattos (2007) modelou o incremento periódico anual em área basal para três espécies. Para *Cabralea canjerana*, o modelo de maior  $R^2_{ajust}$  foi  $IPA \ g = b_0 + b_1 * DAP^2 - b_2 * BAL - b_3 * Inc + b_4 * Sal$ ; para *Cedrela fissilis*, o modelo foi  $IPA \ g = b_0 + b_1 * DAP^2 + b_2 * Abr - b_3 * Ped$  e, para *Cordia tricotoma*,  $IPA \ g = b_0 + b_1 * DAP^2 - b_2 * BAL + b_3 * Formal \ de \ copa$ .

De acordo com os autores, esses modelos apresentaram um coeficiente  $R^2_{ajust}$  baixo, informando a baixa precisão das estimativas de incremento em área basal ou diâmetro. No

entanto, esses baixos valores de  $R^2_{\text{ajust}}$  podem ser justificados pela alta variabilidade presente nas florestas nativas, as quais apresentam inúmeras espécies em diferentes idades.

A maioria dos modelos adequados para florestas mistas predizem, explicitamente, o crescimento de árvores individuais, na maioria das vezes, com equações para estimar o crescimento em diâmetro a partir do diâmetro das árvores e outras variáveis. Estas equações são normalmente ajustadas com dados de remedições de parcelas permanentes nas quais todas as árvores foram individualmente medidas e identificadas (VANCLAY, 1994).

O crescimento em diâmetro de árvores individuais pode ser expresso como incremento em diâmetro ou correspondente incremento em área basal. Segundo Vanclay (1994), pesquisadores discutem a preferência da modelagem do incremento em área basal sobre a modelagem do incremento em diâmetro, já que o incremento em área basal supostamente seria mais parecido com o crescimento em volume atingido por uma árvore e também pelo fato de os modelos de incremento em área basal apresentarem maior  $R^2$  em relação aos de incremento em diâmetro. No entanto, segundo o autor, essa diferença na precisão do modelo é devido à estrutura do erro e implica uma relação funcional, ao invés de superioridade de um modelo sobre o outro, sendo que West (1980) não encontrou diferenças na precisão entre modelos de incremento em diâmetro e área basal.

Outra decisão a ser tomada na modelagem é em relação à variável resposta, ou seja, modelar o diâmetro futuro ou o incremento em diâmetro. De acordo com Vanclay (1994), o aumento do diâmetro do tronco pode ser expresso como uma função de produção, a qual estima diâmetros futuros, ou como uma função de crescimento, que estima o incremento durante um período específico. Em teoria, ambas as formas deveriam apresentar o mesmo resultado; no entanto, diferenças podem ser observadas quando há variações nos intervalos de medição ou quando este é muito grande.

Assim, a decisão de modelar o crescimento ou produção a partir do diâmetro ou área basal normalmente está baseada em conveniências ou preferências dos pesquisadores, visto que ambas fornecem estimativas adequadas.

Modelos mistos que combinam variáveis contínuas e discretas, como a mortalidade, também têm sido desenvolvidos. Nesses modelos, utiliza-se a regressão logística, que é similar ao modelo de regressão linear e adequada a situações em que as variáveis têm probabilidade dicotômica de ocorrer e quando as variáveis independentes são discretas. Os coeficientes da regressão logística podem ser usados para estimar a probabilidade de ocorrência de cada uma das variáveis independentes do modelo (CALDATO, 1998).

O crescimento de uma floresta depende tanto da produtividade potencial, dada pela qualidade de sítio, quanto pelo grau em que se aproveita essa potencialidade expressa pelo estoqueamento da floresta, ou seja, a densidade presente em relação a uma condição de referência normal.

De acordo com Prodan et al. (1997), o conceito de densidade está estritamente ligado às condições de concorrência, ocupação da superfície e fechamento do dossel.

Assim, a densidade pode ser utilizada como variável de decisão para intervenções silviculturais, como também em modelos simuladores de crescimento e na prognose de produção.

Nos modelos de crescimento, a densidade é expressa por meio de índices de concorrência, que podem ou não levar em consideração a distância entre a árvore concorrida e a concorrente. Entre os índices dependentes da distância, estão: índice de Arney (1973), de Bella (1969), de Ek e Monserud (1974), de Hegyi (1979), de Hopkins e Skellam (1954), de Byth e Ripley (1980), de Batcheler (1971), de Holgate (1965), Clark e Evans (1954) e da Área Potencial Disponível (APA). Como índices independentes de distância, estão os de Glover e Hool (1979), de BAL (Basal Area Larger) e suas modificações, citados por Prodan (1997).

Os índices de concorrência ou competição expressam uma estimativa do espaço horizontal ocupado por cada árvore-amostra em relação a suas vizinhas. Nos índices independentes de distância, a concorrência é medida por meio da relação das dimensões da árvore sujeito com as variáveis do povoamento, como número de árvores por hectare, área basal por hectare e altura média.

Zanon (2007), em estudo do crescimento de *Araucaria angustifolia* diferenciado por dioícia, na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, utilizou três Índices de Concorrência: Índice de Glover e Hool, Índice de BAL modificado e Índice de Hegyi.

Neste estudo, o Índice de Glover e Hool ( $I_{GH}$ ) variou de 0,3536 a 3,3947, apresentando um valor médio de 0,6769. O  $I_{GH}$  calculado para cada idade resultou em um valor médio de 1,0051 para as árvores da classe de idade de 60 anos, e 1,3595 para as árvores de 40 anos, indicando que as árvores do povoamento mais velho sofreram mais competição do que as de 40 anos. O mesmo resultado pode ser observado por meio do Índice BAL modificado, em que as árvores do povoamento de 60 anos apresentaram um BAL médio de 0,5837, demonstrando maior competição do que o povoamento de 40 anos, cujo valor do Índice BAL foi de 0,2473. Já o Índice de Hegyi mostrou um resultado médio de 1,5424 para o povoamento de 40 anos, enquanto que, no povoamento de 60 anos, esse índice foi igual a 0,9003, valor menor que o médio. Essa diferença entre os índices foi decorrente da forma de cálculo com a inclusão da

distância entre as árvores no Índice de Hegyi, sendo que, no povoamento de 60 anos, a distância entre as árvores era maior, devido aos três desbastes ocorridos anteriormente, o que reduziu o índice, quando comparado ao povoamento de 40 anos que sofreu dois desbastes.

Della-Flora (2001), em estudo de modelos de crescimento para árvores singulares realizado na região de Vale Vêneto – município de São João do Polêsine, RS – encontrou, para a espécie *Ocotea puberula*, no ano de 1994, um valor do índice de BAL médio igual a 12,3 m<sup>2</sup>/ha; para *Nectandra megapotamica*, o valor do índice BAL médio foi de 22,8 m<sup>2</sup>/ha, mostrando que essa espécie esteve sob maior concorrência e, por isso, incrementou menos. A concorrência foi caracterizada por meio de três variáveis: área basal de cada amostra, área basal das árvores mais grossas que a central e incremento em área basal ocorrido no período de 1994 a 1997.

Acredita-se que os índices dependentes de distância forneçam maiores informações sobre a influência da concorrência, sua quantificação e compreensão de sua ação sobre as árvores (DELLA-FLORA, 2001), porque as variáveis do povoamento não descrevem adequadamente a competição entre árvores, porque não avaliam o efeito do tamanho, proximidade e distribuição das árvores vizinhas (MÄKINEN, 1996). Até o momento, entretanto, não há confirmação da superioridade de um índice de concorrência sobre o outro de forma generalizada (DANIELS et al., 1986; FOX et al., 2007).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

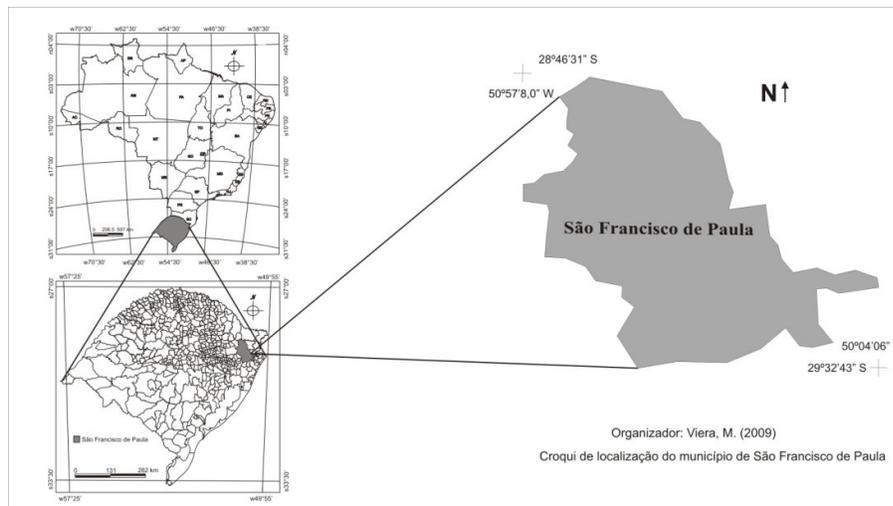
### 3.1 Caracterização e descrição da área de estudo

As florestas nativas têm como característica a complexidade em sua composição, ou seja, um grande número de espécies com as mais diferentes características silviculturais, ecológicas e tecnológicas (SCOLFORO et al., 1996).

A Floresta Ombrófila Mista ou Mata de Araucária ou de Pinheiro-brasileiro tem como característica o predomínio da *Araucaria angustifolia*. De acordo com Sanquetta (2005), a Floresta de Araucária não abriga apenas a sua espécie típica, mas muitas outras que juntas formam comunidades interativas e diferenciadas em florística, estrutura e organização ecológica. A riqueza da floresta de araucária pode ser encontrada nos seus componentes arbóreos, no subdossel ou nas copas que formam dosséis irregulares. Assim, a biodiversidade dessa floresta atinge níveis elevados, apesar de sua aparente simplicidade estrutural.

A Floresta Ombrófila Mista pertencente à Floresta Nacional (FLONA) de São Francisco de Paula ultimamente tem sido alvo de muitos estudos, pois nela está locado um conjunto de parcelas integrantes do PELD/CNPq – Projeto Ecológico de Longa Duração – “Conservação e Manejo Sustentável de Ecossistemas Florestais – Bioma Araucária e suas Transições”.

A FLONA localiza-se no Distrito de Rincão dos Kroeff, no município de São Francisco de Paula (FIGURA 1), nordeste do Rio Grande do Sul, a 27 km da sede do município, a uma altitude de 930 m acima do nível do mar. A temperatura média anual de 14,5°C e a precipitação média de 2.500 mm/anos (NIMER, 1990) caracterizam o clima, segundo a classificação de Köppen, como “Cfb” (mesotérmico subtropical, com período de temperado; úmido com precipitação uniformemente distribuída durante o ano; verão brando, característico do Planalto do RS) (MORENO, 1961).



**Figura 1 – Croqui da localização do município de São Francisco de Paula - RS.**

O solo é do tipo Cambissolo Húmico Alumínico Típico – CHa 1 (STRECK et al., 2008) e apresenta como características principais o horizonte A húmico de elevada acumulação de matéria orgânica decorrente da alta pluviosidade e das baixas temperaturas, cores escuras, alta acidez e baixa saturação por bases, e o horizonte B incipiente, porém menos ricos em matéria orgânica (NARVAES, 2004).

De uma área total de 1.606,69 hectares da FLONA, 901,9 ha correspondem à Floresta Ombrófila Mista (56,1%) (IBDF/FATEC, 1989).

Essa floresta apresentou uma considerável diversidade florística, com Índice de Shannon igual a 3,53, sendo as espécies da família Myrtaceae e Lauraceae as mais representativas dessa floresta (GOMES et al., 2008; LONGHI et al., 2006).

Conforme estudo realizado por Longhi et al. (2006), a floresta apresentou três grupos florísticos distintos, os quais indicaram os seguintes estágios sucessionais: um estágio sucessional menos evoluído, denominado de mata secundária, no qual as espécies *Nectandra megapotamica* e *Cryptocaria aschersoniana* foram as espécies indicadoras; um estágio sucessional intermediário da floresta, tendo como espécies indicadoras *Sebastiania commersoniana* e *Ocotea pulchella*; e um terceiro grupo, a floresta primária, cuja *Araucaria angustifolia* foi a espécie indicadora. Esse último foi considerado o grupo mais característico da Floresta Ombrófila Mista do local, que constitui o estágio clímax da floresta.

No mesmo local, três grupos florísticos distintos também foram definidos por Ribeiro (2004), os quais se diferenciaram em relação a suas características ecológicas que foram determinadas por meio da densidade de espécies.

Em ambos os estudos, a presença de árvores mortas foi significativa na composição da comunidade, constituindo, assim, um fenômeno natural de substituição dos indivíduos na dinâmica sucessional desse ecossistema.

As espécies pertencentes à floresta em estudo apresentaram um diâmetro médio de 21,95 cm, com diâmetro máximo de 143,63 cm pertencente a um indivíduo de *Araucaria angustifolia*. A altura total média e a comercial média estimada dos indivíduos foram de 13,12 m e 7,79 m, respectivamente, e a área basal e o volume comercial foram de 45,69 m<sup>2</sup>/ha e 337,72 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente. Todos esses valores foram maiores que os encontrados pelo Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul, em 2002, comprovando que a Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula apresenta maior estoque de madeira/ha em relação às outras formações florestais do Estado (RIBEIRO, 2004).

De acordo com os levantamentos efetuados pelo IBDF/FATEC (1989), é comum encontrar em associação com a *Araucaria angustifolia* as seguintes espécies arbóreas: *Dasyphyllum spinescens*, *Acca sellowiana*, *Rollinia* sp., *Sebastiania commersoniana*, *Sloanea laciocoma*, *Nectandra lanceolata*, *Nectandra megapotamica*, *Ocotea puberula*, *Mirciaria tenella*, *Matayba elaeagnoides*, *Cupania vernalis*, *Rapanea* sp., *Ilex brevicuspis*, *Roupala brasiliensis*, *Eugenia involucrata*, *Ilex paraguariensis*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Banara parviflora*, *Cedrela fissilis*, *Cestrum calycinun*, *Cryptocaria aschersoniana*, *Lonchocarpus* sp., *Luehea divaricata*, *Maytenus aquifolium*, *Myrcianthes gigantea*, *Wenmania paulliniifolia*, *Inga* sp., *Blepharocalix salicifolius*, *Fagara rhoifolia*, *Podocarpus lambertii*, *Prunus sellowii*, *Sapiun glandulatum*, *Eugenia uniflora*, *Lithraea brasiliensis*, *Mimosa scabrella* e *Strychnos brasiliensis*.

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, espécie pertencente à família Araucariaceae, popularmente conhecida por araucária, pinheiro-do-paraná, pinheiro-brasileiro, é uma típica conífera brasileira, de grande porte, tronco reto e quase cilíndrico, com altura variando entre 10 e 35 m, fuste com até 20 m ou mais, e diâmetro à altura do peito acima de 50 cm quando adulta, alcançando melhor desenvolvimento a partir dos 30 anos de idade (AQUINO, 2005).

Sua madeira é bastante utilizada para forros, molduras, ripas, caixotaria, brinquedos, utensílios domésticos, entre outros. Foi amplamente cultivada no sul do Brasil para produção de madeira, pasta celulósica, construção civil e laminação. O fruto é comestível e de grande importância para a alimentação humana e da fauna, tanto de aves, como de mamíferos. É também uma espécie ornamental, podendo ser empregada no paisagismo (LORENZI, 1998).

De acordo com estudo realizado por Ribeiro (2004) na Floresta Ombrófila Mista da Floresta Nacional de São Francisco de Paula, a *Araucaria angustifolia* destacou-se na fisionomia da floresta por apresentar alta densidade e dominância, considerada, assim, a espécie mais importante, representando 15,56% do Valor de Importância e 22,49% do Valor de Cobertura.

A Tabela 1 apresenta uma caracterização geral das 10 parcelas distribuídas ao longo da floresta, com o número total de indivíduos, a porcentagem de indivíduos de *Araucaria angustifolia*, a área basal total e a área basal da araucária em cada parcela.

**Tabela 1 - Caracterização geral das parcelas amostradas em ordem decrescente de porcentagem de araucária.**

Parcela	Nº total de indivíduos	Percentual de araucárias	Área basal total	Área basal das araucárias
I	929	37,4	55,3	42,36
II	852	20,5	46,9	29,44
III	841	17,7	49,3	30,04
IV	832	15,7	51,9	28,05
V	743	13,1	42,6	23,91
VI	780	5,5	48,4	4,23
VII	983	3,9	45,3	6,15
VIII	679	1,8	46,4	1,08
IX	910	1,2	43,5	0,63
X	815	0,2	41,6	1,06

A variação do número de indivíduos e da área basal por hectare de uma parcela para outra pode ser desprezada. No entanto, a porcentagem de indivíduos de araucária em cada parcela variou de um valor máximo de 37,4% até um mínimo de 0,2%, indicando que existem parcelas onde a araucária é a espécie predominante, refletindo, assim, na área basal que as araucárias representam sobre a área basal total da parcela.

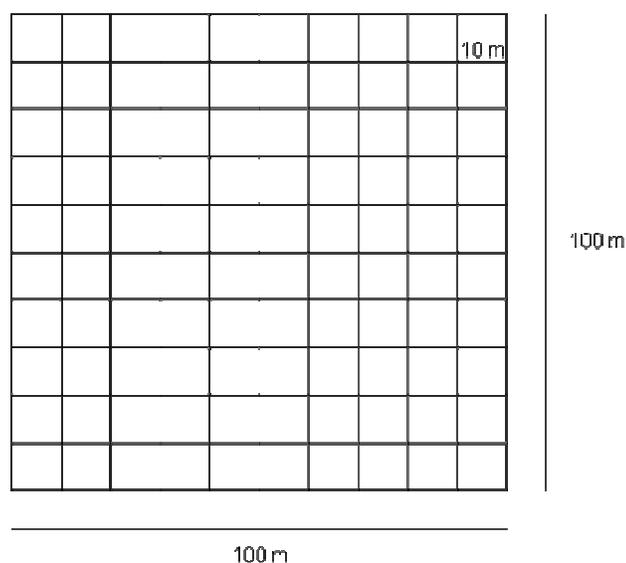
De acordo com o Inventário Florestal Contínuo do RS (Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2002), apesar de toda exploração econômica que ocorreu no passado, a cobertura florestal no estado aumentou significativamente nos últimos anos e grande parte dessa vegetação é constituída por florestas nativas que são dotadas de inúmeras espécies com grande potencial produtivo.

Estas florestas, quando não estiverem localizadas em áreas protegidas, poderiam ser transformadas em áreas produtivas, de maneira a agregar renda para a propriedade rural. No

entanto, não têm recebido a merecida atenção de cunho silvicultural, pois poucos estudos têm sido desenvolvidos sobre suas características de crescimento (MATTOS, 2007).

### 3.2 Obtenção de dados

Cada unidade amostral possuiu um tamanho de 100 x 100 m (área de 1 ha), divididas em 10 faixas (100 x 10 m) e cada faixa dividida em 10 subunidades (10 x 10 m), conforme a Figura 2.



**Figura 2 – Esquema das unidades amostrais do PELD na Floresta Nacional de São Francisco de Paula - RS.**

Nas unidades amostrais foram levantados, anualmente, desde o ano de 2000, os dados listados abaixo:

- ❖ Identificação das espécies;
- ❖ Circunferência à altura do peito (cap);
- ❖ Altura total e comercial;
- ❖ Posição sociológica - Classificação das árvores de acordo com a posição que ocupam no estrato, dividido em quatro classes: 1 – árvore emergente; 2 – árvore intermediária; 3 – sobdossel; 4 – árvore suprimida;
- ❖ Tendência à valorização - Verificação da possibilidade de uma árvore passar de um estrato para outro, observando as condições de crescimento de cada árvore, por meio dos seguintes critérios: 1 – crescimento promissor, mudança ascendente na posição sociológica; 2 –

crescimento médio, mudança lenta na posição sociológica; 3 - crescimento insignificante, tendência a permanecer na mesma posição sociológica;

- ❖ Classe de copa - Classificação de acordo com seu comprimento em: 1 – copa longa, comprimento maior que  $\frac{1}{2}$  da altura total da árvore; 2 – copa média, comprimento da copa entre  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{1}{4}$  da altura total da árvore; 3 – copa curta, comprimento da copa inferior a  $\frac{1}{4}$  da altura total da árvore; 4 – copa danificada ou quebrada;

Assim, para esse estudo, foram utilizadas as medições de oito anos.

### 3.3 Procedimento de cálculo - Modelagem

Após a aquisição dos dados, foi feita uma revisão dos mesmos, excluindo dados inconsistentes, como árvores que diminuía seu diâmetro de um ano para outro e árvores com altura superior à média do povoamento, mas classificadas como sobdossel. As árvores mortas não foram consideradas.

Também foram retirados aqueles indivíduos que não tinham 8 anos de medição e os que apresentavam a copa quebrada, classificadas como classe de copa 4.

Além das árvores com incremento negativo, também foram excluídas as árvores com incremento médio anual menor que 0,1 cm, excluindo, assim, os indivíduos com incremento nulo. Admitiu-se assim que a araucária cresce, no mínimo, 0,1 cm por ano. Incrementos menores, nesse conjunto de dados, poderiam também ser decorrentes de erros durante a medição.

Controlou-se ainda se os indivíduos apresentavam um comportamento padrão de acordo com a posição sociológica em que se encontravam. Utilizou-se, para tanto, o índice de Glover e Hool ( $I_1$ ) = " $h_i / h$  (altura da árvore de referência / altura média da unidade amostral)". Assim, fez-se uma seleção adicional dos dados sendo utilizados para a modelagem somente os indivíduos que apresentavam ainda as seguintes características: árvores emergentes, quando  $I_1$  maior que 1,5; árvores intermediárias,  $I_1$  entre 1,5 e 1,0 e árvores sobdossel,  $I_1$  menor que 1,0.

As variáveis utilizadas para modelagem foram: incremento em diâmetro para um período de 7 anos, calculado a partir da diferença entre o diâmetro no ano de 2007 e diâmetro em 2000, dap em 2000 e em 2007, área basal em 2000 e em 2007, altura total, relação altura diâmetro ( $h/d$ ), posição sociológica, tendência à valorização, classe de copa e os índices de concorrência independentes de distância.

Foi construído um modelo de produção, tendo como variável dependente o dap futuro, utilizado o software SPSS por meio da análise de regressão com o procedimento Stepwise, análise de correção e análise de covariância.

Os trabalhos de modelagem desenvolvidos para espécies nativas do Rio Grande do Sul apresentaram como fórmula geral do modelo: Crescimento = f (dimensões, concorrência e sítio).

Nesse estudo, no entanto, o dap futuro foi modelado somente pelas características dimensionais das árvores, ou seja, pelo dap, altura, área basal, relação h/d, posição sociológica, classe de copa, tendência de valorização e pela concorrência. As características de sítio não foram utilizadas para a modelagem, pois não estiveram incluídas no levantamento dos dados.

### 3.3.1 Índices de concorrência – densidade pontual

De acordo com Prodan et al. (1997), os índices de densidade pontual são quantificações do grau em que a densidade afeta uma árvore. São uma medida do grau em que a disponibilidade de recursos do meio ambiente pode estar limitada, para um indivíduo, pela concorrência das árvores vizinhas.

Os índices de densidade são classificados em independentes e dependentes de distância. Neste estudo foram calculados apenas os índices independentes de distância, pois variáveis morfométricas e de distância entre as árvores não estavam contempladas no levantamento de dados.

Assim, para quantificar a concorrência, foram calculados os seguintes índices:

#### a) Índice de Glover e Hool (1979)

$$I_{GH} = \frac{d_i^2}{\bar{d}^2} \quad (1)$$

Sendo:  $d_i$ : diâmetro da árvore considerada, em centímetros;  $\bar{d}$ : diâmetro médio do povoamento, em centímetros.

b) Índice de Glover e Hool (1979)

$$I_1 = \frac{h_i}{\bar{h}} \quad (2)$$

Sendo:  $h_i$ : altura da árvore considerada, em metros;  $\bar{h}$ : altura média do povoamento, em metros.

c) Índice de Glover e Hool (1979)

$$I_2 = \frac{d_i^2 \cdot h_i}{\bar{d}^2 \cdot \bar{h}} \quad (3)$$

Sendo:  $d_i$ : diâmetro da árvore considerada, em centímetros;  $\bar{d}$ : diâmetro médio do povoamento, em centímetros;  $h_i$ : altura da árvore considerada, em metros;  $\bar{h}$ : altura média do povoamento, em metros.

d) Índice de BAL (Basal Area Larger)

$$BAL = \frac{G_{\text{médio}}}{g_i} \quad (4)$$

Sendo:  $G_{\text{médio}}$ : área basal média por unidade amostral, em  $\text{m}^2$ ;  $g_i$ : área basal da árvore considerada, em  $\text{m}^2$ .

e) Índice de BAL (Basal Area Larger)

$$BAL1 = \frac{G_{\text{maior}}}{G/ha} \quad (5)$$

Sendo:  $G_{\text{maior}}$ : área basal das árvores com dap maior que o dap da árvore considerada, por hectare, em  $\text{m}^2$ ;  $G/ha$ : área basal da unidade amostral de 10 x 10 m, corrigida para hectare.

Esse último índice assume que somente são concorrentes as árvores que têm área basal maior que a árvore de referência.

Para esses índices de concorrência, foram utilizados diferentes tamanhos de unidades (área total de 1 ha, subunidade de 10 x 10 m, e 50 x 50 m).

### 3.3.2 Ajuste do modelo

Após a obtenção dos modelos de produção para *Araucaria angustifolia*, foram calculadas estatísticas que representam o ajuste dos modelos. Para tanto, foram observados os valores estimados pelo modelo com os valores observados a campo, construindo assim um gráfico da porcentagem de erros. Partindo do pressuposto de que o valor de diâmetro observado é 100% e calculando qual a porcentagem do diâmetro estimado pelo modelo, a diferença dessa porcentagem em relação a 100% representou a magnitude erro:

$$Erro \% = \left( \frac{dap_{est}}{dap_{obs}} * 100 \right) - 100 \quad (6)$$

Para a avaliação, também foram calculados o resíduo médio e o resíduo médio absoluto. O resíduo médio, uma estimativa da predição do modelo por meio da estatística BIAS, foi calculado como segue:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \hat{D}_i)}{n} \quad (7)$$

Onde  $D_i$  é o diâmetro futuro observado,  $\hat{D}_i$  é o diâmetro futuro estimado e  $n$  é o número de observações.

O resíduo médio absoluto, medida da magnitude do erro do modelo de predição, foi calculado, como segue:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n |D_i - \hat{D}_i|}{n} \quad (8)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Descrição das variáveis estudadas

Após depuração e validação dos dados, foram utilizadas, para este estudo, informações dimensionais e de concorrência de um total de 251 indivíduos de *Araucaria angustifolia*.

Na Tabela 2, estão apresentados os dados estatísticos levantados e calculados para os indivíduos da espécie *Araucaria angustifolia*, ocorrentes em floresta nativa na FLONA – SFP – RS.

Tabela 2 – Estatística descritiva para árvores selecionadas de *Araucaria angustifolia* nas parcelas do PELD – FLONA – SFP – RS.

Variáveis	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Inc. dap	251	0,70	2,11	6,59	1,16
dap2000	251	9,71	46,78	143,62	23,41
dap2007	251	10,73	48,89	145,44	23,51
g2000	251	0,0074	0,2148	1,6200	0,2042
g2007	251	0,0090	0,2310	1,6612	0,2116
ht	251	10,30	20,92	32,30	4,02
hd	251	0,20	0,52	1,20	0,21
I1	251	0,70	1,47	2,90	0,40
I2	251	0,20	7,98	33,20	7,30
IGHt	251	0,20	6,02	42,10	5,50
IGH10	251	0,20	4,82	19,60	3,88
IGH50	251	0,20	5,98	44,30	5,59
BAL10	251	0,10	0,77	6,70	10,00
BAL50	251	0	0,78	6,50	1,12
BALt	251	0	0,77	6,90	1,11
BAL1	251	0	0,30	1	0,35
PS	251	1	1,57	3	0,62
TV	251	1	1,55	3	0,57
CC	251	2	2,97	3	0,18

O incremento em diâmetro apresentou valor de 0,7 cm/7anos, como valor mínimo, em decorrência da seleção dos dados e um valor máximo de 6,59 cm, não atingindo assim, um incremento diamétrico de 1 cm por ano em uma média de 7 anos.

O valor mínimo do índice IGH, calculado para os diferentes tamanhos de unidade amostral, não variou. Já o valor máximo desse índice variou de 19,60 a 44,30, para uma unidade amostral de 10 x 10 m e 50 x 50 m, respectivamente. Essa variação dos valores

máximos de IGH, deu-se, possivelmente, em função da constante mudança dos valores de diâmetro médio para a unidade amostral de 10 x 10 m, quando comparado aos diâmetros médios para as unidades amostrais de 1 hectare e de 50 x 50 m, para as quais o diâmetro médio variava nenhuma e quatro vezes, respectivamente.

Para o índice de BAL, não foram observadas variações dos valores entre os tamanhos de unidade amostral, quando calculados a partir da relação  $G_{\text{médio}}/g_i$ . No entanto, para BAL, calculado a partir da relação com árvores mais grossas que a árvore de referência, houve uma diferença para a média e máximo desse valor.

Entre as variáveis de classificação, a classe de copa não apresentava grande variação, pois a maioria das árvores apresentava classe de copa 3, inclusive com a média desse valor sendo igual a 2,97. Além disso, a classe de copa bem como a tendência de valorização são fatores cuja determinação é bastante subjetiva. Já a posição sociológica pode ser mais facilmente determinada e ter uma relação estreita com variáveis de concorrência que utilizam a altura do indivíduo considerado e da população.

As árvores selecionadas apresentaram características dimensionais e de concorrência diferenciadas em função de sua classificação quanto à posição sociológica, como pode ser observado nas Tabelas 3, 4 e 5.

**Tabela 3 – Estatística descritiva para árvores selecionadas de *Araucaria angustifolia*, classificadas como emergentes, nas parcelas do PELD – FLONA – SFP – RS.**

Variáveis	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Inc. dap	126	0,70	2,28	6,59	1,15
dap2000	126	20,15	63,88	143,62	18,24
dap2007	126	22,79	66,15	145,44	17,99
g2000	126	0,0495	0,3463	1,6200	0,2072
g2007	126	0,0408	0,3689	1,6612	0,2117
ht	126	18,30	23,65	32,30	2,65
hd	126	0,20	0,38	0,87	0,10
I1	126	1,50	1,76	2,90	0,34
I2	126	2,00	13,23	33,20	6,63
IGHt	126	1,10	9,62	42,10	5,46
IGH10	126	1,20	7,51	19,60	3,48
IGH50	126	1,20	9,62	44,30	5,64
BAL10	126	0,10	0,25	0,90	0,12
BAL50	126	0,00	0,22	1,20	0,17
BALt	126	0,00	0,22	1,40	0,18
BAL1	126	0,00	0,06	0,70	0,16

A maior parte dos indivíduos selecionados pertenceu a posição sociológica emergente, apresentou crescimento promissor e copa curta, não tendo sido analisado nenhum indivíduo de copa longa.

De um total de 251 indivíduos de *Araucaria angustifolia*, 126 foram classificados como emergentes, 107 como intermediários e 10 como indivíduos de sobdossel.

Para todas as posições sociológicas, o valor do incremento mínimo foi de, aproximadamente, 0,70 cm em 7 sete anos, sendo que as árvores emergentes apresentaram o maior incremento máximo comparado às intermediárias e sobdossel.

O diâmetro no ano de 2007 das árvores emergentes variou de 22,79 cm a 145,44 cm.

Comparado aos indivíduos intermediários e sobdossel, os emergentes apresentaram os maiores valores de diâmetro, área basal e altura total.

**Tabela 4 – Estatística descritiva para árvores selecionadas de *Araucaria angustifolia*, classificadas como intermediárias, nas parcelas do PELD – FLONA – SFP – RS.**

Variáveis	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Inc. dap	107	0,73	2,08	5,25	1,17
dap2000	107	10,44	31,90	69,14	12,69
dap2007	107	12,61	33,98	72,42	12,78
g2000	107	0,0086	0,0925	0,3754	0,0753
g2007	107	0,0125	0,1034	0,4119	0,0797
ht	107	11,10	19,02	24,10	2,60
hd	107	0,26	0,62	1,20	0,19
I1	107	1,00	1,22	1,50	0,14
I2	107	0,30	3,04	14,70	2,67
IGHt	107	0,30	2,69	11,70	2,13
IGH10	107	0,30	2,37	9,80	1,90
IGH50	107	0,20	2,60	10,60	2,01
BAL10	107	0,10	1,03	6,70	0,94
BAL50	107	0,10	1,01	5,70	0,99
BALt	107	0,10	0,99	5,40	0,91
BAL1	107	0,00	0,49	1,00	0,31

Para as árvores intermediárias, o diâmetro no ano de 2007 variou de 12,61 cm a 72,42 cm. Para as sobdossel, essa variação foi de 10,73 cm a 28,11 cm.

As árvores emergentes apresentaram a menor relação altura/diâmetro, com este valor variando de 0,20 a 0,87. Essa relação foi aumentando para as árvores intermediárias e as de sobdossel.

Os maiores índices de concorrência de Glover e Hool foram observados para as árvores emergentes, com este valor decrescendo gradativamente para as intermediárias e sobdossel, indicando que árvores emergentes estão sob menor competição.

Para os índices de concorrência de BAL, os maiores valores foram observados para as árvores sobdossel, indicando que estas estão sob maior competição.

**Tabela 5 – Estatística descritiva para árvores selecionadas de *Araucaria angustifolia*, classificadas como sobdossel, nas parcelas do PELD – FLONA – SFP – RS.**

Variáveis	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Inc. dap	18	0,70	1,08	1,97	0,37
dap2000	18	9,71	15,65	27,37	5,21
dap2007	18	10,73	16,73	28,11	5,20
g2000	18	0,0074	0,0212	0,0589	0,0151
g2007	18	0,0090	0,0240	0,0620	0,0158
ht	18	10,30	13,18	17,20	1,82
hd	18	0,46	0,83	1,13	0,18
I1	18	0,70	0,88	1,00	0,12
I2	18	0,20	0,55	1,50	0,36
IGHt	18	0,20	0,62	1,60	0,40
IGH10	18	0,20	0,61	1,50	0,35
IGH50	18	0,20	0,62	1,70	0,42
BAL10	18	0,70	2,85	6,20	1,43
BAL50	18	0,90	3,29	6,50	1,65
BALt	18	0,90	3,36	6,90	1,78
BAL1	18	0,20	0,79	1,00	0,21

#### 4.2 Incremento em diâmetro para *Araucaria angustifolia*

O crescimento das árvores é decorrente da atividade meristemática e resulta na alongação e no aumento da espessura das raízes, troncos e galhos, ocasionando mudanças no peso, tamanho e forma das árvores.

Esse crescimento não é constante durante toda a vida de uma árvore. Para a maioria das espécies, observa-se uma estabilização do incremento em diâmetro em relação ao dap, ou seja, o incremento é maior até um determinado estágio, decrescendo em seguida.

Para os exemplares de araucária estudados observou-se uma estabilização, pois indivíduos do sobdossel apresentaram um incremento médio, para um período de 7 anos, 1 cm menor que as árvores intermediárias e estas 0,2 cm menores que as emergentes, como pode ser observado na Figura 3.

Somente árvores emergentes com diâmetros acima de 75 cm atingiram valores decrescentes de incremento, mas este fato pode estar relacionado em grande parte a escassa amostragem.

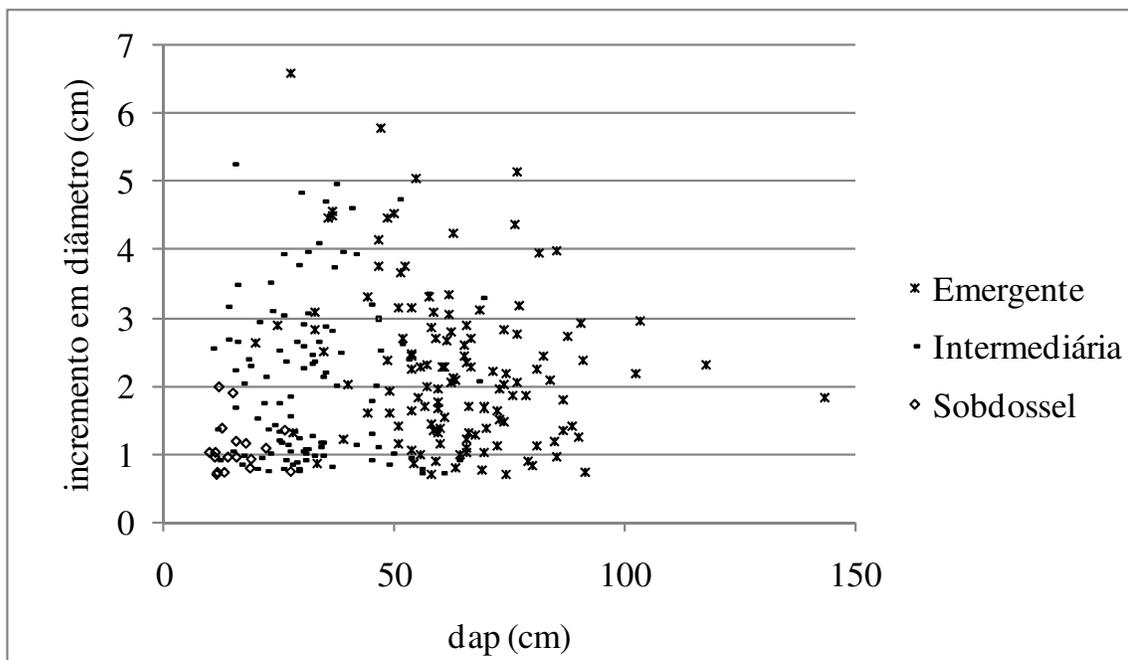


Figura 3 – Incremento em diâmetro para *Araucaria angustifolia*, em um período de 7 anos.

A maioria dos trabalhos de modelagem de árvores individuais utilizou o incremento em diâmetro ou área basal como variável resposta (ADAME, 2008; ANDREASSEN; TOMTER, 2002; DELLA-FLORA, 2001, GONZÁLEZ et al., 2006; MATTOS, 2007).

Fazendo uma análise de correlação entre as variáveis dimensionais individuais e de concorrência para os indivíduos de *Araucaria angustifolia*, observou-se que o incremento em diâmetro apresentou baixa correlação com as demais variáveis e, na maioria das vezes, essa correlação não foi significativa, como pode ser observado na Tabela 6.

Neste estudo, a grande variação de incremento para um mesmo diâmetro, fez com que a modelagem do incremento em diâmetro não fosse possível, decidindo-se então modelar o diâmetro, construindo um modelo de produção ao invés de um modelo de crescimento.

A variável mais correlacionada com o diâmetro do ano de 2007 foi o diâmetro de 2000, apresentando uma correlação significativa de 0,99. Isto mostra que a variável diâmetro pode ser usada para modelagem de crescimento, em substituição à idade, variável utilizada para povoamentos equiâneos, sob a hipótese de que, quanto maior o diâmetro da árvore, maior é a sua idade, já que, em florestas nativas, a idade é de difícil determinação (STERBA, 1992).

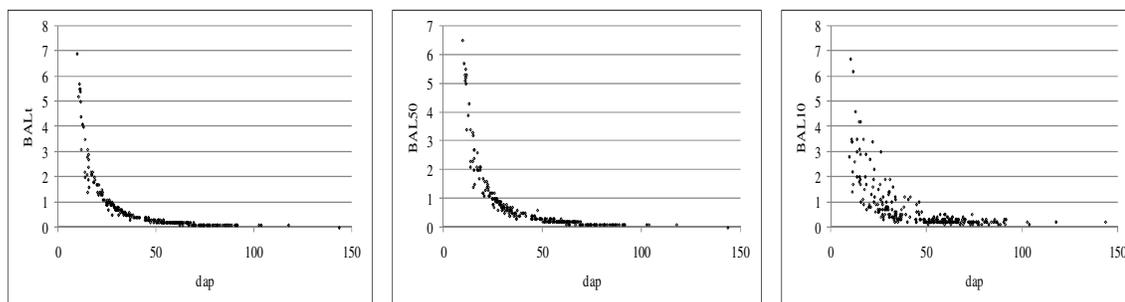
**Tabela 6 - Correlação de Pearson e probabilidades para as variáveis dimensionais e de concorrência para *Araucaria angustifolia*.**

Variáveis	INCDAP	DAP2000	DAP2007	g2000	g2007	HD	HT	BAL1	BAL10	BAL50	BALT	I1	I2	IGH10	IGH50	IGHT	CC	PS	TV
INCDAP	1	0,06	0,11	0,02	0,06	-0,15	0,17	-0,20	-0,16	-0,23	-0,23	0,04	0,03	0,08	0,05	0,06	-0,13	-0,22	-0,07
DAP2000	<b>0,36</b>	1	0,99	0,96	0,96	-0,88	0,80	-0,72	-0,62	-0,66	-0,66	0,61	0,81	0,85	0,95	0,96	0,04	-0,74	-0,05
DAP2007	<b>0,09</b>	<b>0,00</b>	1	0,95	0,96	-0,88	0,80	-0,73	-0,63	-0,67	-0,67	0,61	0,81	0,85	0,95	0,96	0,03	-0,75	-0,06
g2000	<b>0,76</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	1	1,00	-0,74	0,71	-0,60	-0,48	-0,50	-0,50	0,50	0,75	0,79	0,99	1,00	0,02	-0,63	-0,03
g2007	<b>0,34</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	1	-0,75	0,71	-0,61	-0,49	-0,51	-0,51	0,50	0,76	0,80	0,99	1,00	0,02	-0,64	-0,03
HD	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	1	-0,67	0,76	0,74	0,83	0,82	-0,56	-0,70	-0,75	-0,74	-0,75	-0,04	0,70	0,12
HT	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	1	-0,66	-0,64	-0,72	-0,73	0,68	0,67	0,65	0,70	0,71	0,07	-0,77	-0,09
BAL1	<b>0,00</b>	1	0,76	0,67	0,66	-0,63	-0,67	-0,70	-0,60	-0,61	-0,06	0,72	0,07						
BAL10	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	1	0,81	0,79	-0,55	-0,54	-0,58	-0,48	-0,49	-0,18	0,66	0,15						
BAL50	<b>0,00</b>	1	0,99	-0,54	-0,51	-0,54	-0,51	-0,51	-0,11	0,66	0,18								
BALT	<b>0,00</b>	1	-0,54	-0,51	-0,54	-0,51	-0,52	-0,10	0,67	0,19									
I1	<b>0,51</b>	<b>0,00</b>	1	0,74	0,59	0,51	0,50	0,05	-0,76	0,25									
I2	<b>0,60</b>	<b>0,00</b>	1	0,96	0,76	0,76	0,06	-0,70	0,08										
IGH10	<b>0,23</b>	<b>0,00</b>	1	0,80	0,80	0,06	-0,68	-0,03											
IGH50	<b>0,39</b>	<b>0,00</b>	1	0,99	0,00	-0,64	0,00												
IGHT	<b>0,37</b>	<b>0,00</b>	1	0,01	-0,64	-0,02													
CC	<b>0,04</b>	<b>0,57</b>	<b>0,65</b>	<b>0,72</b>	<b>0,79</b>	<b>0,55</b>	<b>0,25</b>	<b>0,32</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>	<b>0,13</b>	<b>0,41</b>	<b>0,35</b>	<b>0,38</b>	<b>0,95</b>	<b>0,85</b>	1	0,02	-0,18
PS	<b>0,00</b>	<b>0,75</b>	1	-0,06															
TV	<b>0,30</b>	<b>0,39</b>	<b>0,36</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>	<b>0,07</b>	<b>0,15</b>	<b>0,29</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,21</b>	<b>0,60</b>	<b>0,96</b>	<b>0,77</b>	<b>0,00</b>	<b>0,32</b>	1

Valores em negrito representam as probabilidades.

Todas as variáveis apresentaram uma correlação significativa com a variável diâmetro, exceto classe de copa e tendência de valorização.

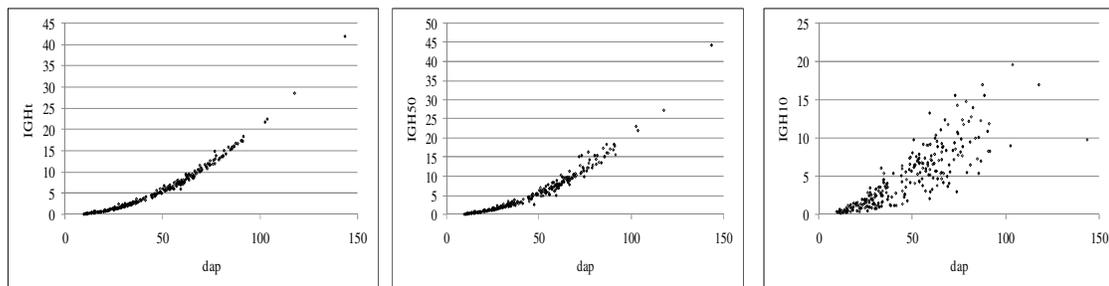
O diâmetro apresentou uma correlação negativa com os índices de concorrência de BAL, ou seja, quanto maiores os valores desses índices, menor o diâmetro da árvore. Isto porque, quanto maior o índice de BAL, maior é a concorrência sob a qual a árvore está submetida, como pode ser observado na Figura 4, em que os menores diâmetros apresentam os maiores valores de Índice de Concorrência de BAL. Isto demonstra que BAL consegue expressar corretamente a pressão competitiva a que uma árvore está submetida.



**Figura 4 – Valores dos Índices de Concorrência de BAL em relação ao diâmetro para *Araucaria angustifolia*.**

Para os índices de concorrência de Glover e Hool, o diâmetro apresentou uma correlação positiva, ou seja, quanto maiores os valores desses índices, maior o diâmetro da

árvore. E também, quanto maior o valor desses índices, sob menor concorrência a árvore está submetida, como pode ser observado na Figura 5, em que os maiores diâmetros apresentam os maiores valores do Índice de Concorrência de Glover e Hool.



**Figura 5 – Valores dos Índices de Concorrência de Glover e Hool em relação ao diâmetro para *Araucaria angustifolia*.**

Nas Figuras 4 e 5, observou-se que, para um tamanho de unidade amostral de 10 x 10 m, os valores dos índices de concorrência são mais dispersos ao longo da curva quando comparado aos valores desses índices para a área de 1 hectare. Este comportamento se deve ao numerador do índice de concorrência de BAL e ao denominador do índice de Glover e Hool que, para a área de 1 hectare, é sempre o mesmo. Já para tamanhos menores de subunidade, o valor do denominador varia, fazendo com que os valores dos índices de concorrência sejam mais variáveis.

Para unidade amostral de 50 x 50 m, os valores apresentaram uma dispersão semelhante aos da área de 1 hectare.

O diâmetro apresentou também uma correlação negativa para posição sociológica. Ou seja, quanto maior o valor da posição sociológica, menor é o diâmetro, visto que árvores intermediárias ou sobdossel apresentem um menor diâmetro que árvores emergentes.

Observou-se também que a posição sociológica apresentou correlação significativa com todas as demais variáveis, excetuando-se a classe de copa, destacando a correlação da posição sociológica com os índices de concorrência de BAL e Glover e Hool.

Correlação negativa também foi observada para a relação altura diâmetro, ou seja, quanto maior essa relação, menor é o diâmetro da árvore.

Para as demais variáveis,  $g_{\text{atual}}$  e altura total, a correlação foi positiva.

Controlando o efeito do diâmetro atual, verificou-se que a área basal, os diferentes índices de Glover e Hool e a tendência de valorização não se correlacionaram significativamente com o diâmetro futuro. Contudo, a relação  $hd$ ,  $ht$ , classe de copa, posição

sociológica e índices de BAL apresentaram correlação negativa, mas com valores bastante baixos, como pode ser observado na Tabela 7.

**Tabela 7 – Correlações parciais e probabilidades entre as variáveis, com controle para o diâmetro.**

		g2000	hd	ht	BAL1	BAL10	BAL50	BALt	I1	I2	IGH10	IGH50	IGHt	CC	PS	TV
dap2007	Correlação parcial	-0,12	-0,20	0,21	-0,23	-0,16	-0,25	-0,25	0,01	-0,02	0,05	0,00	0,01	-0,14	-0,27	-0,06
	Probabilidade	0,52	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,71	0,42	0,97	0,93	0,03	0,00	0,33

Entre as variáveis de correlação negativa, destacou-se a posição sociológica a qual apresentou o maior valor, indicando que as árvores de araucária possivelmente apresentam padrão de crescimento diferenciado de acordo com sua posição sociológica.

### 4.3 Modelos de produção para *Araucaria angustifolia*

#### 4.3.1 Modelo de produção para *Araucaria angustifolia* por posição sociológica

Por meio da análise de covariância apresentada na Tabela 8, foi possível identificar que os indivíduos de *Araucaria angustifolia* apresentaram comportamento diferente em relação à posição sociológica (PS) que ocupam na floresta.

A variável posição sociológica foi significativa no modelo, sendo que os coeficientes variaram em função desta. Para indivíduos sobdossel o valor do coeficiente  $b_0$  foi de 1,241, para indivíduos intermediários e emergentes foi acrescido, respectivamente 1,159 e 1,690.

**Tabela 8 – Análise de covariância da função  $dap_{\text{futuro}} = b_0 + b_1dap_{\text{atual}}$  em função da posição sociológica dos indivíduos de *Araucaria angustifolia*.**

Fonte de Variação	GL	SQ Tipo III	QM	F	Prob>F
Modelo	3	137871,2	45957,052	36932,779	0,000
b0	1	152,812	152,812	122,805	0,000
dap2000	1	57932,948	57932,948	46557,050	0,000
PS	2	27,825	13,913	11,81	0,000
Erro	247	307,353	1,244		
Total	250	738149,3			
R <sup>2</sup> ajus = 0,998					
Variável dependente	Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	t	Prob>t
dap2007	b <sub>0</sub>	1,241	0,273	4,555	0,000
	dap2000	0,990	0,005	215,771	0,000
	Emergente	1,690	0,358	4,726	0,000
	Intermediária	1,159	0,294	3,945	0,000
	Sobdossel	0	,	,	,

Assim, separando-se os indivíduos por posição sociológica, foram recalculados os coeficientes de cada modelo e foi possível obter modelos de predição em diâmetro com alta precisão, como pode ser observado na Tabela 9.

Vale destacar, que os coeficientes recalculados apresentaram valores aproximados aos obtidos na análise de covariância, enfatizando que o coeficiente  $b_1$ , que anteriormente, possuía valor único de 0,990, com a separação dos dados, apresentou um valor distinto, porém semelhante, para cada posição sociológica.

**Tabela 9 – Modelos de predição em diâmetro ( $dap_{\text{futuro}} = b_0 + b_1dap_{\text{atual}}$ ) para indivíduos de *Araucaria angustifolia*, separados por posição sociológica.**

Posição Sociológica	Coeficientes				Modelo			
	Coeficientes	Erro Padrão	T	Prob>t	$R^2_{\text{ajust}}$	$S_{yx}\%$	F	Prob>F
Emergente	$b_0 = 3,271$	0,366	8,935	0,000	0,996	1,699	31.882,3	0,000
	$b_1 = 0,984$	0,006	178,556	0,000				
Intermediária	$b_0 = 1,993$	0,308	6,473	0,000	0,992	3,449	12.488,0	0,000
	$b_1 = 1,003$	0,009	111,750	0,000				
Sobdossel	$b_0 = 1,147$	0,288	3,985	0,001	0,995	2,247	3.238,7	0,000
	$b_1 = 0,996$	0,017	56,910	0,000				

De acordo com esses modelos, o diâmetro futuro é uma função do diâmetro atual, multiplicado por um coeficiente, e acrescido de um valor constante.

Observando-se os coeficientes dos modelos, na Tabela 9, para árvores emergentes, do diâmetro atual, é descontado uma taxa de 1,6% e posteriormente acrescido um valor de 3,271 cm. O que indica que para árvores emergentes é descontada a maior taxa sobre o diâmetro e assim crescem a uma menor proporção quando comparado às demais árvores da floresta. Isso porque se trata de indivíduos maduros que já atingiram o ponto de máximo crescimento.

Para os indivíduos da posição intermediária, ao diâmetro atual, é acrescida uma taxa de 0,3% e um valor de 1,993 cm. E para indivíduos sobdossel, a taxa de desconto sobre o diâmetro é de 0,4% acrescido de 1,147 cm.

Estatisticamente, os valores de  $b_1$  não diferiram de uma posição sociológica para outra. Assim, aparentemente, as retas têm a mesma inclinação, diferindo apenas o valor do intercepto, como pode ser observado na Figura 6. Essa Figura foi truncada aos 35 cm de diâmetro para que fosse possível a visualização das diferenças de níveis entre as curvas, pois para a amplitude total dos dados, a escala seria grande em demasia, dificultando essa visualização.

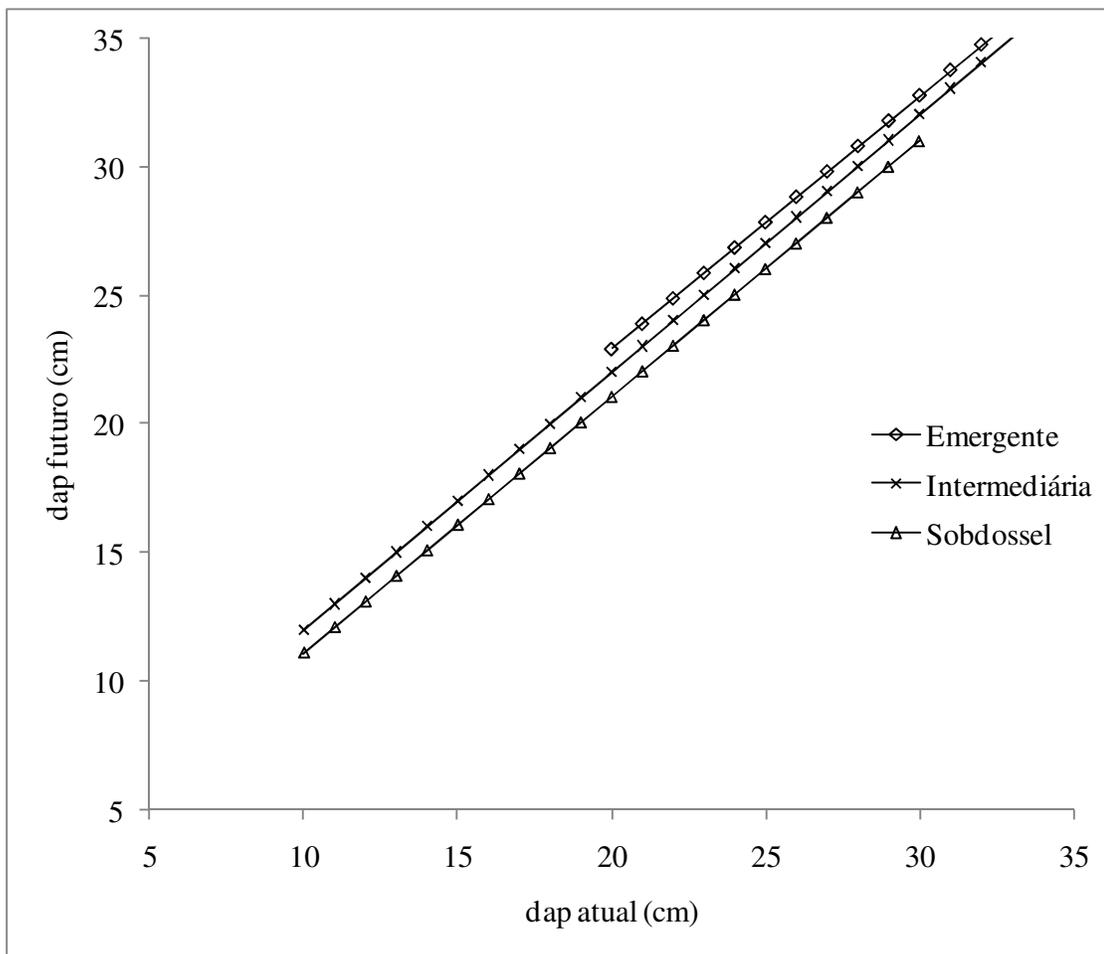
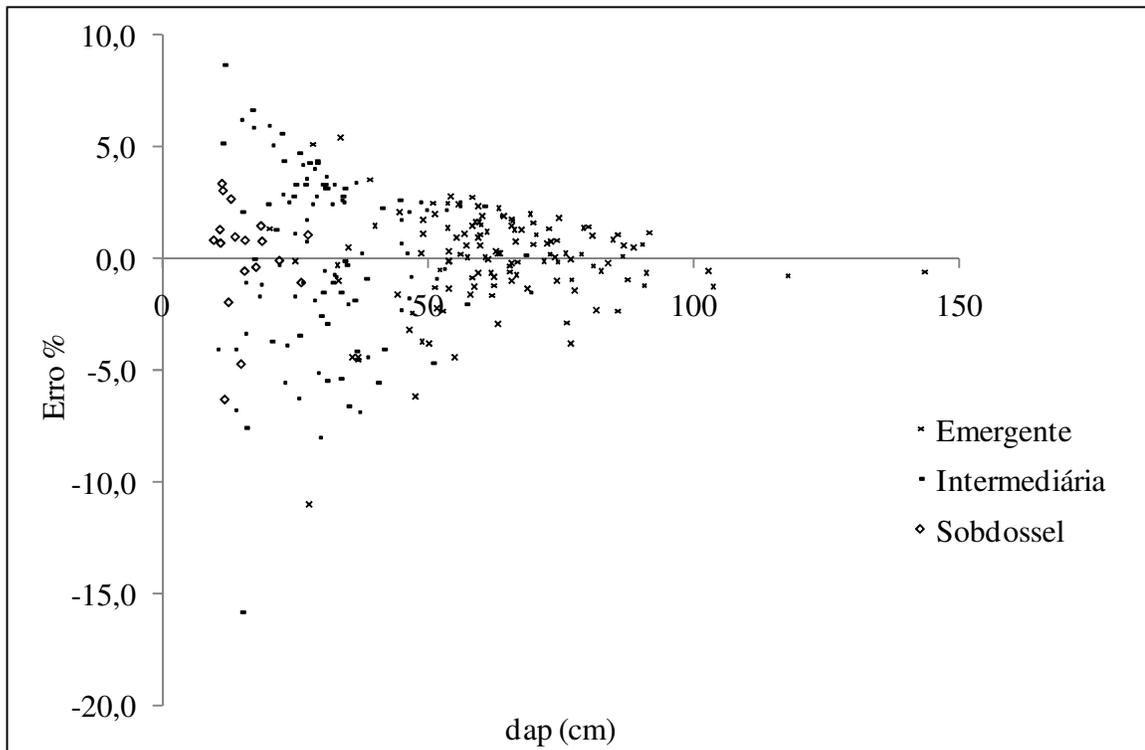


Figura 6 – Curvas de crescimento em diâmetro para as diferentes posições sociológicas da *Araucaria angustifolia*.

Para um mesmo diâmetro, árvores emergentes apresentaram maior diâmetro em relação às intermediárias e sobdossel.

Na Figura 7, podem ser observados os erros na estimativa do diâmetro futuro para as posições sociológicas. Esses erros representam a porcentagem em que o modelo de produção subestimou (valores de erros negativos) ou superestimou (valores de erros positivos) o diâmetro das árvores.



**Figura 7 – Erros na estimativa do diâmetro futuro de *Araucaria angustifolia* por meio do modelo de produção, para diferentes posições sociológicas.**

Observou-se que, para as árvores emergentes, o modelo apresentou a melhor estimativa de diâmetro futuro. Para essa posição sociológica, os erros permaneceram abaixo de 5%, para árvores com diâmetro próximo ou superior a 50 cm. Alguns erros com maior porcentagem podem ser observados para árvores emergentes de menores diâmetros.

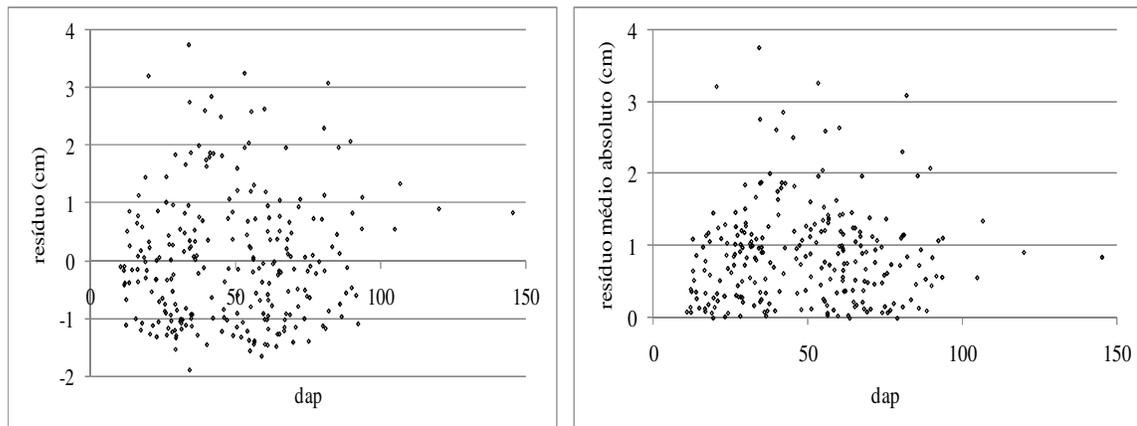
O modelo também apresentou boas estimativas para árvores sobdossel (PS 3), sendo que apenas um indivíduo apresentou um erro maior que 5%.

Já para as árvores intermediárias, o modelo de predição de diâmetro futuro apresentou maiores porcentagens de erros quando comparados às árvores emergentes e sobdossel, sendo alguns desses erros superiores a 5%. No entanto, para grande maioria dos indivíduos, esses erros ainda permaneceram inferiores a 5%.

Apesar de esses modelos proporcionarem uma boa estimativa de diâmetro para o conjunto de dados, apresentando um erro médio de 0,08 cm, quando considerarmos uma árvore individualmente, esses erros tornam-se grandes.

Considerando apenas o conjunto de dados que apresentaram erros de estimativa menores que 5%, os maiores erros de estimativa foram de -3,08 cm, quando subestimado e 1,63 cm, quando superestimado. Ambos os indivíduos pertenciam à posição sociológica emergente.

Fazendo uma validação do modelo obtido por meio da estatística BIAS, constatou-se que os resíduos médios variaram desde valores mínimos de erros, ou seja, próximo a zero, até valores próximos a 4 cm, quando o diâmetro foi superestimado e 2 cm, quando subestimados (Figura 8).



**Figura 8 – Resíduos médios e resíduos médios absolutos na estimativa do diâmetro futuro para *Araucaria angustifolia*.**

As árvores com dap entre 10 a 30 cm apresentaram os menores valores de resíduo médio absoluto, com este valor atingindo 1,2 cm. Já as árvores mais grossas, com dap entre 35-80 cm, apresentaram os maiores valores, sendo estes superiores a 2 cm. Isto indica que os modelos apresentaram melhores estimativas de diâmetro futuro para os indivíduos de menores dimensões.

Kiernan et al. (2008) formularam um modelo de crescimento em diâmetro para *Accer saccharum*, no qual o resíduo médio absoluto variou de valores mínimos iguais a 1,52 cm para classe de dap 0 - 4,9 cm até valores máximos de 2,85 cm para classe de dap 25 - 29,9 cm. Os indivíduos de *Accer saccharum* de menores dimensões apresentaram os menores valores de resíduos.

Para os modelos encontrados para *Araucaria angustifolia*, o valor do resíduo médio para o total de indivíduos foi igual a 0,00925, e o valor do resíduo médio absoluto foi igual a 0,8753. Esses valores indicaram que o modelo apresentou melhores estimativas de diâmetro futuro do que o modelo encontrado por Kiernan et al. (2008), cujo modelo apresentou valores de 0,0796 e 2,0801 para resíduo médio e resíduo médio absoluto, respectivamente.

Observou-se também que, apesar de os índices de concorrência terem uma alta correlação com o diâmetro e expressarem muito bem a concorrência quando graficados em relação a este (Figuras 4 e 5), não entraram no modelo de regressão. Isto demonstra que esses

índices, da maneira como foram calculados, não conseguem expressar o crescimento e, assim, têm sua utilidade comprometida em uso para modelagens de árvores individuais.

Em um trabalho de modelagem realizado para três espécies nativas do Rio Grande do Sul, *Cabralea canjerana*, *Cedrela fissilis* e *Cordia tricotoma*, os índices de concorrência, ao entrarem no modelo, também não aumentaram significativamente o ajuste do modelo (MATTOS, 2007).

Kiernan et al. (2008) modelaram o crescimento em diâmetro para árvores individuais de *Acer saccharum* em povoamentos mistos de folhosas. Para os autores, os resultados indicaram que os índices de concorrência baseados nas características das árvores individuais não aperfeiçoaram a predição em diâmetro. Somente as variáveis área basal do povoamento, diâmetro inicial e idade após desbaste foram eficientes na estimativa de diâmetro futuro.

#### 4.3.2 Modelo de produção para *Araucaria angustifolia* como função do diâmetro e posição sociológica

Como os coeficientes  $b_0$  e  $b_1$  dos modelos de produção estimados para *Araucaria angustifolia* variaram com a posição sociológica, estes puderam ser reestimados em função dessa variável, sendo:

$$b_0' = -1,062 \cdot PS + 4,261, \text{ com } R^2 = 0,986 \text{ e}$$

$$b_1' = -0,013 \cdot PS^2 + 0,058 \cdot PS + 0,939, \text{ com } R^2 = 1,000, \text{ conforme representado na}$$

Figura 9.

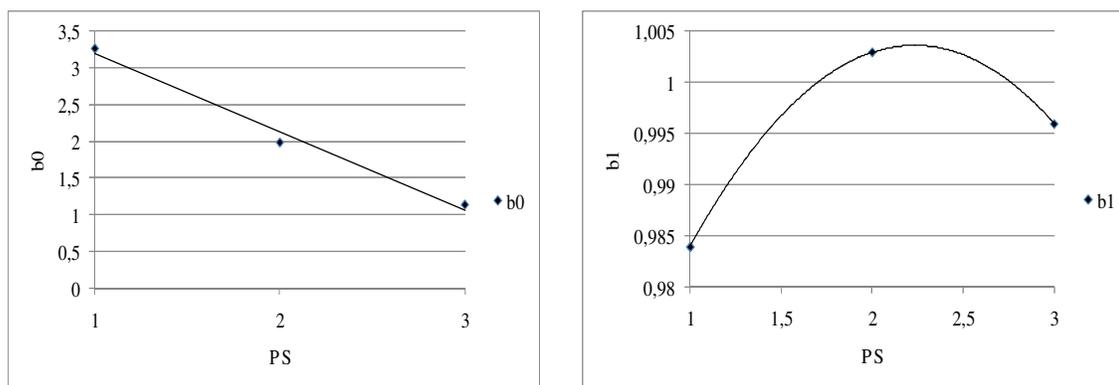


Figura 9 – Funções dos coeficientes  $b_0$  e  $b_1$  em função da posição sociológica.

Para a função do coeficiente  $b_1$  foi possível determinar uma função que passou exatamente pelo pontos, com valor de  $R^2$  igual a 1,000. Já para a função do  $b_0$ , o valor do  $R^2$

foi igual a 0,986, pois para o coeficiente da posição sociológica 2, a reta passou acima do ponto e para os coeficientes da posição sociológica 1 e 3, a reta passou um pouco abaixo dos pontos.

Juntando essas funções de reestimativa dos coeficientes nas funções de produção anteriormente determinadas, pode-se construir um modelo geral:

$$dap_{\text{futuro}} = (-0,013*PS^2 + 0,058*PS + 0,939)*dap_{\text{atual}} - 1,062*PS + 4,261 \quad (9)$$

Com esse modelo, foi possível determinar o crescimento futuro da espécie, necessitando-se apenas da informação do diâmetro atual e da posição sociológica em que a árvore se encontra.

## 5 CONCLUSÕES

É possível construir um modelo de crescimento ou produção em diâmetro para árvores individuais de *Araucaria angustifolia* da Floresta Ombrófila Mista.

O diâmetro futuro está na dependência somente do diâmetro atual e da posição sociológica.

O modelo de produção apresenta melhores estimativas para árvores emergentes.

Árvores emergentes apresentam maior diâmetro e maior taxa de crescimento que as intermediárias e as sobdossel.

Os índices de concorrência independentes de distância, na maneira como foram calculados neste estudo, não mostram eficiência em explicar o crescimento dos indivíduos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAME, P. et al. Individual-tree diameter growth model for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) coppices. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 225, p. 1011-1022, 2008.
- 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, 2002.
- AQUINO, F. M. De. **Cultivo de *Araucaria angustifolia***: análise de viabilidade econômico-financeiro. Florianópolis: BRDE, 2005. 53 p.
- CALDATO, S. L. **Dinâmica Populacional de *Ocotea porosa* (Lauraceae) na Floresta Ombrófila Mista em Caçador, SC**. 1998. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006, 470 p.
- DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal Forest Research**, Vancouver, v.16, p. 1230 – 1237, 1986.
- DELLA-FLORA, 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.
- FOX, J. C.; BI, H.; ADES, P. K. Spatial dependence and individual-tree growth models II. Characterising spatial dependence. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 245, n. 1, p. 10-19, 2007.
- GOMES, J. F. et al. Classificação e crescimento de unidades de vegetação em Floresta Ombrófila Mista, São Francisco de Paula, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 93-107, jan./mar. 2008.
- GONZÁLEZ, M. S. et al. Distance independent tree diameter growth model for cork oak stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 225, p. 262-270, 2006.
- HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern und Buchen-Fichtenmischbestände. **Fostliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur**, Wien. Band 8, 152p. 1994.
- HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 7-22, jan./mar. 2009.
- HUANG, S.; TITUS, S. T. An individual tree height increment model for mixed white spruce-aspen stands in Alberta, Canada. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 123, n. 1, p. 41-53, 1999.

IBDF/FATEC. **Plano de manejo para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula – RS**. Santa Maria: Ministério do Interior, 1989. 217 p.

KIERMAN, 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.

LONGHI, S. J. et al. Classificação e caracterização de estágios sucessionais em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista na Flona de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 113-125, abri./jun. 2006.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed.. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998. 352 p. v.1

MÄKINEN, H. Effect of Intertree Competition on Branch Characteristics of *Pinus sylvestris* Families. **Canadian Journal Forest Research**, Vancouver, v. 11, p. 129-136, 1996.

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**, RS. 2007. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

NARVAES, I. S. da. **Classificação e caracterização da regeneração em Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS**. Santa Maria, 2004. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: 1990, p. 151-187.

NYSTRÖM, K.; KEXI, M. Individual tree basal area growth models for young stands of Norway spruce in Sweden. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 97, p. 173-185, 1997.

PORTÉ, A.; BARTELINK, H. H. Modeling mixed forest growth: a review of models for forest management. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 150, p. 141–188, 2002.

PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal 1**. San José, C. R.: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997. 586 p.

RIBEIRO, S. B. **Classificação e ordenação da comunidade arbórea da Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS**. Santa Maria, 2004. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria.

SANQUETTA, C. R. **Perspectivas da recuperação e do manejo sustentável das florestas de araucária.** Disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/2005/08/09.shtml> Acessado em 08/05/09.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. Produção de *Araucaria angustifolia* O. Ktze. na região do planalto médio do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 99-118, jan./mar. 1992.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M.; FILHO, A. T. O. Modelo de produção para floresta nativa com base para manejo sustentado. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, 1996.

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre.** Heft 4. Wien: Universität für Bodenkultur, 1992. 160p.

STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2 ed. Porto Alegre.: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 222p.

TRASOBARES, A. et al. Growth and yield model for *Pinus halepensis* Mill. in Catalonia, north-east Spain. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 203, p. 49-62, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul.** Convênio UFSM/SEMA, 2002. 706 p. (Relatório final original). Acessado em 20 de maio de 2009. Disponível em: <http://www.coralx.ufsm.br/ifcrs>

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest.** Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994, 312 p.

WEST, P.W. Use of diameter increment and basal area increment in tree growth studies. **Canadian Journal Forest Research**, Vancouver, v. 10, p. 71-77, 1980.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioicia.** 2007. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ZHANG, S.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. L. Modeling individual tree growth for juvenile loblolly pine plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 89, p. 157-172, 1996.

ZHAO, D. et al. Modeling neighborhood effects on the growth and survival of individual trees in a natural temperate species-rich forest. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 196, p. 90-102, 2006.