

**POLLYNI RICKEN**

**INCREMENTO, ESPAÇO HORIZONTAL E COMPETIÇÃO EM  
POVOAMENTO NATURAL DE *Araucaria angustifolia* NO  
PLANALTO CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. André Felipe Hess

**LAGES - SC  
2014**

R539i Ricken, Pollyni

Incremento, espaço horizontal e competição em  
povoamento natural de Araucaria angustifolia no  
planalto catarinense / Pollyni Ricken. - Lages,  
2014.

105 p. : il. ; 21 cm

Orientador: André Felipe Hess

Inclui bibliografia.

Dissertação (mestrado) - Universidade do  
Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal, Lages, 2014.

1. Modelos lineares generalizados. 2. Manejo  
florestal. 3. Floresta de araucária. I. Ricken,  
Pollyni. II. Hess, André Felipe. III. Universidade  
do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

CDD: 634.9751 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do  
CAV/UDESC

**POLLYNI RICKEN**

**INCREMENTO, ESPAÇO HORIZONTAL E COMPETIÇÃO EM  
POVOAMENTO NATURAL DE *Araucaria angustifolia* NO  
PLANALTO CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

**Banca examinadora**

**Orientador:**

---

Prof. Dr. André Felipe Hess  
Universidade do Estado de Santa Catarina

**Membros:**



---

Drª Patrícia Póvoa de Mattos  
EMBRAPA FLORESTAS

---

Prof. Dr. Geedre Adriano Borsoi  
Universidade do Estado de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Marcos Benedito Schimalski  
Universidade do Estado de Santa Catarina

**LAGES, 26/02/2014**



Dedico especialmente a meus pais, Dilma Padoin Ricken e Idelfonso José Ricken, e ao meu irmão Guilherme Ricken, os maiores incentivadores de meus estudos.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e aos bons espíritos, que me iluminaram e me deram muita força para concluir esta tão importante etapa de minha vida.

Aos meus pais, Dilma e Idelfonso, e meu irmão Guilherme que sempre me incentivaram e mostraram a importância dos estudos para minha vida profissional e pessoal.

Ao Prof. Dr. André Felipe Hess, pela orientação, incentivo, paciência e amizade, durante o decorrer deste trabalho.

A todos os professores do Curso de Mestrado pelos ensinamentos compartilhados.

Aos membros da banca, Dr<sup>a</sup>. Patrícia Póvoa de Mattos, Prof. Dr. Geedre Adriano Borsoi e Prof. Dr. Marcos Benedito Schimalski pelas críticas e sugestões muito valiosas na confecção deste trabalho.

Ao Evaldo Munhoz Braz, que também se dispôs a ajudar e dar sugestões de grande valia para este trabalho.

Ao Dr. Orli Souza, por disponibilizar sua propriedade para o presente estudo.

Aos amigos/colegas que me auxiliaram durante e após as coletas de dados: Lucas, Rafael, Leonardo, Erone, Gabriel, Valésio, Myrcia e Jorgeane.

Aos amigos de longa jornada e aos amigos mais recentes, em especial Dani, Carol, Valéria, Fran e João, pelos imensuráveis momentos de descontração e pela verdadeira amizade cultivada ao longo desses anos.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, pela bolsa de mestrado.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!



## RESUMO

RICKEN, Pollyni. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no planalto catarinense.** 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

A *Araucaria angustifolia* desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural da região Sul do Brasil. Apesar da existência de instrumentos legais que impedem a exploração dessa espécie, sua madeira continua sendo considerada muito valiosa, o que justifica a realização de estudos dendrocronológicos para o manejo florestal. Esses estudos assumem um papel importante para se conhecer a estrutura e compreender a dinâmica da floresta de araucária, além de garantirem intervenções sustentáveis, de forma que se possa usar o material excedente disponibilizado pela floresta e manter as características do ambiente. O objetivo deste trabalho foi determinar e avaliar o crescimento de *Araucaria angustifolia* em povoamento natural, no município de Lages-SC. Foi utilizado o processo de amostragem sistemático com parcelas permanentes de 20 m x 20 m, obtendo-se os dados dendrométricos de DAP a partir de 10 cm, altura total e diâmetro de copa. Dessas árvores foram coletadas amostras não destrutivas para os estudos dendrocronológicos. As árvores foram divididas em dominantes e competidoras, sendo que a competição foi calculada por meio de índices de competição para todas as dominantes. As árvores apresentaram diâmetros entre 10 e 87,6 cm e alturas entre 5,3 e 21 metros. Para a viabilização da proposta de manejo foi calculada a distribuição de frequência por Meyer e o quociente de Liocourt, o qual apresentou valor de  $q' = 1,4$ . Com os dados de incremento por classe de DAP pode-se calcular a taxa de corte para a floresta, que apresentou um valor de 36,59 m<sup>3</sup>/ha para um ciclo de 25 anos. Foi utilizada a técnica de regressão pelos Modelos Lineares Generalizados, sendo que os melhores modelos encontrados foram os seguintes: Gama-identidade para as equações  $h = 7,4373 + 0,2077 * d$ ,  $Dc = 0,8523 + 0,2238 * d$ ,

$d = 1,5381 + 0,6591 * t$ ,  $t = 0,4412 + 1,5003 * d$  e o Normal-identidade para a equação  $inc = 0,1669 + 1,5003 * t$ . Os anéis de crescimento foram contados e, de acordo com as amostras, obtiveram-se recuos de idade de 13 a 62 anos. O incremento médio anual geral em diâmetro foi de 0,708 cm. Os dados indicam que a floresta necessita de intervenção, pois apresentam curvas de crescimento estabilizadas, indivíduos estagnados e senescentes o que indica que atingiram a capacidade máxima de produção.

**Palavras-chave:** modelos lineares generalizados, manejo florestal, floresta de araucária.

## ABSTRACT

RICKEN, Pollyni. **Increment, horizontal space and competition in natural population of *Araucaria angustifolia* in Santa Catarina plateau.** 2014. 105 f. Dissertation (Master in *Forest Engineering* – Area: *Forest Engineering*) – Santa Catarina State University. Forestry Engineering Graduate Program, Lages, 2014.

*Araucaria angustifolia* played a key role in economic and cultural development in southern Brazil. Despite the existence of legal instruments to prevent the exploitation of this species, its wood is still considered valuable, what makes possible dendrochronological research for forest management. These studies take an important role in trying to understand the structure and the dynamics of araucaria forest and allow future sustainable interventions so that the extra material provided by the forest can be used while maintaining environmental characteristics. The goal of this study was to determinate and evaluate the growth of *Araucaria angustifolia* in natural stand in the city of Lages-SC. A systematic sampling process was used with permanent plots of 20 m x 20 m, obtaining dendrometrical data of diameter at breast height from 10 cm, total height and canopy diameter. Nondestructive samples for dendrochronology studies were collected from these trees. The trees were separated in dominants and competitors. The competition was calculated by competition indexes for all dominants trees. The trees had diameters between 10 and 87.6 cm and heights between 5.3 and 21 meters. In order to make possible the management suggestion we calculated the frequency distribution for Meyer and the quotient of Liocourt which presented the value of  $q' = 1.4$ . With the increment for DAP's class we calculated the cut rate for the forest, obtaining a value of 36.59 m<sup>3</sup>/ha for 25-year cycle. The GLM was tested for several variables, and the best models found were the following: Gamma-identity for the equations  $h = 7,4373 + 0,2077 * d$ ,  $Dc = 0,8523 + 0,2238 * d$ ,  $d = 1,5381 + 0,6591 * t$ ,  $t = 0,4412 + 1,5003 * d$  and the Normal-identity for the equation  $inc = 0,1669 + 1,5003 * t$ . The growth rings were counted and, according to the sample, yielded decreases of 13-62 years. The overall mean annual increment in

diameter was 0.708 cm. The data indicated that the forest needs a intervention, because it presents stabilized growth curves, stagnant and senescent individuals, what indicates that they reached the maximum capacity of production.

**Keywords:** generalized linear models, forest management, araucaria forest.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa com a localização da área de estudo, no município de Lages, SC.....	43
Figura 2 - Imagem aérea da área de estudo, com destaque para as parcelas instaladas.....	44
Figura 3 - Vista geral do povoamento natural de <i>Araucaria angustifolia</i> . ....	45
Figura 4 - Distribuição diamétrica por posição na floresta, das árvores de Araucária em Lages, SC.....	53
Figura 5 - Frequência observada e estimada para o diâmetro máximo desejado de 40 cm, para um povoamento natural de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	54
Figura 6 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para altura em função do diâmetro para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	58
Figura 7 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo <i>Gama – identidade</i> . ....	59
Figura 8 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	60
Figura 9 - Área de copa dos indivíduos de 25 parcelas estudadas. ....	62
Figura 10 - Linha da correlação de Pearson entre incremento em diâmetro (IPAd) e os índices de competição.....	66
Figura 11 - Gráfico de superfície correlacionando área de copa com o incremento médio dos indivíduos e a distância entre as árvores de interesse.....	67
Figura 12 - Imagem aérea da área de estudo, com destaque para as parcelas instaladas.....	78
Figura 13 - Mapa da área de estudo, com destaque para a declividade do local e as árvores amostradas. ....	79
Figura 14 - Retirada dos rolos de incremento em árvores de pequeno diâmetro (A) e grande diâmetro (B). ....	80
Figura 15 - Amostras lixadas e prontas para marcação dos anéis de crescimento. ....	81
Figura 16 - Mesa de mensuração de anéis (Lintab 6) (A) e amostra sendo medida (B). ....	82

Figura 17 - Distribuição dos dados de incremento para o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.....	84
Figura 18 - Gráfico de resposta ao teste de Kruskal-Wallis para dados de crescimento entre as três classes de diâmetro.....	86
Figura 19 - Gráfico de resposta ao teste de Kruskal-Wallis para dados de crescimento nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste.....	88
Figura 20- Distribuição dos dados de diâmetro à altura do peito.....	89
Figura 21 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para diâmetro à altura do peito em função da idade para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	90
Figura 22 - Distribuição dos dados de idade.....	91
Figura 23 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para idade em função do diâmetro à altura do peito para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	92
Figura 24 - Distribuição dos dados de incremento.....	93
Figura 25 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para incremento em função da idade para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	94
Figura 26 - Crescimento em DAP para cada árvore dentro das três classes estudadas obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento. .	95
Figura 27 - Prospectiva de ingressos nas classes maiores após 20 anos.....	98
Figura 28 - Distribuição dos dados de incremento.....	101
Figura 29 - Distribuição dos resíduos para o MLG Normal - identidade para incremento em função do número de dias de precipitação e da umidade relativa para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de competição utilizados.....	48
Tabela 2 - Funções de ligação para os modelos lineares generalizados.	49
Tabela 3 - Classes de diâmetro, frequências observadas e estimadas, área basal, volume, número de árvores e área basal a remover para um diâmetro máximo desejado de 40 cm, para um povoamento natural de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.....	55
Tabela 4 - Determinação da taxa de corte sustentada para o povoamento natural de <i>Araucaria angustifolia</i> em 1 ha.....	56
Tabela 5 - Valores dos parâmetros e qualidade do MLG Gama - identidade para ajuste do crescimento de altura em função do diâmetro, para um povoamento natural de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, SC.	57
Tabela 6 - Valores dos parâmetros e qualidade dos MLG para ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito.....	59
Tabela 7 - Número de árvores por hectare de acordo com as variáveis morfométricas, em relação a cada diâmetro médio.....	61
Tabela 8- Valores dendrométricos das parcelas de interesse. ....	63
Tabela 9 - Estatística das médias, desvio padrão e limites mínimos e máximos dos índices de competição. ....	64
Tabela 10 - Correlação de Pearson para incremento periódico em diâmetro com índices de competição. ....	65
Tabela 11 - Estatística do teste de Kruskal-Wallis para comparação do crescimento entre as três classes diamétricas. ....	85
Tabela 12 - Estatística do teste de Kruskal-Wallis para comparação do crescimento entre os quatro lados de crescimento (Norte, Sul, Leste e Oeste). ....	87
Tabela 13 - Valores dos parâmetros e qualidade dos MLG para ajuste do diâmetro à altura do peito em função da idade.....	89
Tabela 14 - Valores dos parâmetros e qualidade dos MLG para ajuste da idade em função do diâmetro à altura do peito.....	91
Tabela 15 - Valores dos parâmetros e qualidade do MLG Normal - identidade para ajuste do incremento em função da idade. ....	93
Tabela 16 - Estatística das médias, desvio padrão e limites mínimos e máximos dos fatores climáticos. ....	99
Tabela 17 - Correlação de Pearson para incremento com fatores climáticos. ....	99

Tabela 18 - Valores dos parâmetros e qualidade do MLG para ajuste do incremento médio em função das variáveis climáticas. ..... 101

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MLG	Modelos Lineares Generalizados
h	Altura
DAP ou d	Diâmetro a altura do peito
Dc	Diâmetro de copa
t	Idade
inc	Incremento
DBH	<i>Diameter at breast height</i>
GLM	<i>Generalized Linear Models</i>
SC	Santa Catarina
IPA <sub>d</sub>	Incremento Periódico Anual em diâmetro
RJ	Rio de Janeiro
cm	Centímetros
mm	Milímetros
m	Metros
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
FOM	Floresta Ombrófila Mista
ha	Hectare
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
m <sup>2</sup>	Metros quadrados
N	Norte
S	Sul

L	Leste
O	Oeste
AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
IPA <sub>v</sub>	Incremento Periódico Anual em volume
a.a.	Ao ano
IC	Índice de competição
TSAP	<i>Time Series Analysis Program</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Epagri	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	21
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	23
<b>2 Araucaria angustifolia: ECOLOGIA, DENDROCRONOLOGIA E PERSPECTIVAS DE MANEJO.....</b>	26
2.1 INTRODUÇÃO .....	26
2.2 FUNDAMENTOS DA DENDROCRONOLOGIA .....	29
2.3 MANEJO SUSTENTÁVEL EM FLORESTA NATIVA .....	31
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	34
<b>3 TAXA DE CORTE SUSTENTADA E COMPETIÇÃO EM Povoamento natural de <i>Araucaria angustifolia</i> EM LAGES, SC .....</b>	37
<b>RESUMO .....</b>	37
<b>ABSTRACT .....</b>	38
3.1 INTRODUÇÃO .....	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	42
<b>3.2.1 Área de estudo .....</b>	42
<b>3.2.2 Coleta de dados.....</b>	44
<b>3.2.3 Análise dos dados .....</b>	49
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
<b>3.3.1 Dados gerais .....</b>	52
<b>3.3.2 Quociente de Liocourt e taxa de corte .....</b>	53
<b>3.3.3 Relação hipsométrica .....</b>	56
<b>3.3.4 Diâmetro de copa em relação ao DAP e densidade ideal .....</b>	59
<b>3.3.5 Competição .....</b>	61
3.4 CONCLUSÃO .....	67
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	68

<b>4 DENDROCRONOLOGIA E MODELAGEM DO CRESCIMENTO APLICADA AO ESTUDO DA <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze EM POVOAMENTO NATURAL NO MUNICÍPIO DE LAGES, SC.....</b>	74
<b>RESUMO .....</b>	74
<b>ABSTRACT .....</b>	75
<b>4.1 INTRODUÇÃO .....</b>	76
<b>4.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	78
<b>4.2.1 Área de estudo .....</b>	78
<b>4.2.2 Coleta de dados .....</b>	78
<b>4.2.3 Análise dos dados .....</b>	82
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	83
<b>4.3.1 Análise do incremento e crescimento anual em diâmetro .....</b>	83
<b>4.3.2 MLG - DAP em função da Idade .....</b>	88
<b>4.3.3 MLG - Idade em função do DAP .....</b>	90
<b>4.3.4 MLG – Incremento em função Idade .....</b>	92
<b>4.3.5 Incremento .....</b>	94
<b>4.3.6 Crescimento futuro .....</b>	97
<b>4.3.7 Variáveis climáticas .....</b>	98
<b>4.4 CONCLUSÃO .....</b>	102
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	103
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	105

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas naturais no mundo recobriam, em 2010, pouco mais de 4 bilhões de hectares ou 31% da área total da Terra, armazenando, na biomassa e no solo, mais de 650 bilhões de toneladas de carbono. Mais da metade dessas florestas encontra-se apenas em cinco países, sendo eles Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos e China (FAO, 2010). Essas florestas constituem habitats adequados para mais de 50% de todas as espécies animais e vegetais (SOUZA e SOARES, 2013).

O Brasil é um país predominantemente florestal. Apresenta grande cobertura vegetal nos mais variados ecossistemas, desde a floresta amazônica, cerrado, caatinga e mata atlântica. No ecossistema mata atlântica, a Floresta Ombrófila Mista presente principalmente nos estados do sul do país, apresentava uma vasta extensão com grande diversidade de espécies, muitas delas de grande potencial madeireiro, que por sua vez foram alvos de intensa exploração no passado. (STEPKA, 2012).

As florestas são fontes de diversos produtos naturais. Fornecem para o homem madeira, resinas, óleos essenciais, alimentos (frutos e sementes) e também são a origem de uma enorme diversidade de fármacos. Mas não basta utilizar a floresta de forma desenfreada, pois se pode chegar a um determinado ponto onde não há mais o que se retirar. Por isso, atualmente, existem estudos na área de manejo, para que através deles seja possível suprir as necessidades humanas e, ao mesmo tempo, manter os recursos da floresta e de continuidade da produção.

Souza e Soares (2013) falam que, para um recurso natural renovável ser sustentável, é necessário que a taxa de uso não seja maior do que a taxa de regeneração do recurso e que o fluxo de resíduos para o meio ambiente seja compatível com a sua capacidade de assimilação.

A *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural na região sul do Brasil. Apesar da existência de instrumentos legais que impedem a exploração dessa espécie, sua madeira é considerada valiosa e apresenta mercado comercial.

O gênero *Araucaria* possui 23 espécies distribuídas na Oceania, com apenas duas exceções: *Araucaria araucana* (Mol.) C. Koch., da Argentina e Chile; e *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze, do Brasil e Nordeste da Argentina (MATTOS, 2011).

Grandes maciços florestais de *Araucaria angustifolia* se encontram principalmente nos estados do Sul do Brasil. Mas também se faz presente em algumas microrregiões nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

A araucária está presente em diversos tipos de formação, sendo algumas delas: matas virgens, matas ciliares, capões ou capões de mata, capoeiras e vassourais.

As matas virgens ou primitivas que constituem as grandes regiões cobertas com esta espécie foram chamadas por Reitz e Klein (1966) de “matas pretas”. Esses autores, referindo-se à distribuição geográfica desta conífera em Santa Catarina, assim se expressam: “Em toda esta vasta área, o pinheiro emergia como árvore predominante, por sobre as densas e largas copas das imbuias, formando uma cobertura própria e muito característica. Precisamente, em virtude desta cobertura densa e do verde escuro das copas dos pinheiros, estes bosques são denominados pelos serranos, de mata preta”.

O início da exploração se deu com o estouro da Primeira Guerra Mundial (1914-1918), quando o Brasil ficou impossibilitado de comprar o pinheiro estrangeiro (pinheiro-de-riga, *Pinus sylvestris*). Em razão das sucessivas crises no setor erva-teiro, no Paraná, e da abertura do mercado externo para a exploração de madeira, principalmente o argentino, a exportação de madeira começou a tomar o lugar da erva-mate em arrecadação, tornando-se a principal fonte de renda econômica do Paraná (JARENKOW & BUDKE, 2009). A partir daí multiplicaram-se as serrarias, que foram adentrando para os estados do Sul através das rodovias e dos grandes empreendimentos ferroviários, como a estrada de Ferro São Paulo-Rio Grande (1906-1912), que foram suprimindo a floresta não apenas longitudinalmente, mas também paralelamente ao caminho dos trilhos. A sua exploração de forma intensa se deu a partir de 1934, alcançando o auge entre as décadas de 1950 e 1970 (MATTOS, 2011).

De acordo com Machado et al. (2008), além da araucária, outras espécies da Floresta Ombrófila Mista, como *Ocotea porosa* (Mez) L. Barroso e *Cedrela fissilis* Vell., também sofreram com a extração de recursos madeiráveis e com o processo de colonização e expansão das áreas agrícolas.

Bauermann e Behling (2009) falam que dados palinológicos das Florestas com Araucárias nas regiões Sul e Sudeste do Brasil demonstram o alto grau de perturbação a que essas florestas estão expostas devido à pecuária, à exploração de madeira e, atualmente, pela substituição

desmedida por essências florestais exóticas, como o *Pinus*. O comportamento de crescimento específico para cada povoamento ou região, aliado a integração com fatores selecionados do ambiente possibilita reconhecer e analisar características distintas da floresta, permitindo relacionar a capacidade produtiva do povoamento, bem como realizar o zoneamento (da produtividade, dos atributos da espécie, do solo e/ou relevo, do clima), possibilitando o desenvolvimento de ferramentas para tomada de decisão na intervenção nos povoamentos (HESS, 2006).

A avaliação do crescimento e incremento é um dos melhores procedimentos para se conhecer a dinâmica de uma floresta. Isso se dá, principalmente, pelo incremento diamétrico ou em área basal, que avalia o crescimento individual das árvores.

Durante muito tempo a exploração madeireira foi realizada sem manejo. Atualmente, mesmo com o conhecimento da necessidade da aplicação, uma área mínima é manejada levando em conta apenas a sustentabilidade da madeira e não todos os outros fatores que englobam a floresta, ficando a perpetuidade da floresta ameaçada. Segundo Rosot (2007), a falta de manejo nos fragmentos florestais abandonados contribui para o seu empobrecimento e degradação das áreas.

O entendimento da dinâmica da *Araucaria angustifolia* pode subsidiar ações de preservação desses ecossistemas, fornecendo resultados ímpares para o manejo dessas áreas.

Diante disto, a realização de estudos dendrocronológicos e de manejo florestal tem assumido um papel importante na tentativa de conhecer a estrutura e compreender a dinâmica da floresta de Araucária e ser subsídio para futuras intervenções sustentáveis da floresta, de forma que se possa usar o material excedente que a floresta disponibiliza mantendo o equilíbrio do ambiente.

## REFERÊNCIAS

- BAUERMANN, S. G.; BEHLING H. **Dinâmica paleovegetacional da Floresta com Araucária a partir do final do Pleistoceno: o que mostra a palinologia, p. 35-38.** In: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), *Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável*. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

EPAGRI. Mapoteca Topográfica Digital do Estado de Santa Catarina. **Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina.** 2004

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation. **Global Forest Resources Assessment 2010** – main report. FAO Forestry Paper. N. 163. Roma, Italia.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul.** 2006. 178f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

JARENKOW, J. A.; BUDKE, J. C. **Padrões florísticos e análise estrutural de remanescentes de Floresta com Araucária no Brasil**, p. 113-125. In: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), *Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável*. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. da; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, jan./jul. 2008, Colombo-PR.

MATTOS, J. R. de. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 608p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. In: REITZ, R. *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p.

ROSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária?. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 55, p. 75-85, jul./dez. 2007, Colombo-PR.

SOUZA, A. L. de; SOARES, C. P. B.. **Florestas Nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: UFV, 2013. 322 p.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de Araucaria angustifolia, Cedrela fissilis e Ocotea**

***porosa no sul do Brasil.*** 2012. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

## 2 *Araucaria angustifolia*: ECOLOGIA, DENDROCRONOLOGIA E PERSPECTIVAS DE MANEJO

### 2.1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* pertence à família Araucariaceae, e é uma espécie que não passa despercebida por quem passa pelos planaltos do Sul do Brasil. O tamanho de alguns indivíduos, a beleza e a arquitetura peculiar fazem dessas matas um ecossistema único (DILLENBURG et al., 2009). É conhecida popularmente por Pinheiro, Pinho, Pinheiro do Paraná, Pinheiro brasileiro, entre outros nomes (REITZ e KLEIN, 1966).

A região de ocorrência da araucária situa-se grande parte no planalto sul brasileiro. A região dos pinheirais do estado de Santa Catarina localizava-se no planalto, alcançando até o extremo oeste, onde se estende a grande zona basáltica. A área de pinheiral, neste estado, encontrava-se na formação Serra Geral (de 300 a 1.800 m de altitude) (MATTOS, 2011).

Segundo Mattos (2011), o estado do Paraná era o que apresentava a maior área coberta de araucária. O pinheiral cobria quase toda a região correspondente aos três planaltos paranaenses (pelo menos originalmente), com exceção de poucas regiões de campos entremeadas. Já no estado de São Paulo, os pinheirais localizavam-se em regiões com altitudes superiores a 700 m.

A *Araucaria angustifolia* ocorre de forma natural em regiões serranas e planaltos, situando-se numa altitude superior a 400 m, podendo chegar a 2.300 metros de altitude (WEBB et al., 1984; MÄHLER JUNIOR & LAROCCA, 2009; MATTOS, 2011). Mattos (2011) cita alguns exemplos da presença dessa espécie em lugares com elevadas altitudes, como no noroeste do estado do Rio Grande do Sul alcançando cerca de 1.800 m, no Morro da Igreja, em Urubici-SC, e Campos dos Padres, em Bom Retiro-SC, e cerca de 2.000 m, no Itatiaia, RJ. Na parte leste do Paraná, na Grande Curitiba, o pinheiro ocorre em cerca de 1.000 m de altitude.

As altitudes em que se encontra esta espécie têm muito a ver com as condições climáticas, pois quanto mais elevadas as altitudes, mais baixas são as temperaturas médias e extremas. Segundo Webb et al. (1984), ela é bastante resistente à geada e à seca. Embora não seja o ideal, ela tolera os climas quentes (MATTOS, 2011). Tolera também

umidade relativa alta, porém não se desenvolve bem em solos com umidade elevada.

Segundo Webb et al. (1984), o ideal para a espécie é uma média anual de chuvas entre 1.250 e 2.200 mm. A pluviosidade da área onde estão os pinheiros é de grande importância, pois, segundo Mattos (2011), nos anos em que ocorrem secas acentuadas é possível notar, principalmente nos terrenos secos de encostas, pinheiros com entrenós mais curtos do que os outros. A ocorrência de chuvas normais favorece o desenvolvimento das mudas jovens. O excesso, no entanto, prejudica o arejamento do solo junto às raízes e também pode fazer com que os pinhões que estão no chão apodreçam e não germinem.

A produtividade do pinheiro, considerada aparentemente normal, ocorre em ciclos. Segundo Mattos (2011), durante um ou dois anos o pinheiro apresenta uma produção abundante, reduzindo a produção gradativamente nos dois ou três anos seguinte.

A madeira da Araucária pode ser aproveitada para diversos usos. É uma madeira de grande valor comercial, pois é nobre e possui um aspecto muito atrativo. Nas regiões de ocorrência grande parte das construções rurais são feitas com essa madeira, desde casas até galpões e galinheiros, mediante pedido de licença ao órgão ambiental. Outro uso muito comum, principalmente nos estados do sul do Brasil, é como toras para fabricação de moirões que servem para cercar as propriedades rurais.

A madeira do pinheiro também pode ser empregada em usos mais comuns, como na fabricação de lápis, fósforos, palitos de dente, instrumentos de música, mobília, objetos de uso doméstico (rolo de massa, tábua de bater carne, tabua para churrasco, etc.), objetos escolares (molduras de quadros negros, régua), brinquedos, cabos de ferramenta, aberturas e adubo (grimpas, galhos, tocos e troncos caídos servem, após algum tempo, para a nutrição das plantas), caixas (abelha, verduras, acondicionar peças), lenha (galhos, casca) e também os nós de pinho podem ser aproveitados de diversas formas, como combustíveis, objetos de adorno e extração de produtos químicos (REITZ e KLEIN, 1966; MATTOS, 2011).

Mas, segundo Reitz e Klein (1966), o uso mais importante é o da madeira. Ela foi de importância básica na economia brasileira, sendo que no ano de 1964 a madeira ocupou o 4º lugar na pauta dos produtos brasileiros de exportação. Cerca de 90% dessa madeira exportada foi de araucária. Hoje, espécies exóticas como pinus e eucaliptos acabaram tomando o lugar das madeiras nativas.

A propagação dos indivíduos de araucária ocorre, na maioria das vezes, de forma natural. Essa disseminação pode acontecer em função da queda dos pinhões no solo ou através de animais. As gralhas (*Cianocorax coerulea*), juntamente com as cutias (*Dasyprocta azarae catrinae*), desempenham excelente trabalho de plantio de pinhões. Na época de maturação do pinhão elas utilizam a semente para comer e acabam escondendo algumas para consumo posterior. Mas muitos desses pinhões não são mais encontrados pelos animais, e após um tempo acabam germinando e formando novos indivíduos.

Segundo Mattos (2011), o vento é um fator climático considerado importante no desenvolvimento dos pinheiros, pois é ele que promove a polinização das Araucárias. Também é ele que, forte, em forma de tempestade, provoca a desramagem nos pinheiros de campo, prejudicando-os por provocarem o desenvolvimento dos nós de pinho. Portanto, a madeira perderá qualidade no futuro.

Na natureza, o pinheiro conta com um volume muito expressivo de adubo orgânico oriundo do húmus que se forma pela decomposição de detritos na superfície do solo: grimpas (com enorme volume), frutos, ramos secos, folhas de latifolhadas e fragmentos de casca que caem da sua copa (MATTOS, 2011). Quando alguma árvore morre e acaba caindo ao solo, sua decomposição acaba liberando nutrientes, melhorando a qualidade do solo devido a essa matéria orgânica que é introduzida no solo.

O sistema radicular da araucária é muito desenvolvido. Basta imaginar o tamanho das plantas que logo se comprehende a importância do papel que as raízes devem desempenhar. As raízes da araucária desempenham duas principais funções: nutrição e sustentação. A nutrição de um pinheiro com volume grande exige uma atividade maior por parte das raízes. Se essas raízes não se espalharem para poder ocupar uma área relativamente vasta, não poderão satisfazer, adequadamente, as necessidades da planta (MATTOS, 2011).

Segundo Reitz & Klein (1966), a araucária é uma espécie pioneira e heliófila. É considerada uma árvore alta, com 25 a 52 m de altura, com tronco cilíndrico, quase sempre reto. Apresentam diâmetros entre 1 e 1,5 metros, sendo que alguns indivíduos apresentam diâmetros maiores que dois metros (WEBB et al., 1984; MATTOS, 2011).

Os pinheiros mais novos apresentam ramificações, deixando a copa em uma forma piramidal. Esses ramos reduzem com o passar dos anos por desramagem natural, fazendo com que a copa das árvores mais velhas apresente forma de taça, com a copa no alto do tronco.

Nas matas velhas de araucária, principalmente nas “matas pretas”, como foram denominadas por Reitz e Klein (1966), é possível encontrar exemplares gigantescos do pinheiro, bem como de imbuia, canela e gameleira. Mattos (2011) em seus trabalhos cita alguns desses gigantes que encontrou em suas pesquisas: em Campos do Jordão, SP, uma araucária com 45 m de altura e outro com 52 m em São Joaquim, SC.

Em espessura, o mesmo autor encontrou indivíduos com 7,75 m, 7,55 m, 6,7 m e 6,26 m de circunferência em São Joaquim, SC. Reitz e Klein (1966) registraram notícia de um pinheiro, no município de São Lourenço, SC, com 8,5 m de circunferência. Além disso, na medida em que os indivíduos vão envelhecendo, a espessura da casca aumenta. Mattos (2011) encontrou indivíduos que atingiram 18 cm de espessura de casca.

Nesse contexto, a *Araucaria angustifolia* é uma espécie de grande interesse para estudos, pois ela apresenta anéis de crescimento com nítidos lenhos inicial e tardio, o que permite a determinação da idade da árvore.

## 2.2 FUNDAMENTOS DA DENDROCRONOLOGIA

As bases teóricas da dendrocronologia remontam ao século XVI, com Leonardo Da Vinci. Contudo, somente foi reconhecida como ciência no início do século XX, influenciada principalmente por Andrew Ellicott Douglass, um astrônomo norte-americano. Andrew foi pioneiro ao utilizar e desenvolver métodos para relacionar séries temporais de anéis de crescimento com fenômenos climáticos e astronômicos, reconstruir séries de crescimento milenares e datar madeiras arqueológicas (FRITTS, 1976).

O mesmo autor comenta que a sensibilidade das espécies arbóreas ao meio ambiente permite que alterações de temperatura, umidade, radiações solares, etc., fiquem registradas nos anéis de crescimento. Quando as árvores se desenvolvem em condições semelhantes ao longo de um período de anos elas acabam apresentando sincronismo na variação da largura dos seus anéis de crescimento, permitindo a datação cruzada.

Partindo de determinações desse nível, pode-se planejar a aplicação de métodos de manejo sustentado, com estudos sobre potencial de crescimento das espécies, na busca da perpetuidade de produção em quantidade e qualidade da madeira, bem como dos

produtos não madeiráveis disponibilizados pela floresta (SOUZA et al., 2009).

Em florestas nativas, a dendrocronologia auxilia no conhecimento da situação do povoamento. Esse estudo é importante para o entendimento da estrutura e da dinâmica da floresta (MATTOS et al., 2011), pois os dados obtidos através da dendrocronologia traduzem informações importantes sobre o crescimento da planta, como os anos favoráveis ao crescimento e os mais limitantes, entre outros (FRITTS, 1976). As informações obtidas possibilitam a determinação do ponto de máximo desenvolvimento da estrutura da espécie, facilitando a determinação de diâmetros limite de corte e taxas sustentáveis; estudo da estrutura diamétrica, dinâmica (incluindo inferências sobre a mortalidade e sobrevivência) em correlação e cruzamento com clima; estudos de competição; dinâmica histórica e os padrões de crescimento (MATTOS et al., 2011).

Spiecker (2002) ressalta a importância de se conhecer o crescimento das florestas para se estabelecer um manejo florestal sustentável, pois o conhecimento do crescimento da floresta não descreve apenas o potencial de produção em volume e as dimensões e qualidade da madeira produzida, mas é importante base para a compreensão das interações entre a floresta e o ambiente. Ressalta que os anéis revelam informações precisas sobre a reação do crescimento passado e as mudanças ambientais. Eles também possibilitam uma melhor compreensão da sensibilidade da espécie em determinado local às mudanças ambientais e promove informação dos riscos dessas mudanças. O autor afirma ainda que os anéis de crescimento dão base para a escolha da composição de espécies e da análise dos efeitos de idade no crescimento da floresta e efeitos de espaçamento e competição, além da análise dos anéis possibilitarem a melhora do controle da qualidade da madeira e contribuir para o manejo da eficiência de custos da floresta.

No Brasil já existem relatos na literatura de aplicação da dendrocronologia no manejo florestal. No Pantanal Matogrossense, Mattos et al. (2011) utilizaram a dendrocronologia para recuperar informações sobre o crescimento de espécies nativas e propor um protocolo para o uso sustentável dessas espécies, considerando a taxa de corte sustentável. Na região amazônica, Schongart (2008) enfatiza a importância do crescimento para orientar o manejo sustentável.

A dendrocronologia também é muito estudada no ecossistema mata atlântica. Na Floresta Ombrófila Mista várias espécies vêm sendo

foco de estudos nos últimos anos, incluindo a espécie interesse deste trabalho, a *Araucaria angustifolia* (STEPKA, 2012; MATTOS et al., 2007; OLIVEIRA, 2007; HESS, 2006). Segundo Mattos (2011), a araucária apresenta anéis de crescimento bem visíveis, que facilitam a contagem da idade.

## 2.3 MANEJO SUSTENTÁVEL EM FLORESTA NATIVA

A floresta é o recurso natural renovável mais valioso e versátil pelo qual a natureza proporciona à humanidade, simultaneamente, produtos e serviços econômicos, sociais, ambientais, culturais e científicos (SOUZA e SOARES, 2013).

Segundo Rosot (2007), o manejo florestal, em seu sentido mais amplo, pode ser definido como o conjunto de medidas tomadas em relação à floresta, principalmente de caráter silvicultural, visando a otimizar a produção de determinados bens e/ou serviços de forma sustentável ao longo do tempo.

Produção florestal sustentável é definida por Souza e Soares (2013) como o suprimento regular e contínuo de produtos e serviços a partir de florestas manejadas. Essa definição preconiza o equilíbrio entre colheita e produção, incluindo todos os produtos da floresta.

A gestão para produção sustentável deve sempre levar em conta o estágio em que a floresta se encontra. Se houver uma floresta em estágio médio de sucessão, ela pode não apresentar madeira comercial para serraria, mas pode estar sendo adequadamente manejada para aumentar e melhorar seu crescimento. No entanto, uma floresta em estágio avançado de sucessão, que apresenta madeiras maduras e de tamanhos (DAP e altura) adequados para serraria, pode ser manejada para oferecer fluxo contínuo de madeira, mantendo um crescimento contínuo dos indivíduos.

Desde a publicação da Resolução nº 278, de 24 de maio de 2001, que determina ao Ibama a suspensão de autorização para corte ou exploração de algumas espécies da FOM, entre elas a *Araucaria angustifolia*, ficou vedado todo e qualquer aproveitamento comercial dessa espécie, com a suspensão dos planos de manejo florestal em execução. Restringiu-se a produção de *Araucaria angustifolia* apenas à exploração do pinhão.

Segundo Mello et al. (2003), para que o manejo florestal possa ser permitido no futuro, estudos técnico-científicos deverão ser

realizados, indicando formas sustentáveis de utilizar tais recursos, sem riscos à biodiversidade.

Quando se tem como objetivo o manejo racional da floresta e dos recursos indiretos por ela mantidos, torna-se essencial o estudo da relação entre a capacidade produtiva de povoamentos florestais, atributos do solo e do relevo, i.e., do potencial produtivo e das principais limitações à produção de uma determinada área ou região, evitando a exaustão e degradação, na busca pela máxima produtividade sustentável, principalmente quando se referem às florestas nativas (JONAS, 2003).

O que se busca com o manejo das áreas nativas de *Araucaria angustifolia* é uma melhor utilização dessas florestas, visando a melhorar o crescimento e a qualidade da madeira e também a utilizar de maneira sustentável essas florestas.

Discutindo manejo florestal para produção sustentável de madeiras em florestas tropicais naturais, é possível utilizar uma parte da madeira que está em estoque na floresta sem comprometer a capacidade de renovação da floresta e sem alterar de maneira drástica sua estrutura.

Segundo Souza e Soares (2013), as florestas primárias possuem taxa de crescimento muito baixa quando comparadas com plantios de espécies de rápido crescimento no Brasil. O aumento no incremento desses indivíduos pode ser ativado por perturbações ou distúrbios de maior intensidade na estrutura das florestas primárias. As perturbações que mantêm a dinâmica de produção e de sucessão florestal são as formações de clareiras. As clareiras podem ser formadas por fatores bióticos e climáticos: quedas de galhos e de árvores de diversos tamanhos provocadas por morte natural, tombamento, raios, ventos e, sobretudo, por cortes de árvores para aproveitamento de madeira para diversos usos.

A prática de manejo com diferentes níveis de corte ou intensidades de corte imitam esses distúrbios naturais que modificam a estrutura da floresta. Portanto, um manejo bem realizado em florestas naturais pode auxiliar nos processos de dinâmica de crescimento e de sucessão florestal. Pode-se aplicar intensidade de corte mínima ou máxima na floresta. A mínima significa manter muito estoque na floresta e a máxima utilizar o máximo que a floresta disponibiliza. Aplicar intensidade de corte máxima é muito arriscado, pois pode comprometer a capacidade de renovação da floresta.

A base do manejo florestal é utilizar racionalmente a madeira excedente que existe na floresta, sem risco de exaustão das capacidades de produção e de sustentabilidade da produção florestal em longo prazo.

Ou seja, manter a produtividade e a qualidade da floresta. Segundo Braz et al. (2012), a sustentabilidade do manejo se baseia em conhecer o ritmo de crescimento individual das espécies e estudá-las em grupos de mesmo ritmo.

O conceito de manejo florestal fundamenta-se no fato de a floresta ser um recurso natural renovável e que, se manejada adequadamente, isto é, respeitando-se as restrições impostas pelos elementos dos meios bióticos, físico e socioeconômico, pode proporcionar de forma sustentável, para a humanidade, as funções de produção, suporte, informação e regulação (SOUZA e SOARES, 2013).

Segundo os mesmos autores, as florestas nativas do Brasil são bens de interesse comum a todos os habitantes do país e um dos mais valiosos patrimônios que a natureza legou à humanidade. O manejo sustentável pode concomitantemente conservar as funções das florestas e proporcionar benefícios econômicos e sociais.

Austregésilo et al. (2004) também enfatizaram a importância de realizar estudos em florestas com o propósito de propiciar o conhecimento e a manutenção da biodiversidade, além de viabilizar a exploração de seus produtos, bens e/ou serviços de forma planejada e racional, garantindo o fluxo contínuo desses recursos. Devido à exploração intensa e sem planos de manejo adequados nas áreas, as matas no Brasil acabaram se fragmentando.

Pode-se planejar a aplicação de métodos de manejo sustentado, com estudos sobre potencial de crescimento das espécies, na busca da perpetuidade de produção em quantidade e qualidade da madeira, bem como dos produtos não madeiráveis disponibilizados pela floresta (SOUZA et al., 2009).

Nesse sentido, Brien e Zuidema (2006) falam que os anéis de crescimento são apresentados como uma ferramenta para avaliar as práticas de manejo. Os mesmos autores também comentam que em muitos países tropicais existem regulamentos de manejo florestal para exploração madeireira. Eles prescrevem um diâmetro mínimo de corte para as espécies e um ciclo de corte que permita a recuperação do volume de madeira retirado.

Para isso é importante conhecer e avaliar o crescimento dos indivíduos, pois a partir desses dados é possível inferir sobre o ritmo de crescimento de cada espécie e, consequentemente, obter valores mais precisos nas taxas de corte e diâmetro de corte, tornando assim as práticas de manejo mais eficientes, considerando cada indivíduo ou espécie.

Sendo assim, estudos com a *Araucaria angustifolia* poderiam surtir resultados de grande interesse, principalmente para os pequenos produtores, pois além de ter um crescimento satisfatório, mesmo em condições suprimidas, com um manejo adequado ela seria de grande rentabilidade para esses produtores.

## REFERÊNCIAS

- AUSTREGÉSILLO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da; SOUZA, A. L. de; MEUNIER, I. M. J; SANTOS, E. S. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Estacional Semidecidual secundária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.
- BRAZ, E. M.; SCHNEIDER, P. R.; MATTOS, P. P. de; SELLE, G. L.; THAINES, F.; RIBAS, L. A.; VUADEN, E. Taxa de corte sustentável para manejo das florestas tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 137-145, 2012.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 256-267, 2006.
- DILLENBURG, L.; FRANCO, A. M. S.; COUTINHO, A. L., KÖRNDORFER, C. L.; CLEBSCH, C. C.; DUARTE, L. S.; FERLA, L.; ROSA, L. M. G.; SILVA, L. G. R.; GARBIN, M. L.; MÓSENA, M.; ZANDAVALLI, R. B.; YAMASAKI, S. **Aspectos ecofisiográficos da regeneração de Araucaria angustifolia**, p. 57-65. In: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), *Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável*. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.
- FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 576p.
- HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

JONAS, L. O. **Emprego de geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo.** 2003. 220 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MÄHLER JUNIOR, J.K.F.; LAROCCA, J. F. **Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária**, p. 243-252. In: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), *Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável*. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

MATTOS, J. R. de. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 608p.

MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. de. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Colombo: Embrapa Florestas; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 218); (Embrapa Pantanal. Documentos, 112).

MATTOS, P. P. de; SANTOS, A. T. dos; OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSOT, M. A. D. **Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR**. Colombo, PR: Pesquisa Florestal Brasileira, jan./jun. 2007. n. 54, p 153-156 (PFB. Notas Científicas).

MELLO, A. A.; EISFELD, R. L.; SANQUETTA, C. P. Projeção diamétrica e volumétrica da araucária e espécies associadas no sul do Paraná, usando matriz de transição. **Revista Acadêmica agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.4, p.55-66, out./dez., 2003.

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

REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. In: REITZ, R. *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p.

ROSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 55, p. 75-85, jul/dez 2007, Colombo-PR.

SCHONGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian varzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p.46–58, 2008.

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

SOUZA, A. L. de; SOARES, C. P. B.. **Florestas Nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: UFV, 2013. 322 p.

SPIECKER, H. Tree rings and forest management in Europe. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 191-202, 2002.

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.

WEBB, D. B.; WOOD, P. J.; SMITH, J. P.; HENMAN, G. S. **A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1984. 256p. (Tropical Forestry Papers, 15).

### 3 TAXA DE CORTE SUSTENTADA E COMPETIÇÃO EM Povoamento natural de *Araucaria angustifolia* EM LAGES, SC

#### RESUMO

A presença de indivíduos de *Araucaria angustifolia* é uma característica marcante na Floresta Ombrófila Mista, que é uma das formações florestais do Estado de Santa Catarina. A araucária desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural na região Sul do Brasil. O objetivo principal deste trabalho foi propor intervenção de manejo com base no incremento da espécie, densidade e índices de competição utilizando-se o quociente de Liocourt, para *Araucaria angustifolia* em um povoamento natural no município de Lages-SC, bem como ajustar equação para relação hipsométrica ( $h/d$ ) e para diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito utilizando a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (MLG). Para tanto foram instaladas 35 unidades amostrais permanentes de 20m x 20m, totalizando 1,4 ha de amostragem. Foram obtidos dados dendrométricos de todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito a partir de 10 cm. As árvores foram divididas em dominantes e competidoras. A competição foi testada por meio de índices de concorrência para todas as árvores dominantes. As árvores apresentaram diâmetros entre 10 e 87,6 cm e alturas entre 5,3 e 21 metros. A distribuição diamétrica comportou-se conforme o esperado para florestas nativas, gerando uma curva de distribuição em J-invertido. O valor do quociente de Liocourt encontrado foi de 1,4. Com os dados de incremento por classe de DAP foi calculada a taxa de corte para a floresta, que apresentou um valor de 36,59 m<sup>3</sup>/ha para um ciclo de 25 anos. Na relação hipsométrica e na relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro a altura do peito, a equação que melhor se ajustou aos dados foi a Gama-identidade. Os dados de competição indicaram que os indivíduos estão investindo mais no crescimento em altura do que em DAP.

**Palavras-chave:** quociente de Liocourt, relação hipsométrica, floresta de Araucária.

**ABSTRACT**

The presence of individuals of *Araucaria angustifolia* is a striking feature in the Mixed Tropical Rainforest, which is one of the forest formations of the State of Santa Catarina. The Araucaria played a key role in economic and cultural development in Southern Brazil. The main goal of the present study was to suggest management intervention based on increased species, density and competition indexes using the Liocourt's quotient for *Araucaria angustifolia* in a natural stand in the city of Lages-SC, so as to adjust an equation for hypsometric relation (h/d) and for canopy diameter as function of the diameter at breast height using the technique of Generalized Linear Models (GLM). We used 35 permanent sample plots of 20m x 20m, totaling 1.4 ha. Dendrometric data of all individuals with diameter at breast height from 10 cm were obtained. The trees were divided into dominant and competing. The competition was tested by competitive rates for all dominant trees. The trees had diameters between 10 and 87.6 cm and heights between 5.3 and 21 meters. Diameter distribution behaved as expected for native forest, creating a distribution curve in J-inverted. The value of the Liocourt's quotient found was 1.4. With the increment data for DAP class the cut rate for the forest was calculated, presenting a result of 36.59 m<sup>3</sup>/ha for a 25-year cycle. Concerning the hypsometric relation and the relation between canopy diameter and diameter at breast height, the equation that best adjust the data was the Gamma-identity. The competition data indicated that individuals are investing more in height growth than in DBH.

**Keywords:** Liocourt's quotient, hypsometric relation, Araucaria forest.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Entre as formações florestais do Estado de Santa Catarina encontra-se a Floresta Ombrófila Mista (FOM), que é caracterizada pela presença de indivíduos de *Araucaria angustifolia*, que formam uma cobertura muito característica. Abaixo do dossel existe um grande número de outras espécies arbóreas, principalmente das famílias Myrtaceae e Lauraceae (Nascimento et al., 2001) e elevada densidade de pteridófitas arborescentes (*Dicksonia sellowiana* Hook. e *Alsophylla* sp.) e de taquara (*Merostachys* sp.) (Negrelle & Silva, 1992).

A Floresta Ombrófila Mista apresenta alto índice de exploração. As áreas cobertas por araucária primitivamente ocupavam uma extensão de 7,5 milhões de hectares. Atualmente, no Brasil, essas florestas estão restritas quase na totalidade a áreas protegidas, que totalizam cerca de 20 mil hectares (Britez et al., 1992).

O crescimento da floresta ao longo de um determinado período é dado pela atividade das árvores vivas. No entanto, seu somatório não reflete o crescimento da floresta como um todo, pelo fato de existirem árvores que morrem, quebram ou são recrutadas no período de crescimento (HUNT et al., 2002). O crescimento das árvores, mais convenientemente medido pelo incremento da circunferência ou diâmetro à altura do peito, é de grande interesse para o estudo da dinâmica florestal.

A estrutura diamétrica de uma floresta é a distribuição do número de árvores, por hectare e por classe de DAP, por espécie ou por grupo de espécies. Segundo Souza e Soares (2013) a distribuição diamétrica é utilizada para caracterizar tipologias vegetais (formações florestais, formações campestres etc.), estágios sucessionais (inicial, médio, secundário avançado e primário ou clímax), estados de conservação, regimes de manejo, processos de dinâmicas de crescimento e produção, grupos ecológicos de espécies (pioneer, secundária inicial, secundária tardia e clímax), grupos de usos (comercial, potencial, outros) e, enfim, é empregada como guia de corte e, sobretudo, como verificador de sustentabilidade ambiental de manejo.

Conhecer o padrão de crescimento da floresta ou de uma espécie florestal traduz-se em benefícios ambientais, sociais e econômicos pela aplicação das técnicas mais adequadas ao manejo florestal, considerando as especificidades de cada caso. Conseguir expressar matematicamente o crescimento de variáveis dendrométricas de uma espécie no tempo e, se possível, agregando a variáveis

ambientais, reflete a capacidade de administrar florestas em função das necessidades do homem e mais bem ainda sua habilidade de não depredar o meio ambiente (HESS, 2006).

A definição proposta por Schimidt (1977) diz que a relação hipsométrica é a regressão da altura sobre o diâmetro em um povoamento em determinada data, podendo ser representada por um ajuste matemático. Essa relação é comumente simbolizada por “h/d” e denominada de relação hipsométrica.

Em inventários de florestas equiâneas, por serem povoamentos homogêneos, é comum que sejam medidas apenas algumas alturas e que as demais sejam estimadas. Já nos povoamentos inequiâneos, que é o caso das florestas nativas, normalmente são medidas todas as alturas, pois nesses ambientes existe uma elevada diferença entre os indivíduos, o que pode ocasionar alta heterogeneidade na relação hipsométrica e uma baixa acurácia das equações geradas se não forem medidos todos os indivíduos (ANDRADE et al., 2006).

Paula et al. (2004) descreveram que a distribuição diamétrica é uma das ferramentas utilizadas para a compreensão da sucessão. Segundo Siminski et al. (2004), é possível fazer uma avaliação prévia de condições dinâmicas da floresta através da distribuição diamétrica, permitindo assim previsões futuras quanto ao desenvolvimento da comunidade vegetal.

De acordo com Sanquetta et al. (1995), a projeção da estrutura diamétrica no tempo é de real importância para o manejo das florestas naturais, pois a partir dos diâmetros futuros pode-se estimar as produções e definir as intervenções que assegurem a sustentabilidade das mesmas.

Além disso, tendo como base a estrutura diamétrica, é possível identificar nas classes aquela que apresenta déficit ou superávit de árvores.

Os estudos relacionados com a estrutura diamétrica de florestas multiâneas ou inequiâneas datam de 1898, na França. F. de Liocourt (MEYER, 1933, 1952; LOETSCH et al., 1973) conceituou a distribuição do número de árvores por hectare e por classe de diâmetro. De Liocourt, comparando o número de fustes de sucessivas classes diamétricas, encontrou uma razão ( $q$ ) constante para o povoamento florestal em estudo, chamada de quociente de *De Liocourt*. O termo floresta balanceada foi utilizado por Meyer (1933) para denominar a estrutura de povoamentos florestais inequiâneos, em que o número de

árvore em sucessivas classes diamétricas decrescia numa progressão geométrica constante, i.e., à razão ( $q$ ) constante (Souza e Soares, 2013).

Ainda dentro desse contexto, alguns autores (ASSMANN, 1970; VALE, 1977; STERBA, 2004; SOUZA et al., 2006; HESS, 2012, SOUZA e SOARES, 2013) salientaram também que a curva de distribuição de diâmetros dos indivíduos arbóreos de uma floresta inequínea apresenta uma distribuição exponencial negativa, assemelhando-se a forma de J-invertido, sendo que nas classes de diâmetro menores se encontram a maior quantidade de indivíduos.

Por determinar a forma da curva da distribuição diamétrica, o quociente “ $q$ ” de Liocourt permite também fazer inferências sobre o recrutamento e a mortalidade em comunidades vegetais (FELFILI e SILVA JUNIOR, 1988), pois segundo Alves Junior et al. (2010), se houver uma razão constante entre as classes, a taxa de recrutamento é similar à taxa de mortalidade, e a distribuição pode ser considerada regular ou equilibrada.

A filosofia principal do manejo sustentável dessas florestas preceitua que essa distribuição assegure a continuidade de ciclos de colheitas econômico e ecologicamente exequíveis e que mantenha a capacidade de sustentação das produções futuras, como também a renovação do recurso florestal (Souza e Soares, 2013).

Os mesmos autores salientam que quaisquer que sejam os objetivos do manejo sustentável, a estrutura diamétrica adequada é aquela que apresenta número decrescente de árvores por sucessivas classes de DAP. Mantida esta distribuição, haverá número suficiente de árvores por classes diamétricas para compensar os efeitos da mortalidade natural e suprir árvores para cortes seletivos.

Em muitos estudos estatísticos, quer sejam de natureza experimental ou observacional, apresentam-se problemas cujo objetivo principal é o de estudar a relação entre variáveis ou, particularmente, analisar a influência que uma ou mais variáveis explicativas, medidas em indivíduos ou objetos, têm sobre uma variável de interesse, denominada de variável resposta (TURKMAN e SILVA, 2000).

Com o desenvolvimento computacional ocorrido na década de 1970, alguns modelos que exigiam a utilização de processos iterativos para a estimativa dos parâmetros começaram a ser mais aplicados. Todavia, a proposta mais interessante e inovadora no assunto foi apresentada por Nelder e Wedderburn (1972), que propuseram os Modelos Lineares Generalizados (MLG). A ideia básica consistiu em abrir o leque das opções para a distribuição da variável resposta,

permitindo que a mesma pertença à família exponencial de distribuições, bem como dar maior flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear  $\eta$  (PAULA, 2010).

O incremento dos povoamentos é a chave do manejo, pois segundo Hess (2012), mesmo não realizando a retirada de indivíduos, a floresta de Araucária corre risco de perda de diversidade, pela forma como é utilizada, comprometendo sua sobrevivência e seu crescimento.

A competição pode ser dita como o efeito negativo no crescimento da árvore em virtude de outras a seu redor, que competem pelos mesmos fatores necessários ao crescimento. Os índices de competição, que podem ser dependentes ou não da distância, vão quantificar essa competição.

Assim, os objetivos deste estudo foram calcular a taxa sustentável de corte, fazendo o manejo da densidade em um povoamento natural de *Araucaria angustifolia*, através da medição de parâmetros dendrométricos e morfologia da árvore; utilizar a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) para ajustar modelos matemáticos para o crescimento em altura em função da covariável diâmetro e para o diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito; e também avaliar a influência da competição no crescimento da *Araucaria angustifolia*.

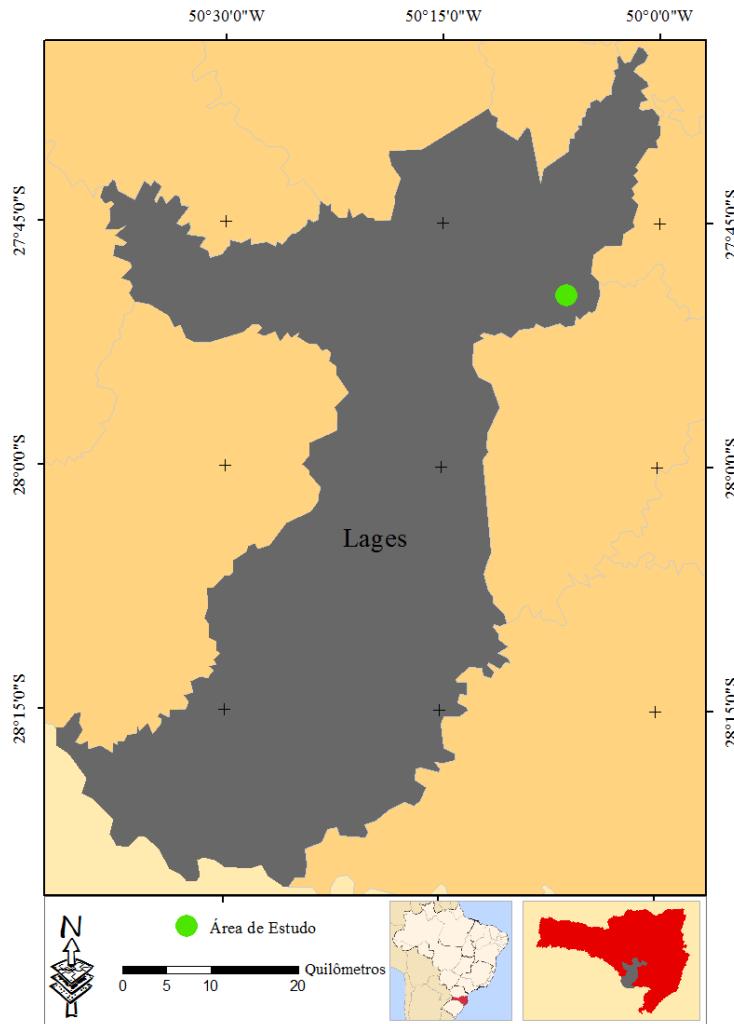
## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Área de estudo

A área de estudo é um povoamento natural de *Araucaria angustifolia* localizada no município de Lages/SC (Figura 1), em altitude de 1.200 m, e área total de 84 ha. As coordenadas do local são 27°49'27"S e 50°06'23"O.

A região é classificada segundo Köeppen como clima Cfb, temperado constantemente úmido, com verão, sem estação seca. A temperatura média anual varia de 13,8 °C a 15,8 °C. A precipitação pluviométrica total anual pode variar de 1.360 mm a 1.600 mm e a umidade relativa do ar varia de 80% a 83% (Epagri, 2002).

Figura 1 - Mapa com a localização da área de estudo, no município de Lages, SC.



Fonte: EPAGRI 2013, modificado por Ricken, P. (2014).

A região tem como principais atividades econômicas a agricultura de subsistência, a pecuária intensiva e a coleta de pinhões nas épocas de frutificação da araucária. Durante as visitas na área para

coleta de dados, foi verificado um número muito reduzido de indivíduos regenerantes de araucária e também um baixo número de indivíduos de outras espécies.

### 3.2.2 Coleta de dados

No levantamento de dados foram mensuradas 424 árvores. Foi realizado um inventário sistemático com parcelas de 400 m<sup>2</sup>, espaçamento entre parcelas de 50 m e entre linhas de 100 m (Figura 2) e coletados dados dendrométricos e morfométricos dos indivíduos.

Figura 2 - Imagem aérea da área de estudo, com destaque para as parcelas instaladas.



Fonte: Google Earth 2013, modificado por Ricken, P. (2014).

No total foram instaladas 35 parcelas, totalizando 1,4 ha de amostragem, sendo que em cada parcela foram mensurados todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) a partir de 10 cm. Também foi realizado o georeferenciamento dos indivíduos dominantes e de suas competidoras, através do método de posicionamento absoluto. A Figura 3 mostra uma imagem da área estudada.

Figura 3 - Vista geral do povoamento natural de *Araucaria angustifolia*.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Para avaliar a intensidade amostral da área e saber o número de parcelas suficientes que deveriam ser medidas para que represente toda a área, foi utilizada a seguinte equação (SANQUETTA et al., 2009):

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2}$$

Sendo:

$n$  = número de unidades amostrais a ser medido;

$t$  = valor de  $t$  de student tabelado;

$s_x^2$  = variância;

$E = (LE * \bar{x})$ ,  $LE$  = limite do erro de amostragem admitido,  $\bar{x}$  = média aritmética dos valores observados.

O *status* de dominantes foi indicado para aquelas árvores que apresentavam maior DAP dentro de cada parcela e as competidoras foram consideradas aquelas em que a copa pertencia à mesma área onde estava a copa do indivíduo dominante e as demais foram denominadas como outras.

A árvore de maior diâmetro dentro de cada parcela foi considerada a dominante e a partir dela foram medidas, com Trupulse, as distâncias até as competidoras. Foram também obtidas medidas de

altura total, diâmetro de copa, em quatro raios, considerando cada raio como a distância do tronco até o ponto extremo da projeção da copa. Os raios de copa foram determinados com auxílio de bússola e medidos nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste.

Procedida a coleta de dados em campo, os indivíduos foram divididos em classes diamétricas, com intervalos de classe de 5 cm, do menor ao maior valor de DAP, com a finalidade de calcular o quociente “q” de Liocourt para a avaliação da estrutura diamétrica e proposição do manejo para conversão em floresta balanceada da Floresta com Araucária.

Além do cálculo pelo método de Liocourt do número de árvore a retirar, foi também realizado o cálculo do volume, que nos indica, a partir de um ciclo de corte determinado, a intensidade de corte e a taxa de corte sustentável que pode ser realizado na área.

Foi também utilizada a técnica de regressão pelos modelos lineares generalizados, para ajuste da altura em função do diâmetro e para ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito.

As variáveis dendrométricas e morfométricas obtidas de todas as árvores foram:

- *Identificação da árvore*: cada indivíduo foi marcado com uma plaqueta de alumínio com numeração ordinal, sendo essas plaquetas fixadas na base das árvores com um prego.
- *Diâmetro à altura do peito (DAP)*: com o auxílio de uma sutra foram obtidos os valores de DAP de todos os indivíduos, acima de 10 cm, de cada parcela.
- *Altura total (h)*: medida com o aparelho Trupulse.
- *Distância entre a árvore dominante e suas competidoras*: essas distâncias foram também obtidas com o auxílio do aparelho Trupulse.
- *Raio de copa médio (rc)*: foram tomadas as medidas dos quatro pontos cardinais (Norte, Sul, Leste e Oeste) das árvores dominantes e também das competidoras, com o auxílio da bússola e do aparelho Trupulse. Considerando cada raio como a distância do tronco até o ponto extremo da projeção da copa. Com as quatro medições, fez-se uma média, sendo definido o raio de copa médio da árvore:

$$\bar{rc} = \sum_{i=1}^{n=8} \frac{rc}{4}$$

Sendo que:  $rc$  = raios da copa, em metros.

- *Diâmetro da copa (Dc)*: o diâmetro da copa foi calculado pela duplicação do valor do raio médio da copa:

$$Dc = 2 \cdot \bar{rc}$$

Sendo que:  $rc$  = raio da copa médio, em metros.

- *Área de projeção de copa (Ac)*: calculada utilizando os raios médios de copa:

$$Ac = \pi \cdot \bar{rc}^2$$

Sendo que:  $rc$  = raio da copa médio, em metros.

- *Número potencial de árvores por hectare para cada área de projeção de copa (NP)*: calculada utilizando os raios médios de copa:

$$NP = \frac{10.000}{Ac}$$

Sendo que:  $Ac$  = área de projeção da copa, em metros quadrados.

- *Índice de Saliência (IS)*: calculada pela razão entre o diâmetro de copa e o diâmetro a altura do peito:

$$IS = \frac{Dc}{DAP}$$

Sendo que:  $Dc$  = diâmetro da copa, em metros e  $DAP$  = diâmetro a altura do peito, em centímetros.

- *Grau de esbeltez (GE)*: calculada pela razão entre o diâmetro de copa e a altura:

$$GE = \frac{Dc}{h}$$

Sendo que:  $Dc$  = diâmetro da copa, em metros e  $h$  = altura, em metros.

- *Espaço vital (ev)*: calculada pela equação:

$$ev = GE * h_{dom}$$

Sendo que:  $GE$  = grau de esbeltez e  $h_{dom}$  = altura dominante, em metros.

- *Número potencial de árvores por hectare em relação ao espaço vital (N)*: calculada pela equação:

$$N = \frac{10.000}{ev^2}$$

Sendo que:  $ev^2$  = espaço vital da árvore, em metros quadrados.

A quantificação da competição experimentada por cada árvore foi avaliada através de sete índices, todos eles dependentes da distância, para cada árvore dominante. A Tabela 1 mostra os índices de competição utilizados. Nestes índices, árvores sem efeito de competição apresentam valores zero e um aumento no valor do índice indica aumento da pressão de competição que as árvores competidoras exercem sobre a árvore dominante.

Tabela 1 - Índices de competição utilizados.

Índices	Fórmula	Autor
IC1	$\sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{d_j}{d_i} \right) * \arctan \left( \frac{d_j}{Dist_{ij}} \right) \right]$	
IC2	$\sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{h_j}{h_i} \right) * \arctan \left( \frac{h_j}{Dist_{ij}} \right) \right]$	Rouvinen e Kuuluvainen
IC3	$\sum_{j=1}^n \arctan \left( \frac{h_j}{Dist_{ij}} \right)$	
IC4	$\sum_{j=1}^n \arctan \left( \frac{d_j}{Dist_{ij}} \right)$	
IC5	$\sum_{j=1}^n \left[ \frac{h_j}{(h_i * Dist_{ij})} \right]$	Onheimb et al.
IC6	$\sum_{j=1}^n \left[ \frac{d_j}{(d_i * Dist_{ij})} \right]$	Hegyi
IC7	$\sum_{j=1}^n \left[ \frac{d_j}{(d_i * Dist_{ij}^{0.5})} \right]$	Hegyi; p.e Sabatia e Burkhart

Sendo: d = diâmetro a altura do peito; h = altura total; Dist = distância horizontal; n = todas as árvores vizinhas consideradas competidoras; i = i-ésima árvore objetivo; j = j-ésima árvore competidora. Fonte: CUNHA, 2013.

### 3.2.3 Análise dos dados

Para ajuste do modelo matemático para o crescimento em altura em função da covariável diâmetro utilizou-se os modelos lineares generalizados (MLGs). Os ajustes dos modelos foram realizados no Sistema de Análise Estatística SAS V. 9.3 (SAS Institute Inc., 2004).

Nos MLG a situação experimental é expressa por uma variável aleatória  $Y$  de interesse, denominada variável resposta ou dependente e um vetor  $x = (x_1, \dots, x_k)^T$  de variáveis explicativas designadas por covariáveis ou variáveis independentes que acredita-se explicar parte da variabilidade inerente a  $Y$  (TURKMAN e SILVA, 2000).

Assume-se que se têm dados da forma  $(y_i, x_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , resultantes da realização de  $(y, x)$  em  $n$  unidades ou indivíduos experimentais, sendo as componentes  $(Y_i)$  do vetor aleatório  $Y = (Y_1, \dots, Y_n)^T$  independentes.

Os modelos lineares generalizados são uma extensão do modelo linear clássico (Equação 1) onde  $Z$  é uma matriz de dimensão  $\eta \times p$  de especificação de modelo (em geral a matriz de covariáveis  $X$  com um primeiro vetor unitário), associada a um vetor  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p)^T$  de parâmetros e  $\epsilon$  é um vetor de erros aleatórios com distribuição  $N_n(0, \sigma^2, I)$ .

$$Y = Z\beta + \epsilon$$

Os MLG foram testados nos três campos aleatórios, Normal, Poisson e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica (Tabela 1). Sendo a equação geral do MLG a seguinte:

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x$$

Tabela 2 - Funções de ligação para os modelos lineares generalizados.

Funções de ligação	Formulação
Identidade	$\mu$
logarítmica	$\ln(\mu)$

Fonte: Ricken, P. (2014).

Na seleção do melhor modelo de regressão levou-se em consideração o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos definidos pela função desvio, que é uma distância entre o logaritmo da função de verossimilhança do modelo saturado (com  $n$  parâmetros) e do modelo de investigação (com  $p$  parâmetros) avaliado na estimativa de máxima verossimilhança  $\hat{\beta}$ . Um valor pequeno para a função de desvio indica que, para um número menor de parâmetros, obtém-se um ajuste tão bom quanto o ajuste com o modelo saturado (PAULA, 2010).

Outro critério de seleção possível para os MLG, citado em Turkman e Silva (2000), é o critério de informação de Akaike (AIC), o qual é baseado na função log-verossimilhança, com a introdução de um fator de correção como modelo de penalização da complexidade do modelo. A estatística AIC é amplamente utilizada para selecionar o melhor modelo entre os modelos paramétricos alternativos. O procedimento de seleção do modelo AIC mínimo pode ser interpretado como uma maximização da entropia esperada (AKAIKE, 1981). Um valor baixo para o AIC é considerado representativo de um melhor ajustamento, tendo como objetivo a minimização desse valor.

Para comparação dos modelos também foi utilizado o Critério de Informação Bayesiano (BIC), que consiste na escolha do modelo que apresentar o menor valor de BIC.

A análise de resíduos também foi utilizada como critério de seleção. Ela é útil para a avaliação da qualidade de ajustamento de um modelo no que diz respeito à escolha da distribuição, da função de ligação e em termos do preditor linear, como também para ajudar a identificar observações mal ajustadas, *i.e.*, que não são bem explicadas pelo modelo.

Segundo Santos et al. (2012), a tendência de super ou subestimar as estimativas pode ser determinada pela distribuição não uniforme dos dados ao longo da reta que corresponde ao resíduo zero. Esta análise é feita levando em consideração a equação, utilizada para obter os valores dos resíduos em sua forma relativa:

$$e = \left( \frac{\bar{Y}_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) * 100$$

Sendo:

$e\%$  = resíduo;

$\bar{Y}_i$  = valores reais observados

$\hat{Y}_i$  = valores estimados pela equação.

Determinadas as classes diamétricas, foram ajustados os dados de frequência por classe de diâmetro a partir da função de distribuição de Meyer linearizada:

$$\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

Sendo:

$\ln y_i$  = logaritmo natural da média da frequência por classe de diâmetro, amplitude de 5 cm, por hectare;

$X_i$  = centro de classe de diâmetro;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  = coeficientes que expressam a estrutura da vegetação em relação à distribuição dos diâmetros;

$\varepsilon_i$  = erro aleatório.

Com base na função de distribuição ajustada, foi obtido o quociente “q” por meio da seguinte equação:

$$q = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_i)}}{e^{(\beta_0 + \beta_1 X_{i+1})}}$$

Nela se utiliza a razão entre as frequências de uma classe de diâmetro qualquer ( $X_i$ ) pela frequência imediatamente acima ( $X_{i+1}$ ).

Utilizando ajuste de equação do trabalho de HESS et al. (2010), pode ser calculado o volume. A equação de volume e seus parâmetros estatísticos são mostrados a seguir:

$$V = 0,0071 + 0,00005 * d^2 + 0,00003 * d^2 * h + 0,00004 * d * h^2 - 0,0006 * h^2$$

Sendo:

$V$  = volume em metros cúbicos;

$d$  = diâmetro à altura do peito em centímetros;

$h$  = altura total em metros.

Com  $R^2$ aj. de 0,99, erro padrão de 0,0254, coeficiente de variação de 4,16% e valor F de 26277,8 (HESS, 2006).

Sendo que para o cálculo do volume inicial os valores de diâmetro foram regredidos, e as alturas foram obtidas através do modelo Gama-identidade  $h = 7,4373 + 0,2077 * d$ . Após o cálculo dos volumes dos indivíduos de araucária foi calculado o incremento periódico em volume no período de 10 anos de cada indivíduo e transformado em valor percentual, obtendo-se assim o incremento

periódico anual percentual em volume (IPAv%), segundo a equação (BRAZ et al, 2012):

$$IPAv\% = \left( \frac{IP}{V1} \right) * \frac{100}{n}$$

Sendo:

$IPAv\%$  = incremento periódico anual percentual em volume;

$IP$  = incremento periódico (Volume final – Volume inicial);

$V1$  = Volume inicial;

$n$  = número de anos do período;

A partir do calculo do IPAv% para cada indivíduo foi realizado a média de todos, para poder determinar a intensidade de corte e posteriormente a taxa de corte sustentável.

A intensidade de corte é obtida pela expressão (SCHNEIDER, 2006):

$$IC = \left[ 1 - \left( \frac{1}{1,0i^{cc}} \right) \right] * 100$$

Sendo:

$IC$  = intensidade de corte, em percentagem do volume;

$i$  = incremento periódico anual percentual em volume;

$cc$  = ciclo de corte em anos.

O ciclo de corte considerado foi de 25 anos, tendo como base um estudo realizado na mesma área por Hess et al. (2010) que encontrou um valor de 23 anos para o ciclo de corte.

A taxa de corte é obtida pela seguinte equação:

$$TC = Vr * \frac{IC}{100}$$

Sendo:

$TC$  = taxa de corte em volume para o ciclo de corte;

$Vr$  = volume real da floresta disponível, em metros cúbicos.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

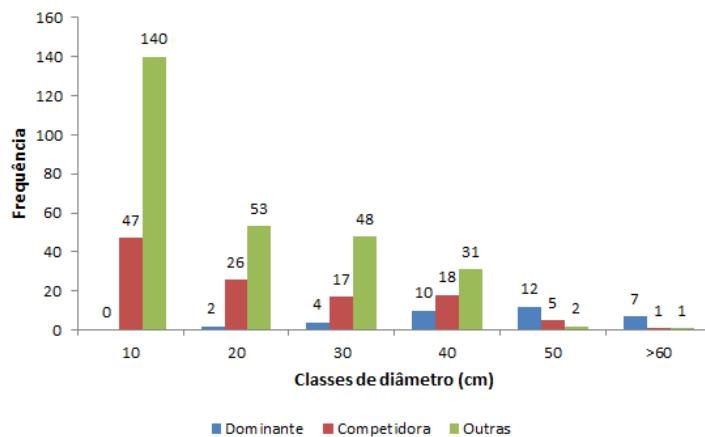
#### 3.3.1 Dados gerais

A análise da suficiência amostral resultou em um valor de 25 parcelas. Demonstrando que o número de parcelas amostradas é suficiente para extrapolar os resultados para toda a área.

Das 424 árvores mensuradas, foram selecionadas 35 consideradas dominantes, e suas respectivas competidoras (116 árvores). No estudo das características morfométricas da *Araucaria angustifolia*, a mensuração do total dos indivíduos mostrou uma divisão entre os dominantes (8,25%), competidores (26,89%) e os demais indivíduos que se encontravam dentro das parcelas (64,86%).

Árvores que não estão sofrendo competição direta dos indivíduos dominantes da parcela foram mais frequentes nas classes de diâmetro entre 10 a 30 cm, enquanto as que estavam em competição apresentaram maior número de indivíduos na classe de 10 cm (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição diamétrica por posição na floresta, das árvores de Araucária em Lages, SC.



Fonte: Ricken, P. (2014).

A distribuição apresentada na Figura 4 é resultante de todas as árvores encontradas nas 35 parcelas.

A amplitude dos diâmetros variou de 10 a 87,6 cm com média de 26,8 cm. A altura variou de 5,3 a 21 m com média de 12,9 m.

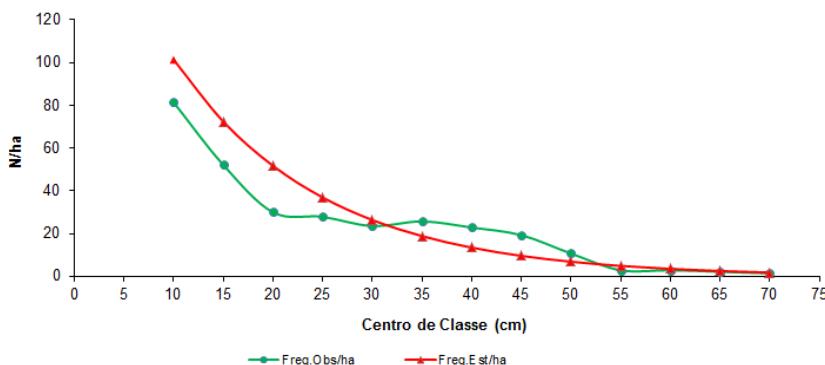
### 3.3.2 Quociente de Liocourt e taxa de corte

Com os dados de todos os indivíduos foi realizado o cálculo do quociente de Liocourt para conhecer a estrutura da floresta.

A curva de distribuição do número de árvores por classe de diâmetro comportou-se como o esperado para florestas naturais inequianéas (Figura 5), apresentando curvas de distribuição assemelhadas a um J-invertido (ALVES JUNIOR et al., 2010; AUSTREGÉSILLO et al., 2004; FELFILI, 1997; HESS et al., 2010), apresentando predomínio de árvores de finas e ocorrendo poucos indivíduos com grandes dimensões. Isso foi comprovado pelo valor de “q” de 1,4, demonstrando uma estrutura não balanceada da floresta, pois apresenta distribuição de números de indivíduos por hectare desproporcional entre as classes.

Esse valor elevado de “q” indica que a floresta sofreu ação antrópica, pois há uma densidade maior nas classes iniciais e pouca regeneração de indivíduos. Sanquetta e Mattei (2006) sugerem a intervenção na FOM para que a araucária consiga se regenerar, pois é uma espécie pouco tolerante à sombra na fase juvenil. O que pode confirmar o valor superior a 1 encontrado no quociente de Liocourt. A floresta ainda apresenta uma estabilidade no número de indivíduos nas classes de 20 cm a 35 cm, indicando uma quase estagnação do crescimento, pois as árvores não conseguem ingressar nas classes de maior diâmetro, conforme demonstra a Figura 5.

Figura 5 - Frequência observada e estimada para o diâmetro máximo desejado de 40 cm, para um povoamento natural de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.



Fonte: Ricken, P. (2014).

A floresta apresentou 303 árvores de araucária por hectare e área basal de  $18,80 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ . O número de árvores a ser removido em

cada classe foi obtido subtraindo-se a frequência observada da estimada (Tabela 3).

A tabela também mostra a quantidade de área basal para os indivíduos que podem ser retirados em cada classe diamétrica e o volume por hectare em cada classe diamétrica.

De acordo com a Tabela 3, poderão ser removidas árvores das classes de diâmetro 35 cm a 50 cm para o diâmetro máximo desejado de 40 cm, representando 30 árvores por hectare e  $4,10 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  em área basal. Considerando os 84 ha da área de estudo, 344,4  $\text{m}^2$  poderiam ser removidos, conferindo à floresta o conceito de balanceada e evitando a estagnação do povoamento.

Tabela 3 - Classes de diâmetro, frequências observadas e estimadas, área basal, volume, número de árvores e área basal a remover para um diâmetro máximo desejado de 40 cm, para um povoamento natural de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.

CC	FO ( $\text{ha}^{-1}$ )	FE ( $\text{ha}^{-1}$ )	G ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ )	V ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )	NR	G ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ )
10	81	101	0,63954	3,931	-	-
15	52	72	0,92144	7,364	-	-
20	30	52	0,94248	7,870	-	-
25	28	37	1,36743	12,498	-	-
30	24	26	1,66617	16,186	-	-
35	26	19	2,47400	25,578	7	0,66076
40	23	13	2,87231	29,845	10	1,25664
45	19	10	3,06726	30,664	9	1,43139
50	11	7	2,10375	20,513	4	0,75517
55	3	5	0,67881	7,212	-	-
60	3	4	0,80784	8,174	-	-
65	2	3	0,71107	6,965	-	-
70	1	2	0,54978	7,044	-	-
<b>Tot al</b>	<b>303</b>			<b>183,84</b>	<b>30</b>	<b>4,10396</b>
<b>Volume comercial (<math>\text{m}^3</math>)</b>				<b>110,42</b>		

Onde: CC = centro de classe; FO = frequência observada; FE = frequência estimada; G = área basal em metros quadrados por hectare; V = volume em metros cúbicos por hectare; NR número de árvores a remover por centro de classe de diâmetro. Fonte: Ricken, P. (2014).

O quociente de Liocourt foi de 1,4, semelhante a estudo realizado na mesma área por Hess et al. (2010), que encontrou o valor de 1,33.

O volume total encontrado foi de 183,84 m<sup>3</sup>, e foi de 110,42 m<sup>3</sup> o volume comercial (acima da classe de 40 cm de DAP) para um hectare da área estudada.

Esse volume de madeira que pode ser retirado é algo importante do ponto de vista do recurso existente/disponível, pois enquanto essa madeira está na floresta, a rentabilidade está sendo perdida e a madeira poderia ser aproveitada para diversos usos, conferindo retorno econômico para o proprietário rural.

Na Tabela 4, com base no IPAv% ponderado e no ciclo de corte, está indicada a taxa de corte sustentada para o povoamento de araucária. A taxa obtida foi de 36,60 m<sup>3</sup> para um hectare nos 25 anos do ciclo, sendo a intensidade de corte de 33,14%. Quando se considera esses valores anualmente, significaria a retirada de 1,464 m<sup>3</sup>/ha/ano de madeira da floresta.

Tabela 4 - Determinação da taxa de corte sustentada para o povoamento natural de *Araucaria angustifolia* em 1 ha.

IPAv%	Ciclo de corte (ano)	Intensidade de corte (%)	Volume comercial com casca (m <sup>3</sup> )	Taxa de corte (m <sup>3</sup> )
1,68	25	33,14	110,42	36,59

Onde: IPAv% = incremento periódico percentual em volume. Fonte: Ricken, P. (2014).

Observando a taxa de corte obtida e o volume dos indivíduos por classe, é possível perceber o quanto as classes indicadas por Liocourt estão com sobra de indivíduos. Apenas as classes de 40, 45 e 50 cm representam o dobro da taxa de corte indicada para o local.

### 3.3.3 Relação hipsométrica

Após serem testados os MLG nos três campos aleatórios, Normal, Poisson e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica, obteve-se o melhor modelo para relação h/d, que foi o

*Gama – identidade*, sendo que os parâmetros referentes ao modelo são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores dos parâmetros e qualidade do MLG Gama - identidade para ajuste do crescimento de altura em função do diâmetro, para um povoamento natural de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.

MLG – FL	Parâmetros	Estimativas		Critério do ajuste			
		Valor	stEerro	Prob. $X^2$	D	BIC	AIC
Gama - $\mu$							
Intercepto	7,4373	0,2891	<0,0001		<b>22,18</b>	2106	<b>2093,9</b>
X	0,2077	0,0118	<0,0001				

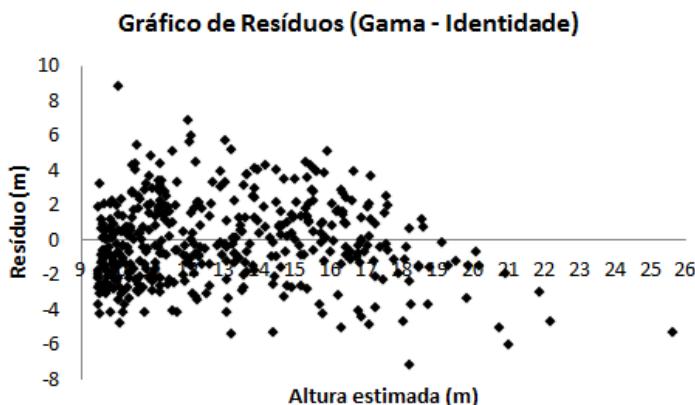
Onde: MLG-FL = modelo linear generalizado e função de ligação;  $\mu$  = identidade; x = covariável idade; stEerro = erro padrão; Prob.  $X^2$  = probabilidade  $X^2$  de Wald; D = desvio; BIC = critério bayesiano; AIC = critério de Akaike. Fonte: Ricken, P. (2014).

O MLG *Gamma - identidade* obteve todos os parâmetros com nível de significância nominal (valores  $p$ ), inferiores a 0,0001 indicando que existe uma relação biológica entre o diâmetro e o crescimento em altura. Com base nos demais critérios, o modelo *Gama – identidade* foi o que melhor apresentou resultado nos critérios Desvio (22,18), BIC (2106), AIC (2093,9) e resíduo homogeneizado (Figura 6).

Verifica-se que o modelo *Gama – identidade* obteve uma boa homogeneização dos resíduos. Dessa forma, o ajuste do modelo proporcionou que os erros tendessem a uma distribuição aleatória em torno do zero (CARVALHO et al., 2011). Existem alguns *outliers* na distribuição dos resíduos, mas grande parte apresenta uma homogeneização, pois a maior parte dos valores residuais se concentra entre -2 m e 2 m.

Analizando a figura, pode-se observar que a distribuição gráfica de resíduos demonstra tendência de superestimativa dos valores estimados de altura. Isso acontece porque a relação entre diâmetro e altura é biologicamente fraca, comprovada pela existência de indivíduos de pequeno diâmetro e grande altura e também grande diâmetro e pequena altura.

Figura 6 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para altura em função do diâmetro para indivíduos de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.



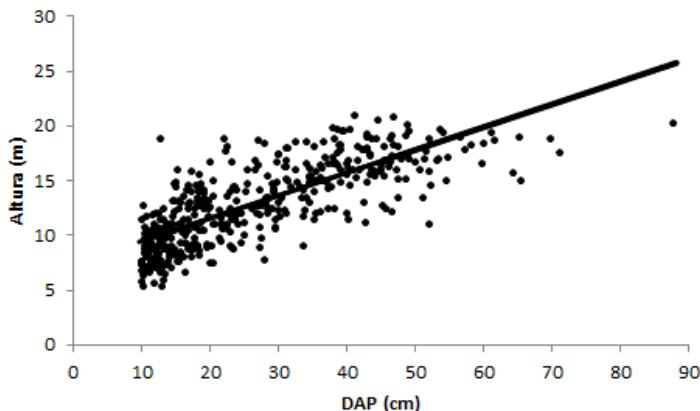
Fonte: Ricken, P. (2014).

Segundo Machado et al. (2008), a análise gráfica dos resíduos em um ajuste de regressão é determinante como critério de escolha de um modelo, mesmo que as estimativas de ajuste de precisão estejam apresentando valores aceitáveis. A dispersão dos pontos ao longo do eixo da variável independente indica de forma clara se o ajuste subestima ou superestima a variável dependente.

Completando a análise, traçou-se a linha estimativa da variável dependente ( $h$ ) por entre a nuvem de pontos observados de altura (m) sobre DAP (cm) para o modelo *Gama - identidade*. Observa-se então na Figura 7 o comportamento dessa linha para o melhor modelo ajustado.

Nota-se nessa figura que a linha hipsométrica se comporta bem aos dados observados em toda a sua extensão, não apresentando discrepâncias muito acentuadas. Entretanto, percebe-se que existe forte relação linear entre altura e DAP, pois ao aumentar o diâmetro, a tendência da altura também é aumentar. Outros autores (MACHADO et al., 2008; CALDEIRA et al., 2003) também encontraram essa forte relação entre altura e DAP para Araucária na região sul do Brasil.

Figura 7 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo *Gama – identidade*.



Fonte: Ricken, P. (2014).

### 3.3.4 Diâmetro de copa em relação ao DAP e densidade ideal

Além da relação h/d testaram-se os MLG também para os dados de diâmetro de copa e diâmetro à altura do peito, podendo assim estabelecer uma equação que represente a característica morfométrica dos indivíduos e o número potencial de árvores na área de acordo com suas dimensões.

Na Tabela 6 estão apresentados os critérios de ajuste do MLG *Gama - identidade* para o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito pela média dos quatro raios medidos nas copas.

Tabela 6 - Valores dos parâmetros e qualidade dos MLG para ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito.

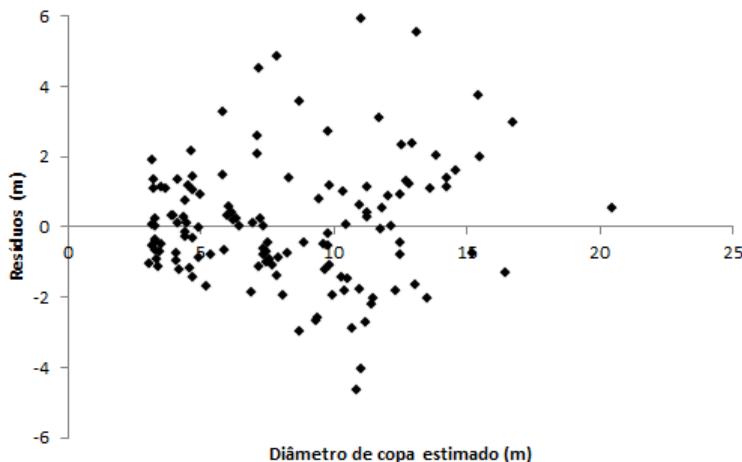
MLG - FL		Parâmetros			Critério do ajuste		
Gama - $\mu$	Valor	stEerro	Prob. $X^2$	D	BIC	AIC	
Intercepto	0,8523	0,2278	0,0002		<b>5,59</b>	<b>444,11</b>	<b>435,87</b>
x	0,2238	0,0102	<0,0001				

Onde: MLG-FL = modelo linear generalizado e função de ligação;  $\mu$  = identidade; x = covariável idade; stEerro = erro padrão; Prob.  $X^2$  = probabilidade  $X^2$  de Wald; D = desvio; BIC = critério Bayesiano; AIC = critério de Akaike. Fonte: Ricken, P. (2014).

O modelo *Gamma - identidade* foi o que apresentou os menores valores para todos os critérios, Desvio (5,59), AIC (435,87), BIC (444,11) e resíduos homogeneizados (Figura 8), mostrando-se como um guia para avaliar a adequabilidade do modelo.

O modelo também apresentou no intercepto significância superior a 0,0001, indicando que o  $\beta_0$  não é significativo nessa equação, sendo possível retirar esse coeficiente sem alterar a equação.

Figura 8 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para indivíduos de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Verifica-se na Figura 8 que o modelo *Gamma - identidade* apresentou uma homogeneização dos resíduos, indicando que a equação foi satisfatória não provocando tendência nos dados. Nos diâmetros iniciais, algumas árvores apresentam subestimativa do diâmetro de copa, mas no conjunto total dos dados os resíduos concentram-se entre -2 m e 2 m.

Através das variáveis morfométricas obteve-se o número potencial de árvores por hectare, que pode ser observado na Tabela 7. Sendo que para uma dos cálculos foi tido como base a área de projeção de copa e para o outro o grau de esbeltez e a altura dominante dos indivíduos.

Na Tabela 7 também é possível observar o número potencial de árvores por hectare, i.e., o quanto de árvores a floresta suporta de acordo com a área de copa. Com base no número real de indivíduos encontrados na área, este valor estaria adequado se as árvores tivessem diâmetros inferiores a 20 cm. Considerando-se um diâmetro limite de manejo de 40 cm, o número ideal de árvores seria 145 ind.ha<sup>-1</sup> pelo método de projeção de copa ou de 102 ind. há<sup>-1</sup> pelo método do grau de esbeltez e altura dominante.

Sendo assim, pode-se dizer que o povoamento necessita de um manejo da densidade. Com esta redução se proporcionaria um aumento do espaço vital para as árvores e das taxas de crescimento dos indivíduos.

Tabela 7 - Número de árvores por hectare de acordo com as variáveis morfométricas, em relação a cada diâmetro médio.

DAP médio (cm)	Diâmetro de copa (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )	NP (árv.ha <sup>-1</sup> )	N (árv.ha <sup>-1</sup> )
10	3,54	9,83	1017	336
15	4,83	18,3	547	222
20	6,55	33,70	297	141
25	7,43	43,32	231	103
30	7,87	48,63	206	106
35	8,83	61,17	163	90
40	9,38	69,12	145	102
45	11,7	107,44	93	55
50	13,13	135,47	74	39
>50	16,7	210,54	47	29

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito, em centímetros; NP = número de árvores por hectare em relação a projeção de copa; N = número de árvores por hectare em relação ao grau de esbeltez e altura dominante. Fonte: Ricken, P. (2014).

### 3.3.5 Competição

Foi realizada a média com os raios de copa nas quatro direções (Norte, Sul, Leste e Oeste) e com ela obteve-se a área de copa dos indivíduos. Assmann (1970) descreve que, para uma determinada área

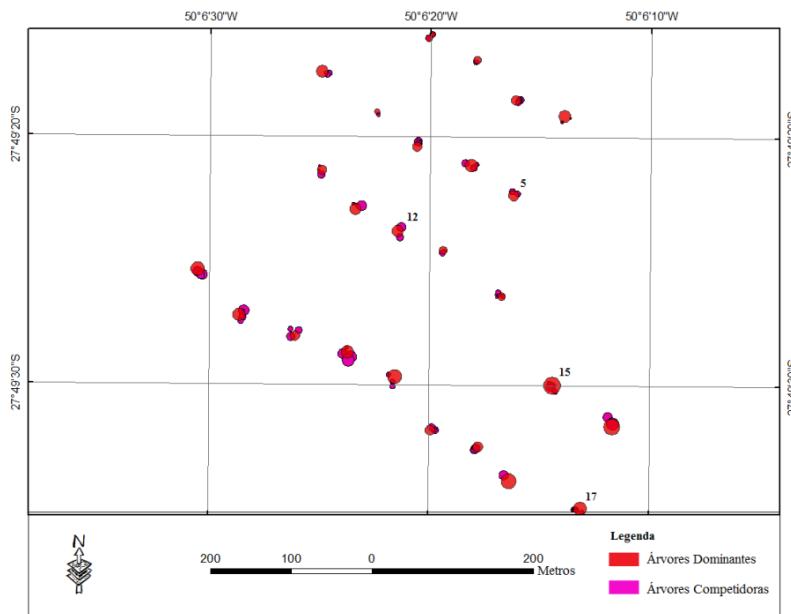
de projeção de copa, o incremento é maior para árvores com melhor posição sociológica.

A Figura 9 mostra a área ocupada pela copa dos indivíduos dominantes e das competidoras de 25 das 35 parcelas.

É possível observar, através da Figura 9, que grande parte dos indivíduos crescem próximos uns aos outros (menor distância), sofrendo competição devido a maior densidade. Nas parcelas 5, 12, 15 e 17 que estão identificadas no mapa, pode-se observar essa característica, pois nessas parcelas em destaque as árvores competidoras estão praticamente inteiras sob a copa da dominante.

Isso pode ser verificado com base nos dados de altura e DAP, pois as árvores que estão sofrendo o efeito da competição têm uma tendência a crescer mais em altura do que em diâmetro. Isso pode indicar que as árvores, nesse caso, dedicam maior crescimento no componente altura do que em diâmetro, fato que pode ser explicado pelos índices de competição.

Figura 9 - Área de copa dos indivíduos de 25 parcelas estudadas.



Fonte: Ricken, P. (2014).

A característica da distribuição das árvores apresenta um efeito de competição, o que faz com que a árvore reduza a taxa de crescimento em diâmetro e passe a crescer mais em altura, como foi observado em alguns indivíduos na área.

De acordo com Curtis (1970 apud HASENAUER, 1997), árvores livres (solitárias), sem competição, apresentam o incremento e a dimensão máximos e têm sido usadas na condução de diretrizes de manejo e na modelagem do crescimento e da competição.

Na Tabela 8 é possível observar essa relação de valores.

Nas Parcelas destacadas no mapa (5, 12, 15 e 17) e que apresentam valores em negrito na Tabela 8 é possível observar essa relação, onde árvores com diâmetros diferentes apresentam altura muito próxima, indicando o investimento maior da árvore no componente altura. Segundo Reitz e Klein (1966), a araucária é uma espécie heliófila, i.e., os indivíduos necessitam de luz para se desenvolver. Quando estão sofrendo o efeito da competição, acabam priorizando o crescimento em altura para alcançar esse índice luminoso de que precisam.

Tabela 8- Valores dendrométricos das parcelas de interesse.

P	DAP (cm)					Altura (m)				
	D	C	C	C	C	D	C	C	C	C
5	<b>50</b>	<b>31,7</b>	29			<b>16,7</b>	<b>14,4</b>	12,4		
12	<b>53,6</b>	<b>42,4</b>	<b>39,2</b>			<b>19,7</b>	<b>17,9</b>	<b>19,6</b>		
15	<b>87,6</b>	<b>45,3</b>	10,8	24	10,7	<b>20,3</b>	<b>15,5</b>	9,1	11	9
17	58,2	<b>31,4</b>	<b>23,9</b>	11,5	<b>14,5</b>	18,3	<b>15</b>	<b>14,2</b>	10,4	<b>13,2</b>

Sendo: P = parcela; DAP = diâmetro à altura do peito; D = árvore dominante; C = árvores competidoras. Fonte: Ricken, P. (2014).

Os indivíduos em destaque na Tabela 8 apresentam alturas muito próximas uns dos outros, porém isso não pode ser considerado como regra, pois árvores adultas irão normalmente apresentar alturas semelhantes.

A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva dos índices de competição.

Tabela 9 - Estatística das médias, desvio padrão e limites mínimos e máximos dos índices de competição.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<b>IC1</b>	2,49	1,37045	0,529	5,97
<b>IC2</b>	3,43	2,07505	0,816	9,11
<b>IC3</b>	4,83	2,63727	1,316	12,18
<b>IC4</b>	4,21	2,39303	1,064	11,02
<b>IC5</b>	0,59	0,48057	0,105	2,49
<b>IC6</b>	0,36	0,26540	0,090	1,69
<b>IC7</b>	0,78	0,35811	0,211	1,693
<b>IPA</b>	0,45815	0,10328	0,287	0,666

Sendo: IC1, IC2, IC3, IC4, IC5, IC6 e IC7 = índices de competição; IPA = incremento periódico em diâmetro dos últimos 10 anos em centímetros. Fonte: Ricken, P. (2014).

Em geral, não foi observada correlação significativa ( $<0,0001$ ) entre os índices de competição e a variável incremento periódico anual em diâmetro.

Na tabela 10 é possível ver as correlações entre os índices de competição e o incremento periódico em diâmetro dos últimos 10 anos. A correlação variou entre -0,14166 (IC7) e -0,42253 (IC2).

Ocorreu uma correlação negativa entre os índices de competição e o incremento periódico anual em diâmetro, demonstrando que quanto maior a competição entre os indivíduos, menor será o incremento da árvore. Em estudos dos índices de competição com o incremento periódico em área basal, CUNHA (2013) encontrou também correlação negativa para as espécies *Cedrela odorata*, *Amburana cearensis*, *Copaifera paupera* e *Swietenia macrophylla*.

Tabela 10 - Correlação de Pearson para incremento periódico em diâmetro com índices de competição.

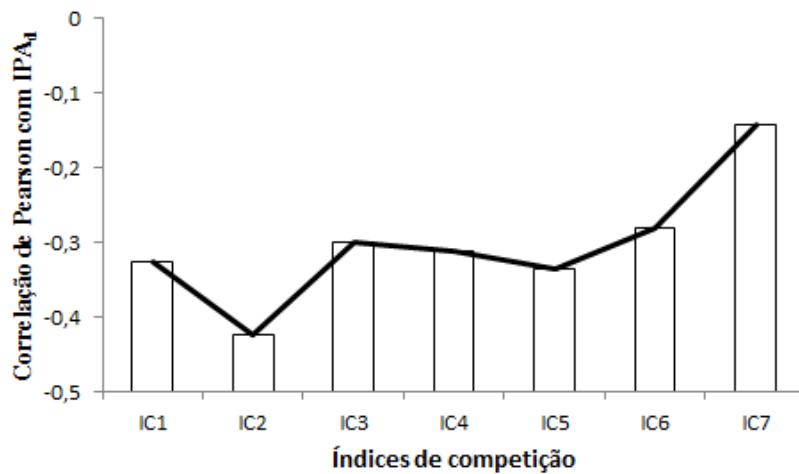
Var	IC1	IC2	IC3	IC4	IC5	IC6	IC7	IPA <sub>d</sub>
<b>IC1</b>	1	0,89	0,86	0,86	0,78	0,87	0,73	- 0,33
<b>IC2</b>	< 0,0001	1	0,88	0,90	0,91	0,88	0,67	- 0,42
<b>IC3</b>	< 0,0001	0,0001	1	1,00	0,84	0,85	0,60	- 0,30
<b>IC4</b>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	0,86	0,86	0,61	- 0,31
<b>IC5</b>	< 0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	1	0,96	0,52	- 0,34
<b>IC6</b>	< 0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	1	0,58	- 0,28
<b>IC7</b>	< 0,0001	0,0002	0,0011	0,0009	0,0066	0,002	1	- 0,14
<b>IPA</b>	0,10	0,03	0,14	0,12	0,09	0,16	0,49	1

Sendo: Var = variável; IC1, IC2, IC3, IC4, IC5, IC6 e IC7 = índices de competição; IPA = incremento periódico em diâmetro dos últimos 10 anos em centímetros. Fonte: Ricken, P. (2014).

A trajetória da correlação entre o incremento em diâmetro com os índices de competição é ilustrada na Figura 10. Foram encontrados valores de correlação próximos entre os índices IC1, IC3, IC4, IC5 e IC6, com destaque para o índice de competição de Rouvinen (IC2), que apresentou maior correlação entre os índices avaliados para a espécie.

Esse efeito negativo da competição no crescimento dos indivíduos denota que tratamentos silviculturais e o manejo adequado são essenciais para obtenção do rendimento na floresta, priorizando as árvores futuras com a otimização do espaço e, consequentemente, aumento dos componentes dendrométricos, favorecendo o crescimento sustentável da produção e recursos do ambiente.

Figura 10 - Linha da correlação de Pearson entre incremento em diâmetro (IPAd) e os índices de competição.

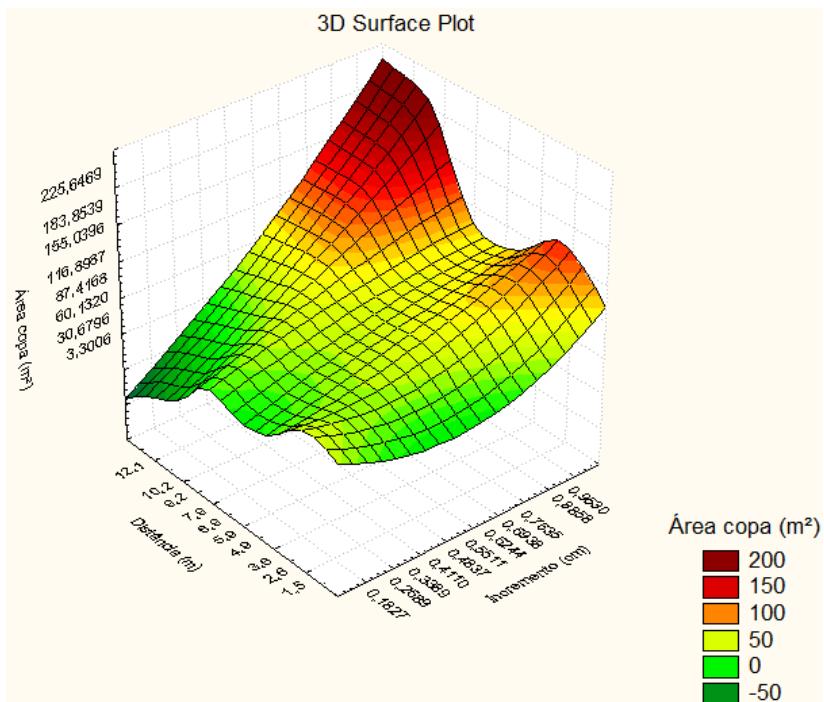


Fonte: Ricken, P. (2014).

De forma a ilustrar esse efeito negativo da competição e precariedade de manejo, elaborou-se a Figura 11, a qual demonstra a relação existente entre o incremento médio de cada árvore (eixo x), a distância entre as árvores e a árvore dominante, de interesse, (eixo y) e a área de copa (eixo z).

A partir da estruturação do gráfico é possível observar que quanto maior a distância entre os indivíduos, maior será a área de copa e também maior o incremento periódico em diâmetro. Assim, maior competição entre indivíduos indica menor distância, o que prejudica a formação da copa, e consequentemente, o incremento e o crescimento da floresta.

Figura 11 - Gráfico de superfície correlacionando área de copa com o incremento médio dos indivíduos e a distância entre as árvores de interesse.



Fonte: Ricken, P. (2014).

### 3.4 CONCLUSÃO

As técnicas de manejo florestal, com base no quociente de Liocourt, incremento anual em diâmetro, densidade, competição e critérios morfométricos de árvores individuais, indicam a possibilidade de exploração da floresta, com retirada de 282,2 m<sup>2</sup> de área basal em toda floresta (84 ha), ou, considerando os valores de volume uma retirada de 36,59 m<sup>3</sup>/ha, em ciclos de 25 anos e intensidade de corte de 33,14%.

Por se tratar de unidade florestal há no mínimo 35 anos sem manejo, apresenta densidade superior à necessária com base na área de projeção de copa. Maior densidade em indivíduos provoca efeitos como a diminuição do incremento em diâmetro, retardando o desenvolvimento,

mortalidade antecipada, etc., e, sob o aspecto socioeconômico e ambiental prejuízos aos recursos genéticos, à renda familiar florestal, ao setor florestal e ao desenvolvimento florestal regional.

As equações testadas para ajuste e estimativa das variáveis dendrométricas podem ser empregadas com acurácia, pois demonstraram significância estatística. A técnica dos MLG é eficiente para ajuste de dados quando não atendido os critérios de normalidade e heterogeneidade da variância, gerando equações que não necessitam de transformação das variáveis, evitando-se correções devido à discrepância logarítmica.

O manejo dessa floresta demonstrou viabilidade para retirar indivíduos que já atingiram sua capacidade de crescimento e também liberação de competição nas classes intermediárias e menores de diâmetro. Dessa forma o manejo pode ser estruturado para fornecer a rentabilidade econômica ao proprietário e também à conservação da dinâmica e estrutura da floresta, pois a liberação do espaço favorece a regeneração natural, atualmente com baixo índice, visualizado na área, bem como a manutenção da diversidade genética, pela adaptação das espécies a mudanças no ambiente geofísico.

## REFERÊNCIAS

ALVES JUNIOR, F. T; FERREIRA, R. L. C; SILVA, J. A. A. da; MARANGON, L. C.; COSTA JUNIOR, R. F; SILVA, S. O. Utilização do quociente de Liocourt na avaliação da distribuição diamétrica em fragmentos de floresta ombrófila aberta em Pernambuco. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 20, n. 2, p. 307-319, abr.-jun. 2010.

AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Journal of Econometrics**. n.16, p.3-14, 1981.

ANDRADE, V. C. L. de; MARTINS, S. V.; CALEGARIO, N.; CHICHORRO, J. F. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**. n. 70, p. 31-37. 2006.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield: studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

AUSTREGÉSILLO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da; SOUZA, A. L. de; MEUNIER, I. M. J; SANTOS, E. S. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Estacional Semidecidual secundária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da amazônia**. 2010. 236f. Tese – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BRITEZ, R. M.; REISSMAN, C. B.; SILVA, S. M.; SANTOS FILHO, A. Dos. Deposição estacional de serrapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária, São Mateus do Sul, PR. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, pt. 3, p. 766-772, edição especial, mar., 1992. Edição dos Anais do 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 1992, São Paulo.

CALDEIRA, M. V. W; SCHUMACHER, M. V; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na região Oeste do Estado do Paraná. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v.1, n. 2, p. 79-88, abr./jun. 2003, Curitiba.

CARVALHO, S. de P. C. et al.; Modelo não lineares generalizados aplicados na predição da área basal e volume de *Eucalyptus* clonal. **Cerne**. Lavras, v.17, n.4, p.541-548, out./dez. 2011.

CUNHA, T.A. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia Ocidental**. 2013. p. 107 Tese de doutorado - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

**EPAGRI. Dados e Informações Biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense – UPR 3**, Florianópolis: EPAGRI/CIRAM, 2002, 70p.

FELFILI, J. M. Diameter and height distributions in a gallery forest community and some of its main species in central Brazil over a six-year period (1985-1991). **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo. v. 20, p. 155-162. 1997.

FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. Distribuição dos diâmetros numa faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília-DF. **Acta Botânica**, v. 104, n.2, p. 85-104, 1988. São Paulo.

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

HESS, A. F. Manejo de *Araucaria angustifolia* pelo quociente de Liocourt em propriedade rural no município de Painel, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 227-232, abr/jun 2012, Colombo-PR.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIAK, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337-345, nov/dez 2010, Colombo-PR.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HUNT, R.; CAUSTON, D. R.; SHIPLEY, B.; ASKEW, P. A modern tool for classical plant growth analysis. **Annals of Botany**, v. 90, p. 485-488. 2002.

LOESTSCH, F.; ZÖRHER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munique: B.L.V., 1973. v. 2, 469 p.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. da; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, jan./jul. 2008, Colombo-PR.

MEYER, H. A. Eine mathematisch-statistisch Untersuchung über den Aufbau des Plentterwaldes. Scuweiz. **Ztschr. f. Forstw**, v. 84, p. 33-46; p. 88-103; p.124-131, 1933.

MEYER, H. A. Structure growth and drain in balanced uneven-aged forests. **The Journal Forest**, v. 50, n. 2, p. 85-92, 1952.

NASCIMENTO, A. T. R.; 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**, v. 11, n. 1, p. 105-119, 2001.

NEGRELLE, R.; SILVA, F. Fitossociologia de um trecho de floresta com Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. no município de Caçador-SC. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Colombo, p. 37-54, 1992.

NELDER, J. A. e WEDDERBURN, R. W. M. (1972). Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society A** 135, 370-384.

PAULA, G. A.; **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em:  
[http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro\\_MLG.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro_MLG.pdf). Acesso em: 05/07/2013.

PAULA, A. de; SILVA, A. F. da; DE MARCO JUNIOR, P.; SANTOS, F. A. M. dos; SOUZA, A. L. de. Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma floresta estacional semidecidual, Viçosa, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**. São Paulo, n. 18, v. 3, p. 407-423, 2004.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariáceas**. In: REITZ, R. *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 2 ed. Curitiba: Mult-Graphic, 2009. 316p.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectiva de recuperação e manejo sustentável das florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2006. 264 p.

SANQUETTA, C.R.; ANGELO H.: BRENA, D.A. & MENDES J.B.. Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento da floresta natural com matriz markoviana de potência. **Revista Floresta**, v.24, n.1/2 , p. 23-37, 1995.

SANTOS, A. T. dos; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Equação de volume e relação hipsométrica em plantio de *Ocotea porosa*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo. v.32, n. 69, p. 13-21, jan./mar. 2012.

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

SCHIMIDT, P. B. Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 8, n. 1, p.24-27, 1977.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2006. 348 p.

SIMINSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. dos; FANTINI, A. C. Sucessão Florestal Secundária no município de São Pedro de Alcântara, litoral de Santa Catarina: estrutura e diversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 21-33, 2004.

SOUZA, Agostinho Lopes de; SOARES, Carlos Pedro Boechat. **Florestas Nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: UFV, 2013. 322 p.

SOUZA, D. R. et al. Análise estrutural em Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 75-87, 2006.

STERBA, H. Equilibrium curves and growth models to deal with forests in transition to uneven-aged structure – application in two sample stands. **Silva Fennica**, n. 38, v. 4, p. 413-423, 2004.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados** – da teoria à prática. Universidade de Lisboa, 2000.

Disponível em: <http://docentes.deio.fc.ul.pt/maturkman/mlg.pdf>. Acesso em 05/07/2013.

VALE ,T. R. Forest changes in the Warner Mountains, California. Annals of the Association of American Geographers, v. 67, n. 1, p. 28-45, 1977.

## 4 DENDROCRONOLOGIA E MODELAGEM DO CRESCIMENTO APLICADA AO ESTUDO DA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze EM POVOAMENTO NATURAL NO MUNICÍPIO DE LAGES, SC

### RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi determinar e avaliar o crescimento de *Araucaria angustifolia* em um povoamento natural no município de Lages-SC para, através dos anéis de crescimento, poder inferir o comportamento da espécie em condições naturais de desenvolvimento. Para o estudo dendrocronológico foram utilizadas 121 árvores, das quais foram obtidos dados dendrométricos e retirados rolos de incremento com auxílio do trado de Pressler. As árvores foram divididas em dominantes e competidoras. Os indivíduos foram separados em 3 classes de acordo com o diâmetro, sendo a classe 1 formada com indivíduos que apresentaram DAP de 10 cm a 29,9 cm, a classe 2 entre 30 e 49,9 cm e a classe 3 com aqueles acima de 50 cm de DAP. As árvores apresentaram diâmetros entre 10 e 87,6 cm e alturas entre 5,3 e 21 metros. Os MLG foram testados para as variáveis DAP em função da idade, idade em função do DAP e incremento em função da idade, sendo os melhores modelos encontrados os seguintes: Gama-identidade para as equações  $d = 1,5381 + 0,6591 * t$  e  $t = 0,4412 + 1,5003 * d$  e o Normal-identidade para a equação  $inc = 0,1669 + 1,5003 * t$ . Os anéis de crescimento foram contados e, de acordo com as amostras, obtiveram-se recuos de idade de 13 a 62 anos. O incremento médio anual geral em diâmetro foi de 0,708 cm, sendo que entre as classes houve uma diferença de crescimento, a menor (1) apresentou um crescimento de 0,54 cm/ano, a classe (2) intermediária apresentou um crescimento de 0,717 cm/ano e a classe (3) das árvores de maior diâmetro um crescimento de 0,66 cm/ano. O estudo prospectivo mostrou um aumento de 65,12% no número de indivíduos nas classes comerciais para um período de 20 anos. E através da correlação de Pearson obteve-se uma correlação positiva entre o incremento médio anual e o número de dias de precipitação e correlação negativa com a umidade relativa.

**Palavras-chave:** modelos lineares generalizados, anéis de crescimento, variáveis climáticas.

## ABSTRACT

The main goal of this study was to determinate and evaluate the *Araucaria angustifolia* growth in a natural stand in Lages-SC through growth rings and to infer the behavior of the species under natural conditions for development. For the dendrochronological study 121 trees were used, from which we obtained dendrometrical data and rolls of increment with the Pressler Auger. The trees were divided in dominants and competitors. The individuals were divided in 3 classes according to their diameter: class 1 was formed by individuals that had DBH 10 to 29.9 cm, class 2 between 30 and 49.9 cm and class 3 with those above 50 cm DBH. The trees had diameter between 10 and 87.6 cm and heights between 5.3 and 21 meters. The GLM was tested for the DBH as a function of age, age as a function to DBH and increase in function of age, and the best models found were the following: Gamma-identity for the equations  $d = 1,5381 + 0,6591 * t$  e  $t = 0,4412 + 1,5003 * d$  and Normal-identity to the equation  $inc = 0,1669 + 1,5003 * t$ . Growth rings were counted and, according to the sample, yielded decreases of 13-62 years. The overall mean annual increment in diameter was 0.708 cm, and between classes, there was a difference of growth, the lower (1) grew 0.54 cm/year, the (2) intermediate class grew by 0.717 cm/year and the class (3) of larger diameter trees growth of 0.66 cm/year. The prospective study showed an increase of 65.12% in the number of individuals in commercial classes for a period of 20 years. Through the Pearson correlation we obtained a positive correlation between mean annual increment and the number of days of precipitation and a negatively correlation with the relative humidity.

**Keywords:** generalized linear models, growth rings, climatic variables.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Entre as formações florestais do Estado de Santa Catarina encontra-se a Floresta Ombrófila Mista (FOM), que é caracterizada pela presença de indivíduos de *Araucaria angustifolia*, que popularmente é conhecida como pinheiro-brasileiro, pinho ou pinheiro-do-paraná. A vegetação reconhecida cientificamente como Floresta Ombrófila Mista tem recebido ao longo dos tempos denominações diversas: floresta com araucária, floresta de araucária, floresta de pinheiros, pinhais, zona de pinhais, mata de araucária, entre outras.

Segundo Roderjan et al.(2002), a FOM é uma unidade fitoecológica em que se contempla a coexistência de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), em marcada relevância fisionômica de elementos Coniferales e Laurales, onde domina *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze (Araucariaceae), espécie gregária de alto valor econômico e paisagístico. Compreende as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, com disjunções na região Sudeste e em países vizinhos (Paraguai e Argentina). Encontra-se predominantemente entre as altitudes de 800 e 1200 m, podendo eventualmente ocorrer abaixo e acima desses limites.

A FOM tem sido muito devastada desde a década de 1940, isso se deve à exploração irracional e descontrolada da madeira, que é de alto valor comercial. Hoje a Araucária é protegida por lei, mas muitos esforços ainda devem ser feitos para conhecer a sua dinâmica e comportamento na floresta e incentivar o uso sustentável de seus recursos.

Em florestas nativas, a dendrocronologia auxilia no conhecimento da situação do povoamento. Esse estudo é importante para o entendimento da estrutura e da dinâmica da floresta (MATTOS et al., 2011), pois os dados obtidos através da dendrocronologia traduzem informações importantes sobre o crescimento da planta, como os anos favoráveis ao crescimento, os mais limitantes, entre outras (FRITTS, 1976). As informações obtidas possibilitam a determinação do ponto de máximo desenvolvimento da estrutura da espécie, facilitando a determinação de diâmetros-limite de corte e taxas sustentáveis; estudo da estrutura diamétrica, dinâmica (incluindo inferências sobre a mortalidade e sobrevivência) em correlação e cruzamento com o clima; estudos de competição; dinâmica histórica e os padrões de crescimento (MATTOS et al., 2011).

Diversos fatores influem fundamentalmente no crescimento dos indivíduos arbóreos, como o tipo de solo, região, estado de desenvolvimento da planta, temperatura, incidência de luz, umidade, ventos, ocorrência de geadas e neves, pragas, entre outros.

Gerir uma floresta para produção sustentável em longo prazo não é uma tarefa simples, pois é necessário saber o nível de estoque em crescimento da floresta que harmonize os objetivos biológicos e econômicos. É também necessário operar sempre com uma margem de segurança de sustentabilidade ambiental. Não adianta trabalhar no limite da região crítica, pois isso provavelmente será insustentável.

O manejo florestal de forma sustentável tem como base o estudo do crescimento dos indivíduos da floresta. É necessário inicialmente a utilização de modelos de crescimento e produção para se obter uma prognose da produção da floresta. Esses modelos são ajustados com base nas variáveis de interesse, que são os dados de crescimento, obtidos de inventário florestal.

Variáveis climáticas também são de grande interesse quando se fala de crescimento, pois a utilização de modelos com essas variáveis mostra ainda mais sobre o crescimento dos indivíduos.

A correlação de Pearson é de grande utilidade na quantificação da magnitude e direção das influências de fatores, mas não dá a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis independentes sobre a dependente, i.e., existindo uma correlação entre X e Y, não se pode afirmar que Y é determinado ou casado por, ou vice-versa, pois a correlação é apenas uma medida de associação (COSTA NETO, 1977).

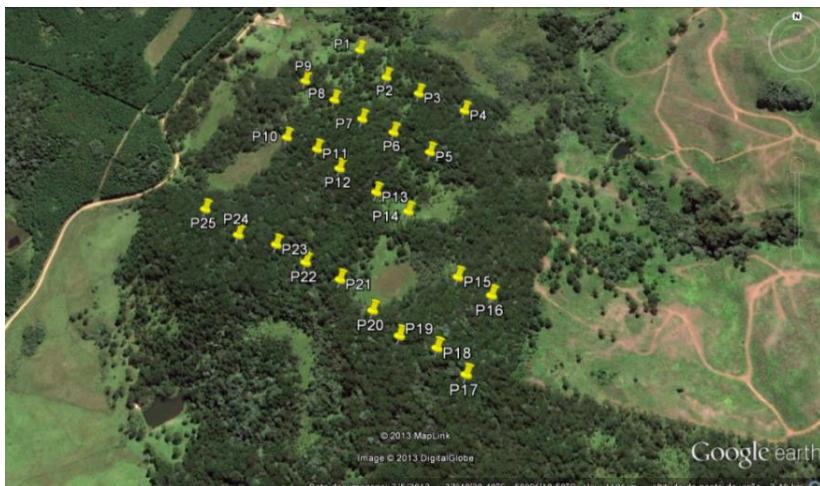
Os objetivos desse estudo são medir o crescimento de um povoamento natural de *Araucaria angustifolia* que ocorre no município de Lages, SC para, através dos anéis de crescimento, poder inferir o comportamento da espécie em condições naturais de desenvolvimento; utilizar os Modelos Lineares Generalizados para ajustar as melhores equações para as variáveis dendrométricas e climáticas; e fazer análises prospectivas baseadas no número de indivíduos em cada classe de diâmetro.

## 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em um povoamento natural de *Araucaria angustifolia* localizado no município de Lages/SC, em uma altitude de aproximadamente 1.200 m e com área total de 84 ha. As coordenadas do local são 27°49'27"S e 50°06'23"O (Figura 12).

Figura 12 - Imagem aérea da área de estudo, com destaque para as parcelas instaladas.



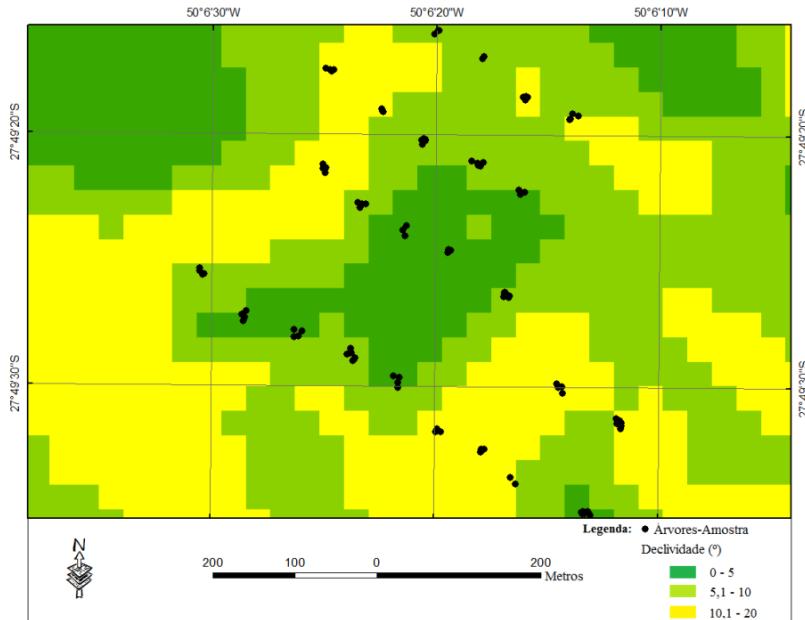
Fonte: Google Earth 2013, modificado por Ricken, P. (2014).

### 4.2.2 Coleta de dados

Foi realizado um inventário sistemático com 25 parcelas de 20m x 20m, totalizando um hectare de área amostral. Todos os indivíduos com diâmetro maior ou igual a 10 cm receberam plaquetas numeradas em ordem crescente para posterior remoção e localização. Foram tradadas 121 árvores, dominantes e competidoras, dentro das parcelas alocadas. A Figura 13 mostra o mapa da área de estudo com a localização dos 121 indivíduos tradados e a inclinação do terreno, mostrando que a área apresenta inclinação máxima de 20°, sendo que

grande parte das parcelas se encontram nas inclinações menores, de até 10°.

Figura 13 - Mapa da área de estudo, com destaque para a declividade do local e as árvores amostradas.



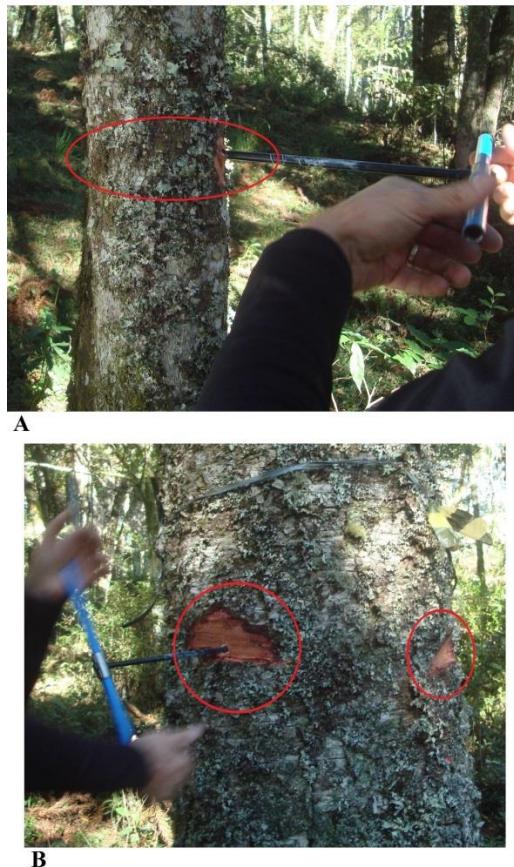
Fonte: Ricken, P. (2014).

Os indivíduos foram separados de acordo com o diâmetro, formando 3 classes. A classe 1 foi formada com indivíduos que apresentaram DAP de 10 cm a 29,9 cm, a classe 2 com indivíduos entre 30 cm e 49,9 cm e a classe 3 com aqueles acima de 50 cm de DAP.

As amostras não destrutivas foram coletadas das árvores dominantes e de suas competidoras, para análise do crescimento. Foram extraídos radialmente, de cada árvore, dois rolos de incremento (30 cm de comprimento e 5 mm de diâmetro) com o Trado de Presler, sendo o primeiro à altura do peito e o segundo a 90° do primeiro. Quando a árvore apresentava o diâmetro pequeno (até 25 cm, mais ou menos), era retirada apenas uma amostra completa da árvore para facilitar o

processo, ou seja, o trado atravessava a árvore, pegando uma diferença de 180° entre as amostras (N e S ou L e O) (Figura 14).

Figura 14 - Retirada dos rolos de incremento em árvores de pequeno diâmetro (A) e grande diâmetro (B).



Fonte: Ricken, P. (2014).

A utilização do trado é uma forma de trabalhar com anéis de crescimento sem a necessidade da derrubada das árvores de interesse. De acordo com Imaña-Encinas et al. (2005), o Trado de Pressler é de origem sueca e serve para extrair amostras cilíndricas do lenho. É um instrumento muito empregado para obter amostras que permitem a

contagem dos anéis de crescimento em árvore em pé. Para extrair uma amostra de madeira, deve-se primeiramente introduzir o trado no tronco, perpendicularmente ao eixo vertical da árvore (em direção à medula) e, logo em seguida, com o extrator, tirar amostra de madeira, também denominada de rolo de incremento.

No local de coleta, os rolos de incremento retirados foram colocados em porta baguetas e fixados com fita crepe para evitar a quebra das amostras. No laboratório, as amostras foram fixadas com cola nos porta baquetas e, posteriormente, enroladas com fita crepe nas extremidades e centro para evitar o empenamento durante a secagem, sempre tomando o cuidado para garantir que a disposição dos anéis ficasse voltada para cima para possibilitar a visualização e marcação.

Após a colagem, os rolos de incremento foram secados em temperatura ambiente e posteriormente lixados, para melhor visualização dos anéis de crescimento (Figura 15).

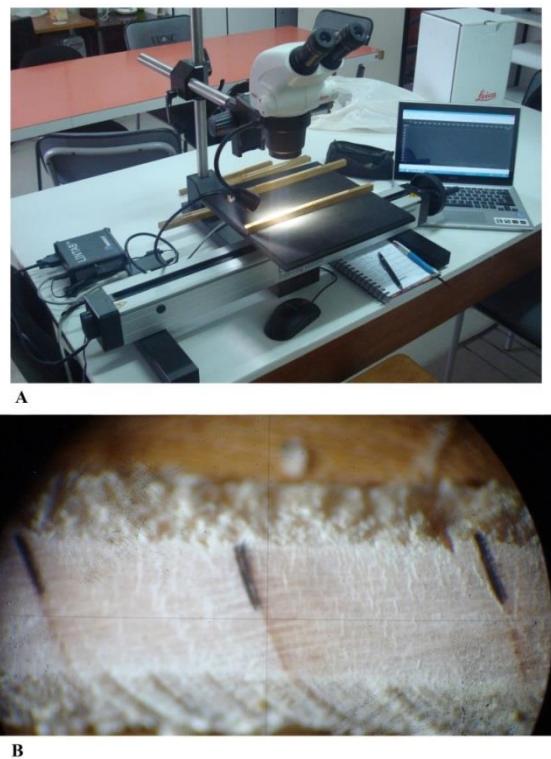
Figura 15 - Amostras lixadas e prontas para marcação dos anéis de crescimento.



Fonte: Ricken, P. (2014).

A marcação dos anéis de crescimento foi realizada com auxílio de um microscópio estereoscópico e após fez-se a medição do incremento, realizado em mesa de mensuração de anéis (LINTAB 6.0 – *Frank Rinn Distributors, Alemanha*), acoplada ao computador (Figura 16). Os dados de incremento foram registrados pelo *Software TSAP (Time Series Analysis Program)* e a datação foi realizada por análise visual dos dados/gráficos.

Figura 16 - Mesa de mensuração de anéis (Lintab 6) (A) e amostra sendo medida (B).



Fonte: Ricken, P. (2014).

#### 4.2.3 Análise dos dados

Os dados foram analisados na ferramenta Solver do programa Action, integrado ao Excel 2010, em que foi realizado o processo de verificação da normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e na sequência utilizados testes não paramétricos para identificar se existe diferença de crescimento entre as classes diamétricas e entre os diferentes lados (Norte, Sul, Leste e Oeste).

Utilizou-se dos MLG para ajuste dos modelos matemáticos para DAP em função da idade, idade em função do DAP e incremento em função da idade. Os ajustes dos modelos foram realizados no Sistema de Análise Estatística SAS V.9.3 (SAS Institute Inc., 2004). Os MLG

foram testados nos três campos aleatórios, Normal, Poisson e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

Na seleção do melhor modelo de regressão levou-se em consideração o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos que são a função desvio, o critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e análise dos resíduos.

Com os dados de incremento realizou-se o estudo prospectivo dos dados, obtendo-se um cenário futuro de como os indivíduos estarão daqui a 20 anos. Para isso foi utilizada como base de crescimento a média de incremento por classe de diâmetro dos indivíduos e acrescentado aos valores atuais de DAP, chegando assim a um cenário em que é possível inferir quantos indivíduos vão conseguir ingressar nas próximas classes.

Para estudar as variáveis climáticas que mais influenciam no crescimento, foi utilizada a análise de correlação de Pearson. Essa análise permitiu identificar as variáveis com influência em maior ou menor grau sobre o crescimento. Para isso foram utilizados dados referentes aos últimos vinte anos, pois os dados climáticos obtidos da Rede do INMET não estavam em sua totalidade completos, então se utilizou uma sequência de dados existentes sem a necessidade de fazer médias ou interpolar dados que, por algum motivo, estavam faltando.

Os dados climáticos utilizados corresponderam aos dias de insolação total, dias de precipitação, precipitação total, temperatura média máxima, temperatura média mínima e umidade relativa do ar. O período considerado para cada ano foi entre os meses de julho e junho, que compreende o período de crescimento da árvore.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Análise do incremento e crescimento anual em diâmetro

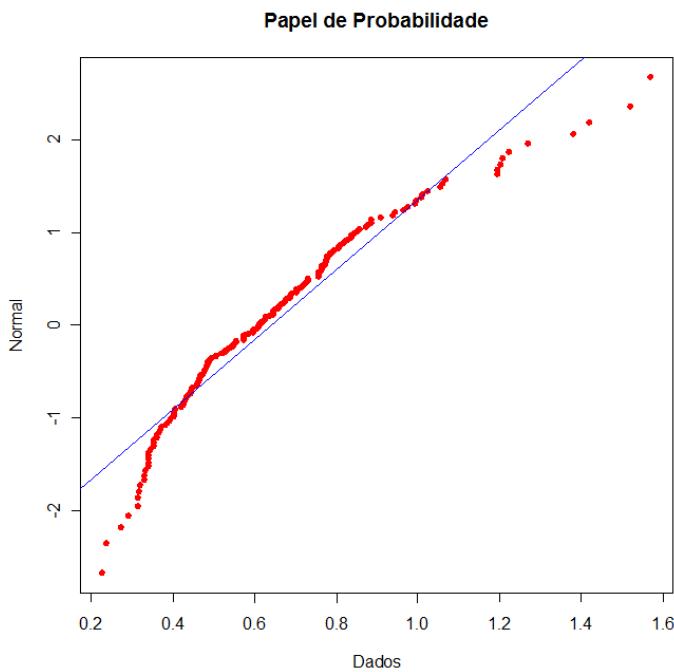
De acordo com a análise das amostras, obteve-se regressão do incremento em diâmetro entre as idades de 13 a 62 anos, sendo que na área há indivíduos com idades superiores a 100 anos. Essas idades encontradas são apenas recuo dos anos em nível de DAP, não representando a idade real da árvore. A partir do ano final (2012) foi-se recuando as idades até o último anel encontrado em direção à medula.

O incremento médio anual em diâmetro das árvores estudadas foi igual a 0,708 cm/ano, variando de 0,01 cm/ano a um incremento máximo de 2,373 cm/ano.

Com os dados de incremento separados em três classes diamétricas, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade e também para verificar se existe diferença significativa no crescimento para as três classes ou se diferem estatisticamente, e entre quais classes são diferentes. O mesmo estudo também foi realizado para explicar se o crescimento difere segundo a orientação latitudinal (Norte, Sul, Leste e Oeste).

O valor para o teste de normalidade foi de 0,0818. Como o P-valor é de 0,439%, rejeita-se a hipótese de normalidade. Assim, com nível de confiança de 95%, têm-se evidências de que os dados não seguem uma distribuição normal (Figura 17).

Figura 17 - Distribuição dos dados de incremento para o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Partindo do ponto em que não há normalidade nos dados, foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para poder saber se existem diferenças entre as classes de diâmetro e também entre as posições cardinais de crescimento.

A tabela 11 apresenta os valores obtidos no teste para as classes de diâmetro, demonstrando que há diferença significativa. Apenas as classes 2 e 3 não apresentam semelhança para os valores de incremento em função da idade.

Tabela 11 - Estatística do teste de Kruskal-Wallis para comparação do crescimento entre as três classes diamétricas.

Informação		Valor	
Kruskal-Wallis qui-quadrado		25,3592	
Graus de liberdade		2	
P-valor		0,00000311	
Fatores comparados	Diferença Observada	Diferença Crítica	Diferença
1 – 2	48,1312	23,0905	Sim
1 – 3	29,2903	22,9004	Sim
2 – 3	18,8409	23,0905	Não
Fatores	Limite Inferior	Efeito	Limite Superior
1	0,4878	0,5491	0,6104
2	0,6548	0,7172	0,7795
3	0,5988	0,6601	0,7214

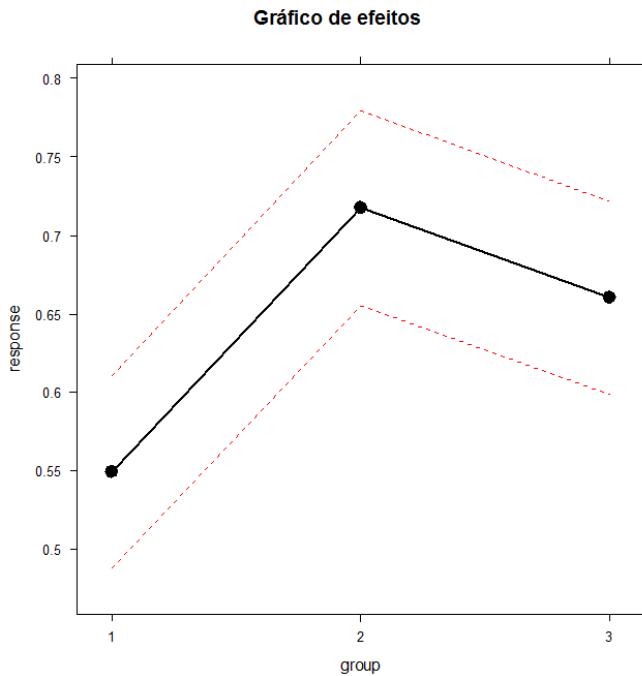
Fonte: Ricken, P. (2014).

O qui-quadrado ( $\chi^2$ ) do teste é de 25,4. Como P-valor é de 0,00000311, rejeita-se a hipótese nula de que, em média, as três classes possuem o mesmo crescimento. Conclui-se, assim, que pelo menos uma delas possui um crescimento médio diferente das demais.

A Figura 18 demonstra esse crescimento diferente que ocorre nas classes.

É possível observar na Figura 18 que enquanto os indivíduos das classes 2 e 3 incrementam em diâmetro de forma semelhante, valores de 0,65 e 0,72, os indivíduos da classe 1 possuem um incremento médio inferior justificado pela significância do teste.

Figura 18 - Gráfico de resposta ao teste de Kruskal-Wallis para dados de crescimento entre as três classes de diâmetro.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Entre as posições de crescimento, consideram-se as latitudes Norte, Sul, Leste e Oeste. A Tabela 12 apresenta os valores obtidos no teste para as direções de crescimento, demonstrando que não há diferença significativa em incremento entre as posições.

O qui-quadrado ( $\chi^2$ ) do teste é de 3,1. Como P-valor é de 0,38, aceita-se a hipótese nula de que, em média, o incremento é indiferente a latitude, podendo haver outros fatores do ambiente que influenciem a diferença no crescimento da espécie estudada.

Tabela 12 - Estatística do teste de Kruskal-Wallis para comparação do crescimento entre os quatro lados de crescimento (Norte, Sul, Leste e Oeste).

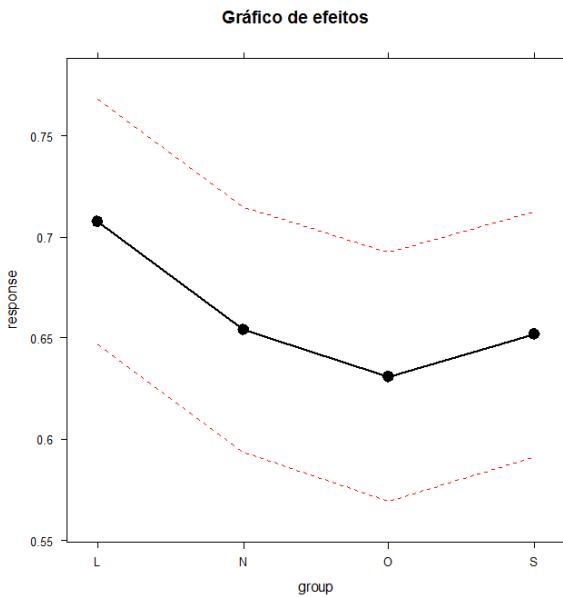
Informação		Valor	
Kruskal-Wallis qui-quadrado		3,0574	
Graus de liberdade		3	
P-valor		0,3829	
Fatores comparados	Diferença Observada	Diferença Crítica	Diferença
L – N	13,6935	33,7180	Não
L – O	20,2489	33,9978	Não
L – S	18,4194	33,7180	Não
N – O	6,5554	33,9978	Não
N – S	4,7258	33,7180	Não
O – S	1,8296	33,9978	Não
Fatores	Limite Inferior	Efeito	Limite Superior
L	0,6473	0,7078	0,7684
N	0,5937	0,6542	0,7147
O	0,5693	0,6308	0,6924
S	0,5914	0,6519	0,7125

Fonte: Ricken, P. (2014).

A Figura 19 demonstra esse incremento semelhante que ocorreu nas quatro direções.

É possível observar na Figura 19 que os indivíduos das direções Norte, Sul, Leste e Oeste crescem em valores semelhantes (entre 0,62 e 0,71), o que justifica o fato de o teste não ter sido significativo.

Figura 19 - Gráfico de resposta ao teste de Kruskal-Wallis para dados de crescimento nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste.



Fonte: Ricken, P. (2014).

#### 4.3.2 MLG - DAP em função da Idade

Nos MLG, foram testados os modelos para os dados de diâmetro à altura do peito em função da variável idade, o inverso que seria a idade em função do diâmetro e também outro modelo relacionando o incremento com a idade, para saber se existe correlação entre esses dados, podendo assim estabelecer uma equação que melhor represente esses dados.

Segundo Imaña-Encinas et al. (2005), a idade de uma árvore é uma variável muito importante, especialmente na estimativa da produção florestal.

Na tabela 13, foram apresentados os critérios de ajuste do MLG *Gama - identidade* para o diâmetro à altura do peito em função da idade. A tabela mostra que o modelo apresentou significância nos parâmetros (valor-*p*<0,0001). Portanto, considerando apenas esse critério, é possível afirmar que o modelo apresentado pode ser utilizado para a estimativa do DAP em função da idade.

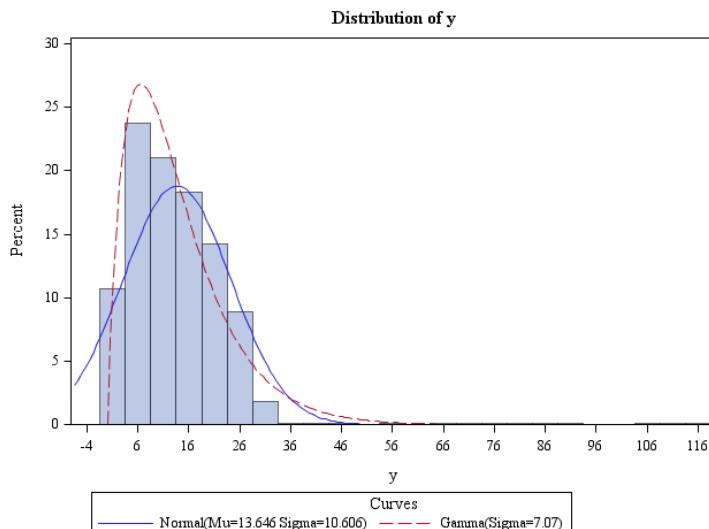
Tabela 13 - Valores dos parâmetros e qualidade dos MLG para ajuste do diâmetro à altura do peito em função da idade.

MLG - FL		Parâmetros			Critério do ajuste		
Gama - $\mu$	Valor	stEerro	Prob. $X^2$	D	BIC	AIC	
Intercepto	1,5381	0,0883	<0,0001		<b>1051,5</b>	<b>24981,5</b>	<b>24962,6</b>
x	0,6591	0,0094	<0,0001				

Onde: MLG-FL = modelo linear generalizado e função de ligação;  $\mu$  = identidade; x = covariável idade; stEerro = erro padrão; Prob.  $X^2$  = probabilidade  $X^2$  de Wald; D = desvio; BIC = critério Bayesiano; AIC = critério de Akaike. Fonte: Ricken, P. (2014).

A Figura 20 comprova o ajuste do MLG gama para os dados de diâmetro à altura do peito. É possível observar a curva gama acompanhando os dados de forma mais exata do que a curva da normal.

Figura 20- Distribuição dos dados de diâmetro à altura do peito.

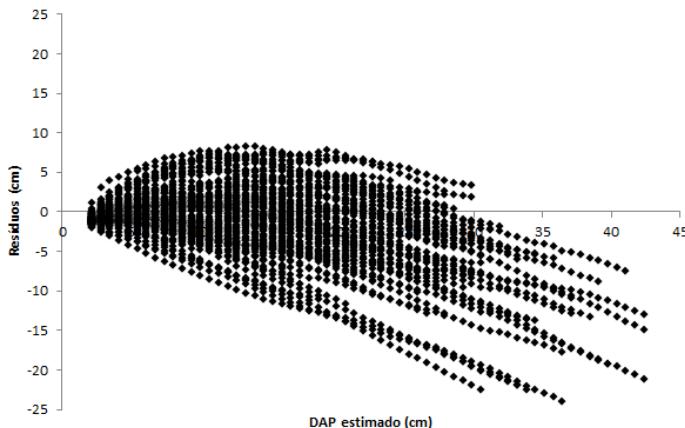


Sendo: na curva normal, Mu = média; Sigma = desvio padrão; e na curva Gamma, Sigma = escala. Fonte: Ricken, P. (2014).

O modelo *Gamma - identidade* foi o que apresentou os menores valores para todos os critérios, Desvio (1051,5), AIC (24962,5), BIC (24981,6) e resíduos homogeneizados (Figura 21).

O modelo também apresentou todos os parâmetros com nível de significância nominal (valores  $p$ ), todos inferiores a 0,0001, indicando o efeito da idade no crescimento em diâmetro.

Figura 21 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para diâmetro à altura do peito em função da idade para indivíduos de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Verifica-se na que o modelo *Gamma - identidade* apresentou uma boa homogeneização dos resíduos, possível de observar pela grande nuvem de pontos que se encontra ao redor do eixo do zero. A análise visual dos resíduos também mostra que até um diâmetro de 30 cm a equação se comporta de forma satisfatória, mas nos diâmetros maiores (acima de 30 cm) a tendência é superestimar os valores da idade.

#### 4.3.3 MLG - Idade em função do DAP

No modelo inverso, que representa a idade em função do diâmetro à altura do peito, resultou novamente no melhor modelo escolhido sendo o *Gama - identidade*. Na Tabela 14, foram apresentados os critérios de ajuste do MLG.

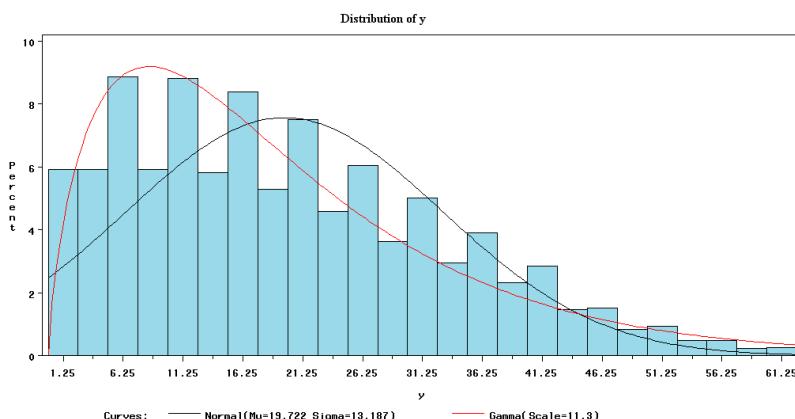
Tabela 14 - Valores dos parâmetros e qualidade dos MLG para ajuste da idade em função do diâmetro à altura do peito.

MLG - FL		Parâmetros		Critério do ajuste		
Gama - $\mu$	Valor	stEerro	Prob. $X^2$	D	BIC	AIC
Intercepto	0,4412	0,061	<0,0001		897,7	27025,4
x	1,5003	0,0139	<0,0001			27006,5

Onde: MLG-FL = modelo linear generalizado e função de ligação;  $\mu$  = identidade; x = covariável idade; stEerro = erro padrão; Prob.  $X^2$  = probabilidade  $X^2$  de Wald; D = desvio; BIC = critério Bayesiano; AIC = critério de Akaike. Fonte: Ricken, P. (2014).

Através da Figura 22 é possível comprovar o ajuste da regressão, mostrando os dados de idade e a curva Gama acompanhando esses dados.

Figura 22 - Distribuição dos dados de idade.

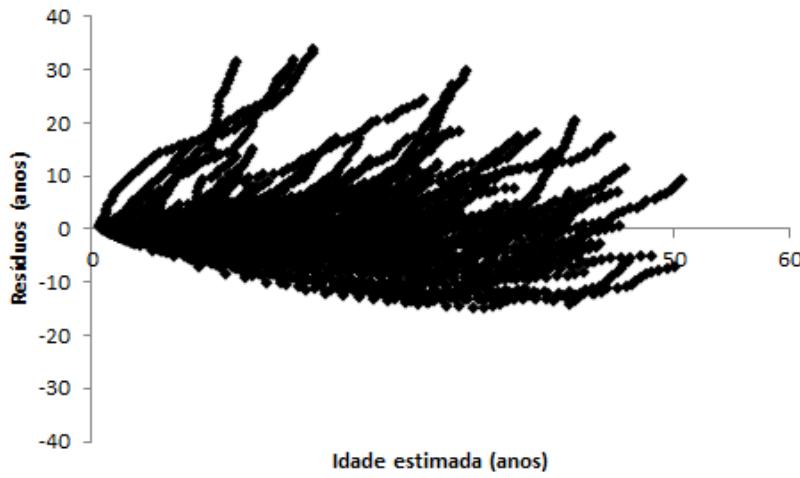


Sendo:  $\mu$  = média;  $\sigma$  = desvio padrão; e  $\lambda$  = escala. Fonte: Ricken, P. (2014).

O modelo *Gamma - identidade* foi o que apresentou os menores valores para todos os critérios, Desvio (897,7), AIC (27006,5), BIC (27025,4) e resíduos homogeneizados (Figura 23).

O modelo também apresentou todos os parâmetros com nível de significância nominal (valores  $p$ ), todos inferiores a 0,0001, indicando o efeito da relação entre o diâmetro no crescimento em idade.

Figura 23 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para idade em função do diâmetro à altura do peito para indivíduos de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Verifica-se na Figura acima que o modelo *Gamma - identidade* apresentou uma boa homogeneização dos resíduos, pois os dados se mantêm em torno do eixo zero. A análise visual dos resíduos também mostra que, quanto menor a idade, a tendência é subestimar os valores de diâmetro.

#### 4.3.4 MLG – Incremento em função Idade

Em relação ao incremento anual, também foram testados os MLG nos três campos aleatórios, Normal, Gama e Poisson utilizando as funções de ligação identidade e logarítmica. O modelo *Normal – identidade* foi o que melhor representou o ajuste do incremento em função da idade. Na Tabela 15 foram apresentados os critérios de ajuste do MLG.

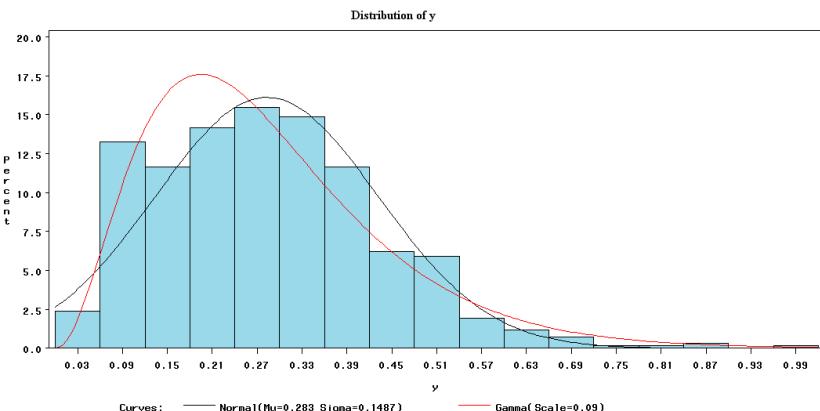
Tabela 15 - Valores dos parâmetros e qualidade do MLG Normal - identidade para ajuste do incremento em função da idade.

MLG - FL		Parâmetros			Critério do ajuste		
Normal - $\mu$	Valor	stEerro	Prob. $X^2$	D	BIC	AIC	
Intercepto	0,1669	0,0096	<0,0001	<b>11,6</b>	<b>-819,3</b>	<b>-832,8</b>	
x	1,5003	0,0139	<0,0001				

Onde: MLG-FL = modelo linear generalizado e função de ligação;  $\mu$  = identidade; x = covariável idade; stEerro = erro padrão; Prob.  $X^2$  = probabilidade  $X^2$  de Wald; D = desvio; BIC = critério Bayesiano; AIC = critério de Akaike. Fonte: Ricken, P. (2014).

A Figura 24 mostra a distribuição dos dados e as curvas normal e gama. Observando o gráfico é possível perceber que os dados seguem uma distribuição normal, comprovando assim o ajuste da regressão.

Figura 24 - Distribuição dos dados de incremento.

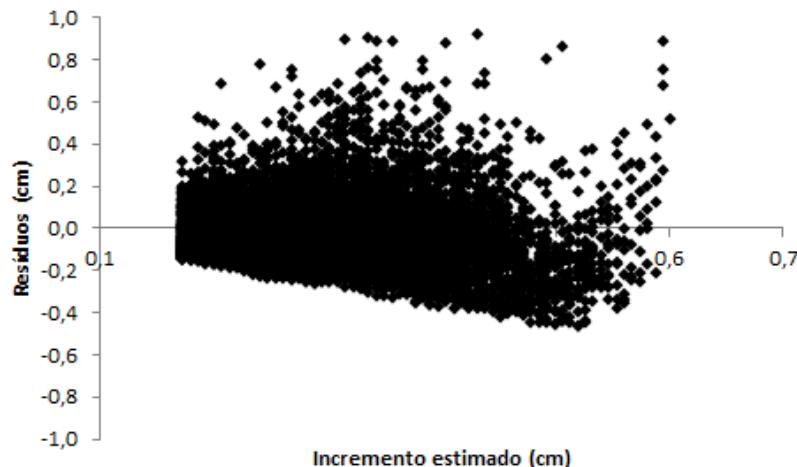


Sendo:  $\mu$  = média;  $\sigma$  = desvio padrão e  $\text{Scale}$  = escala. Fonte: Ricken, P. (2014).

O modelo *Normal - identidade* foi o que apresentou os menores valores para todos os critérios, Desvio (11,6), AIC (-832,8), BIC (-819,3) e resíduos homogeneizados (Figura 25).

O modelo também apresentou todos os parâmetros com nível de significância nominal (valores  $p$ ), todos inferiores a 0,0001 indicando o efeito da relação entre o diâmetro no crescimento em idade.

Figura 25 - Distribuição dos resíduos para o MLG Gama - identidade para incremento em função da idade para indivíduos de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Verifica-se na que o modelo *Normal - identidade* apresentou uma boa homogeneização dos resíduos, sendo que os resíduos ficaram distribuídos entre +1 e -1.

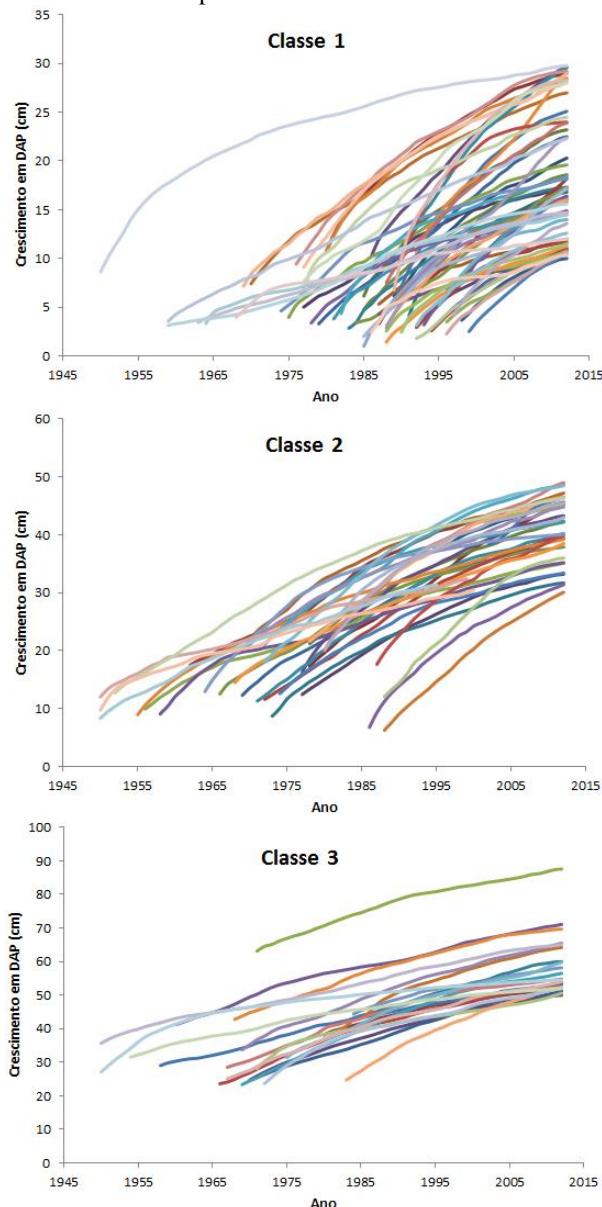
#### 4.3.5 Incremento

Em relação ao incremento dos indivíduos de araucária, observou-se um valor médio geral de 0,708 cm/ano, valor abaixo do citado por Mattos et al. (2007), que obtiveram média de crescimento de 0,9 cm/ano.

Porém, em algumas árvores foram encontrados valores que ultrapassam 2 cm por ano, indicando que a espécie tem potencial para cultivo comercial, apenas necessitando de manejo apropriado para favorecer seu crescimento, rentabilidade e desenvolvimento.

As trajetórias individuais de crescimento acumulado em DAP, em cada classe estão sendo mostradas na Figura 26.

Figura 26 - Crescimento em DAP para cada árvore dentro das três classes estudadas obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Na classe 1 é possível observar alguns indivíduos que necessitaram de 40 anos e que não cresceram 7 cm em DAP, estando abaixo da capacidade de incremento da espécie, indicando também que poderiam ser retirados, abrindo-se espaço para as árvores com potencial futuro de desenvolvimento, o que indica também alta competição, o que os impede de se desenvolverem em plena vitalidade de seu potencial de crescimento.

Nessa área, alguns desbastes deveriam ter sido conduzidos para favorecer o crescimento das árvores que estão suprimidas ou também fazer um manejo adequado para priorizar as árvores com vigor de crescimento.

Houve uma diferença de crescimento entre as classes, sendo que a menor (1) apresentou um crescimento médio de 0,54 cm/ano, a classe (2) intermediária apresentou um crescimento médio de 0,717 cm/ano e a classe (3) das árvores de maior diâmetro um crescimento médio de 0,66 cm/ano.

Esse crescimento de apenas 0,54 cm/ano na classe 1 pode indicar a alta competição que esta presente no povoamento, pois a presença de muitos indivíduos faz com que a luz solar não incida de forma suficiente e assim os indivíduos não conseguem se desenvolver de forma satisfatória. Os que conseguem passar para a próxima classe acabam melhorando esse crescimento, pois saem da competição maior, que é quando as árvores estão ainda em início de crescimento.

Mattos et al. (2007) encontraram valor médio de crescimento de 0,9 cm/ano. Esse valor, que não foi alcançado na média de nenhuma das classes, pode indicar também a alta competição dessa área, que não está apenas ocorrendo apenas nas fases iniciais, e sim com todos os indivíduos. Isso nos indica que esse povoamento necessita de um desbaste de árvores mais jovens que já estão com crescimento estagnado para poder deixar as árvores que estão em melhores situações se desenvolverem.

Com base nas árvores da classe 2 pode-se inferir a idade de interferência silvicultural, pois nessa classe os indivíduos apresentam potencial de incremento, ou seja, uma intervenção com manejo significaria um aumento em dimensão e crescimento para as árvores remanescentes. Essa classe caracteriza as árvores que romperam a competição inicial e conseguiram alcançar os índices médios de incremento em um curto período de tempo específico para a espécie.

Na classe 3 é possível observar que essas árvores tiveram condições favoráveis ao crescimento, e já atingiram sua capacidade de suporte.

A forma da curva de crescimento representa uma lei conhecida em economia que é a lei dos rendimentos decrescentes, i.e., não se justifica a aplicação de insumos/recursos, pois eles serão sempre superiores ao valor de crescimento/produção que a árvore conseguirá obter. Segundo HESS et al. (2009) a araucária possui idade técnica de rotação aos 30-35 anos, indicando que seria a idade de intervenção na floresta para manejo de densidade.

#### 4.3.6 Crescimento futuro

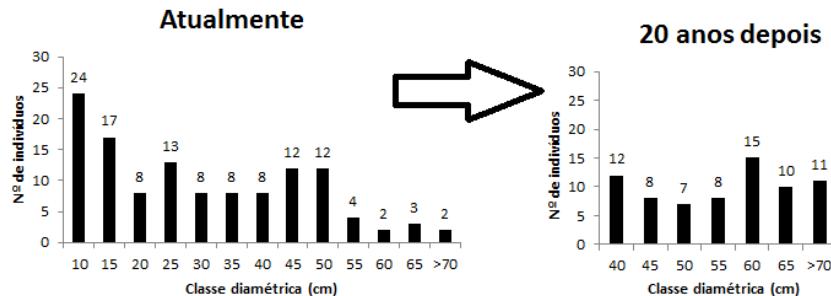
Além de indicar a condição atual do povoamento, a medição do crescimento também tem como finalidade fornecer informações sobre o futuro desses indivíduos.

Tendo como base os DAP mensurados em campo é possível fazer uma prospecção dos dados, obtendo assim um cenário futuro de como os indivíduos estarão daqui a 20 anos. Foi utilizada como base de crescimento a média de incremento por classe de diâmetro dos indivíduos e acrescentado aos valores atuais de DAP, chegando assim em um cenário onde pode-se inferir quantos indivíduos vão conseguir ingressar nas próximas classes.

Segundo Scolforo (1998), a definição do número de árvores por classe de diâmetro que evolui ao longo do tempo é um ponto de grande importância para ser abordado no manejo. O número de árvores que passam de classe vai nos indicar o quanto pode ser retirado da floresta no determinado momento requerido, sem afetar a estrutura geral da floresta.

A Figura 27 mostra o número de indivíduos por classe atualmente e um cenário possível para próximos 20 anos. Esse cenário futuro indica apenas os indivíduos com DAP acima de 40 cm, que seria o DAP mínimo para corte, mantendo as classes menores para que elas possam suprir a demanda da floresta nas classes superiores. Sendo que nos cálculos não foi considerada a mortalidade dos indivíduos.

Figura 27 - Prospectiva de ingressos nas classes maiores após 20 anos.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Os indivíduos que atualmente estão nas classes menores irão passar de classe e, após 20 anos, eles estarão nas classes ideais para corte. O que atualmente são 43 indivíduos por hectare nas classes acima de 40 cm no futuro será 71, mantendo o mesmo ritmo de crescimento. Assim, proporcionando um manejo adequado da área e dessas árvores que já indicaram nos estudos que possuem potencial acima da média de rendimento, essa floresta pode render além dos 65,12% projetados nesse estudo.

O crescimento da Araucária não é constante e sua velocidade não é uniforme, pois ela encontra-se no Sul do Brasil em regiões altas e frias, onde o próprio clima determina período de atividade seguido de repouso (MATTOS, 2011).

Segundo Mattos (2011), o crescimento em diâmetro se intensifica, geralmente quando a planta atinge de vinte a trinta anos. Após essa fase, vai reduzindo, gradativamente, o ritmo de crescimento com a maturidade e velhice.

Durante os anos de 1997 e 2007 foi encontrado um incremento médio anual geral de 0,47 cm/ano, muito semelhante ao valor encontrado, nesse mesmo período, por Mattos et al. (2007) na Reserva Florestal Embrapa/Epagri em Caçador, que encontrou um incremento de 0,40 cm/ano.

#### 4.3.7 Variáveis climáticas

Para o estudo das variáveis climáticas que mais influenciam no crescimento foi utilizado o incremento como variável resposta, i.e.,

como variável dependente, pois se considera que ele expressa a capacidade produtiva e o desenvolvimento da espécie.

Na Tabela 16 observam-se os valores das médias, desvio padrão e valores mínimo e máximo das variáveis utilizadas na determinação da correlação de Pearson.

Na Tabela 17 apresentam-se os resultados da matriz de correlação de Pearson. No canto direito da tabela estão os valores dos coeficientes de correlação de Pearson e na parte esquerda à probabilidade de significância.

Tabela 16 - Estatística das médias, desvio padrão e limites mínimos e máximos dos fatores climáticos.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
IT	167,82	12,71649	137,16	190,5
DP	14,02	2,10352	11,67	17,33
PT	148,70	28,32817	94,79	208,13
TMMax	22,10	0,66785	21,03	23,92
TMMin	12,0	0,73960	10,63	14,31
UR	79,98	2,04091	76,03	83,72
Inc	0,45815	0,10328	0,287	0,666

Sendo: Inc = incremento médio em cm/ano; IT = insolação total em dias; DP = precipitação em número de dias; PT = precipitação total em mm; TMMax = Temperatura média máxima em °C; TMMin = Temperatura média mínima em °C; UR = umidade relativa do ar em %. Fonte: Ricken, P. (2014).

Tabela 17 - Correlação de Pearson para incremento com fatores climáticos.

Var	IT	DP	PT	TMMax	TMMin	UR	Inc
IT	1	-0,138	-0,311	-0,241	-0,509	-0,668	0,020
DP	0,563	1	0,246	-0,317	0,158	-0,320	0,618
PT	0,182	0,295	1	-0,270	-0,039	0,119	0,040
TMMax	0,306	0,174	0,249	1	0,661	0,442	-0,462
TMMin	0,022	0,507	0,869	0,002	1	0,330	0,154
UR	0,001	0,169	0,617	0,051	0,155	1	-0,579
Inc	0,934	0,004	0,866	0,040	0,517	0,007	1

Sendo: Var = variável; Inc = incremento médio em cm/ano; IT = insolação total em dias; DP = precipitação em número de dias; PT = precipitação total em mm; TMMax = Temperatura média máxima em °C; TMMin = Temperatura média mínima em °C; UR = umidade relativa do ar em %. Fonte: Ricken, P. (2014).

Pelos resultados obtidos é possível verificar que o incremento apresentou correlação positiva apenas com o número de dias de precipitação (0,618). Todas essas correlações obtiveram valores de probabilidade  $>0,0001$ , indicando baixa significância entre o incremento médio anual e os fatores climáticos analisados.

A correlação positiva com a precipitação indica a importância das chuvas no crescimento da araucária, sendo importante para a absorção de nutrientes, facilitada em solos mais úmidos.

O incremento apresentou correlação negativa com a umidade relativa (-0,579), sendo que a temperatura média máxima (-0,462) chegou muito próxima também da correlação. Indicou-se assim, que, quanto maior o valor desses fatores climáticos, menor o incremento, retardando o desenvolvimento da espécie.

Após o estudo da análise de correlação, obteve-se prévia informação de quais variáveis climáticas influenciavam diretamente no incremento corrente anual. O próximo passo consistiu em gerar no SAS, pelos modelos lineares generalizados, o modelo que melhor se ajusta aos dados.

Os MLG foram testados nos três campos aleatórios, Normal, Gama e Poisson, utilizando as funções de ligação identidade e logarítmica. O modelo *Normal – identidade* foi aquele que melhor representou o ajuste do incremento médio em função do número de dias de precipitação e da umidade relativa.

Na Tabela 18 são apresentados os critérios de ajuste da seleção do melhor modelo, para incremento médio em função das variáveis climáticas.

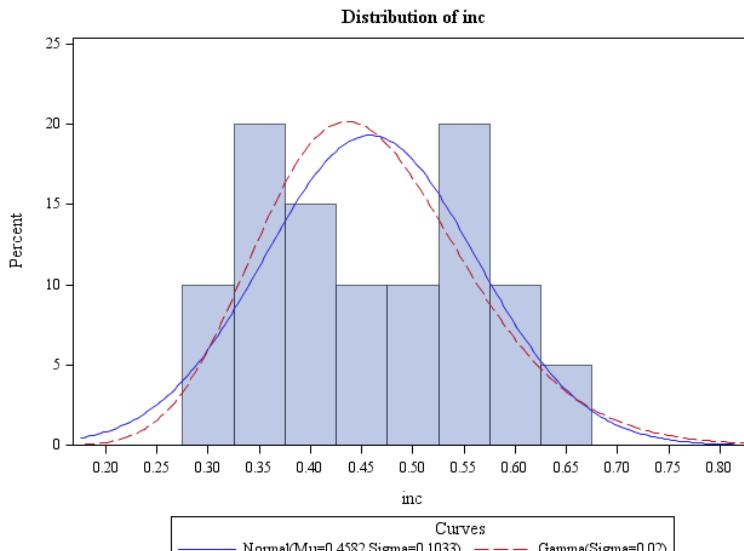
Tabela 18 - Valores dos parâmetros e qualidade do MLG para ajuste do incremento médio em função das variáveis climáticas.

MLG - FL		Parâmetros			Critério do ajuste		
Normal - $\mu$	Valor	stEerro	Prob. $X^2$	D	BIC	AIC	
Intercepto	1,8474	0,6877	7,22		<b>0,0923</b>	<b>-38,83</b>	<b>-42,81</b>
DP	0,0237	0,0078	9,17				
UR	-0,0215	0,0081	7,13				

Onde: MLG-FL = modelo linear generalizado e função de ligação;  $\mu$  = identidade; DP = número de dias de precipitação; UR = umidade relativa; stEerro = erro padrão; Prob.  $X^2$  = probabilidade  $X^2$  de Wald; D = desvio; BIC = critério Bayesiano; AIC = critério de Akaike. Fonte: Ricken, P. (2014).

A Figura 28 comprova o ajuste do MLG normal para os dados de precipitação total e umidade relativa. É possível observar as curvas normal e gama muito próximas, mas estatisticamente a normal se aproxima melhor dos dados do que a curva gama.

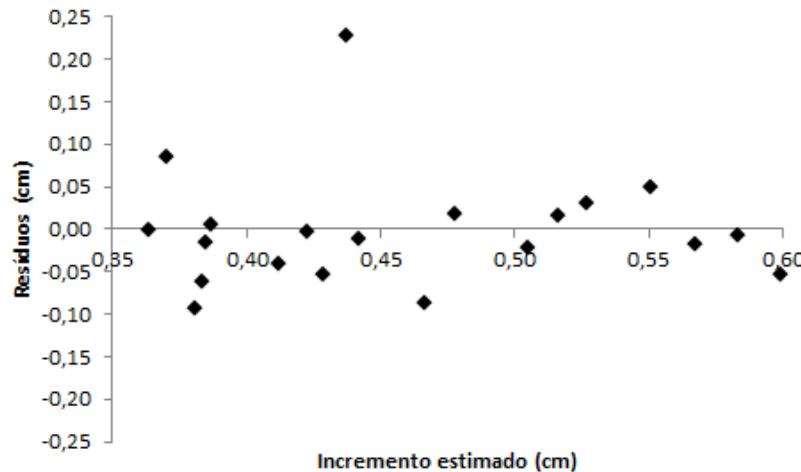
Figura 28 - Distribuição dos dados de incremento.



Sendo: na curva normal,  $\mu$  = média;  $\sigma$  = desvio padrão; e na curva Gamma,  $\sigma$  = escala. Fonte: Ricken, P. (2014).

O modelo *Normal - identidade* foi o que apresentou os menores valores para todos os critérios, *Desvio* (0,0923), AIC (-42,81), BIC (-38,83) e resíduos homogeneizados (Figura 29).

Figura 29 - Distribuição dos resíduos para o MLG Normal - identidade para incremento em função do número de dias de precipitação e da umidade relativa para indivíduos de *Araucaria angustifolia* em Lages, SC.



Fonte: Ricken, P. (2014).

Verifica-se na que o modelo *Normal - identidade* apresentou uma boa homogeneização dos resíduos. Apesar do pequeno número de pontos, eles estão distribuídos de forma concentrada em torno do eixo do zero.

#### 4.4 CONCLUSÃO

A *Araucaria angustifolia* apresenta grande potencial de crescimento, confirmado pelos estudos dendrocronológicos realizados, em que foi possível obter o incremento em diâmetro referente aos anos de 1950 até 2012. A análise dos anéis de crescimento apresentou um incremento médio geral em diâmetro de 0,708 cm/ano, sendo que foi encontrado um valor máximo de 2,373 cm/ano, o que indica que com

manejo adequado da área é possível melhorar a produção e utilização da floresta.

Através das análises estatísticas comprovou-se que existe diferença significativa entre as três classes de diâmetro, sendo que os indivíduos da classe 1 possuem um incremento médio em diâmetro inferior aos das classes 2 e 3. Entre as latitudes Norte, Sul, Leste e Oeste não houve diferença significativa em incremento diamétrico.

A técnica dos MLG se mostrou eficiente para ajuste dos dados e pode ser empregada com acurácia para as equações testadas, pois apresentou significância estatística.

A área, que está sem manejo há muitos anos, apresenta hoje 43 ind./ha acima dos 40 cm de DAP, o estudo prospectivo mostrou que em 20 anos, mantendo-se o mesmo ritmo de crescimento, esse número pode passar para 71 ind./ha. Assim, com um manejo adequado da área e dos indivíduos, é possível promover um aumento ainda maior no número de indivíduos e também proporcionar uma melhor estruturação da floresta.

Os dados climáticos são variáveis de grande importância e caminham junto ao estudo do crescimento. Sendo assim, através dos cálculos obteve-se correlação positiva entre o incremento médio anual e o número de dias de precipitação e correlação negativa com a umidade relativa.

## REFERÊNCIAS

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. Editora Edgard Blücher. São Paulo. 1977. 264 pp.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 576p.

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.

IMAÑA-ENCINAS, J.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2005. V. 7, 40 p. (UNB. Comunicações Técnicas Florestais, v. 7, n. 1).

MATTOS, J. R. de. **O pinheiro brasileiro.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 608p.

MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. de, **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais.** Colombo: Embrapa Florestas; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 218); (Embrapa Pantanal, Documentos, 112).

MATTOS, P. P. de; SANTOS, A. T. dos; OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSOT, M. A. D. **Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR.** Colombo, PR: Pesquisa Florestal Brasileira, jan./jun. 2007. n. 54, p 153-156 (PFB. Notas Científicas).

RODERJAN, C. V.; GALVAO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Revista Ciência & Ambiente**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, n. 24, p. 75-92, jan/jun 2002.

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

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal.** Lavras: FAEPE, 1998. 438 p.

## 5 CONCLUSÃO

A floresta de araucária estudada tem potencial para manejo florestal sustentável e que a dendrocronologia é uma ferramenta de grande ajuda para potencializar esse manejo. Por avaliarem o comportamento da espécie no tempo, esses estudos nos ajudam a entender a dinâmica da Araucária, fornecendo informações essenciais para o manejo e uso sustentável da espécie e de suas florestas.

Poucos países dispõem de uma diversidade de ecossistemas e de cenários naturais como o Brasil. No entanto, são ainda raros os programas visando ao uso sustentável desses recursos. As leis são absolutamente necessárias para disciplinar e dar sustentação legal às ações, mas não bastam em si para alcançar os resultados almejados. Toda lei deve ser precedida, sustentada e constantemente acompanhada por programas eficientes de educação ambiental.

Sendo assim, pelo padrão de crescimento da floresta é possível concluir que as árvores poderiam ser manejadas para atingir maiores diâmetros, a realização de interferências na floresta favoreceriam as remanescentes.