

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO

**MODELAGEM E VARIAÇÃO DO CRESCIMENTO AO LONGO DO FUSTE DE
ÁRVORES FEMININAS E MASCULINAS DE *Araucaria angustifolia***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MILAYNE LOPES RICKLI

IRATI-PR

2020

MILAYNE LOPES RICKLI

**MODELAGEM E VARIAÇÃO DO CRESCIMENTO AO LONGO DO FUSTE DE
ÁRVORES FEMININAS E MASCULINAS DE *Araucaria angustifolia***

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais - Mestrado, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Prof^ª. Dra. Andrea Nogueira Dias

Orientadora

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientador

Prof^ª. Dra. Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães

Coorientadora

IRATI-PR

2020

Catálogo na Publicação
Rede de Bibliotecas da Unicentro

R539m Rickli, Milayne Lopes
Modelagem e variação do crescimento ao longo do fuste de árvores femininas e masculinas de *Araucaria angustifolia* / Milayne Lopes Rickli. -- Irati, 2020.
xi, 61 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, 2020.

Orientadora: Andrea Nogueira Dias
Coorientador: Afonso Figueiredo Filho
Coorientadora: Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães
Banca examinadora: Evaldo Muñoz Braz, Rafaella De Angeli Curto, Andrea Nogueira Dias

Bibliografia

1. Crescimento. 2. Anéis de crescimento. 3. Floresta ombrófila mista. 4. Pinheiro do Paraná. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

CDD 634.9



TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 150

Milayne Lopes Rickli

“Modelagem e variação do crescimento ao longo do fuste de árvores femininas e masculinas de *Araucaria angustifolia*”

Dissertação aprovada em 28/08/2020, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Dr. Evaldo Muñoz Braz
Embrapa Florestas
Primeiro Examinador

Dra. Rafaella De Angeli Curto
Universidade Federal Rural Rio de Janeiro
Segunda Examinadora

Dra. Andrea Nogueira Dias
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientadora e Presidente da Banca
Examinadora

Irati - PR
2020

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA - PR

Campus Cedeteg: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carlí – Fone: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-167 – GUARAPUAVA – PR

Campus de Irati: Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 CEP 84.505-677 – IRATI – PR

Ao meu falecido Avô Noé Lopes Sobrinho por compartilhar do seu
encanto por conhecimento, por todo o incentivo e ensinamento.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Prof^ª Dr^ª Andrea Nogueira Dias pela orientação deste trabalho, amizade e incentivo.

Ao Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho pela coorientação e pela confiança na utilização dos dados e amizade.

A Prof^ª Dr^ª Fabiane Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães pela coorientação e amizade.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da UNICENTRO pela oportunidade de aperfeiçoamento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de mestrado e financiamento da pesquisa.

A toda minha família, meus pais Mara e Ronaldo, meus irmãos Jessyka, Paulo, Nathália e Geazy, e ao meu cunhado Robson, por estar sempre ao meu lado me apoiando em todas as minhas decisões, e em especial ao meu afilhado Heitor por ser luz em dias difíceis.

A todos os meus colegas e amigos que fizeram parte dessa etapa importante da minha vida. Em especial meus amigos Rafael Henrique Roque e Alana Paula da Silva por permanecerem na minha vida ao longo de todo o tempo de estudo.

Aos meus amigos do “BIO 3” Érica, Aline, Kaline, Emílio e Raul por todas as conversas e cafés.

A todas as mulheres maravilhosas, Mara, Alana, Jessyka, Francielen, Priscila, Suelen, Carla, Éli, Érica, Aline, Kaline, que me apoiaram nessa etapa, seja ajudando na pesquisa, ou incentivando e acreditando no meu potencial, eu não conseguiria sem vocês.

A Aline Beatriz do Vale por todo apoio, auxílio, amizade e estar sempre presente nos momentos de desânimo.

A todos os integrantes, do Projeto “Imbituvão” pelo auxílio na coleta de dados desta pesquisa.

A todos que participaram diretamente ou não, desta importante etapa profissional e pessoal que foram estes nove anos de UNICENTRO.

A todos, a minha gratidão!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Floresta Ombrófila Mista.....	4
3.2 <i>Araucaria angustifolia</i>	5
3.3 Crescimento das árvores.....	6
3.4 Anéis de Crescimento.....	7
3.5 Dendrocronologia.....	8
3.6 Distribuição do incremento ao longo do fuste.....	9
3.7 Diâmetro mínimo de corte.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 Área de estudo.....	12
4.2 Coleta de dados.....	13
4.3 Datação cruzada.....	14
4.4 Incremento em diâmetro, altura e volume.....	15
4.5 Padrões de crescimento e tempo de passagem.....	16
4.5.1 Construção de curvas de ICA e IMA.....	18
4.6 Definição do diâmetro mínimo de corte (DMC).....	18
4.7 Variação do Incremento ao longo do fuste.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5.1 Caracterização dos dados.....	22
5.2 Datação cruzada e construção da cronologia.....	23
5.3 Estimativas da espessura de casca.....	25
5.4 Modelos de crescimento para estimar diâmetro, altura total e volume.....	27
5.4.1 Curvas de crescimento para o conjunto de dados.....	30
5.5 Modelos de crescimento para estimar diâmetro, altura total e volume para os dados estratificados.....	33
5.5.1 Curvas de crescimento para indivíduos masculinos e femininos.....	35

5.5.2 Curvas de crescimento para indivíduos com crescimento superior e inferior.....	37
5.6 Tempo de Passagem.....	39
5.7 Diâmetro mínimo de corte	40
5.8 Variação do Incremento ao longo do fuste	43
5.8.1 Influência da dioicia na variação do incremento ao longo do fuste	47
6. CONCLUSÕES.....	53
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Propriedade onde foi realizado o experimento. Em vermelho áreas com dominância de Araucária (Estrato II), sendo o corte das Araucárias realizado nas sub-parcelas 59, 60, 64, 65, 69, 70, 74, 75, 91, 92, 96 e 97 (Fonte: Projeto Imbituvão).....	13
Figura 2. (A) Equipamento LINTAB 6, utilizado na mensuração dos anéis de crescimento. (B) Diferenciação dos anéis de crescimento.	14
Figura 3. Índice de crescimento gerado pelo ARSTAN para <i>Araucaria angustifolia</i> em Fernandes Pinheiro-PR.	25
Figura 4. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas para estimativa do diâmetro com casca (dcc) ao longo do tronco.	26
Figura 5. Funções de crescimento ajustadas para descrever o DAP com casca de Araucária em função da idade. Linha contínua indica a função ajustada juntamente com os dados observados.	28
Figura 6. Funções de crescimento ajustadas para descrever a altura total de Araucária em função da idade. Linha contínua indica a função ajustada juntamente com os dados observados.	29
Figura 7. Funções de crescimento ajustadas para descrever o volume total com casca de Araucária em função da idade. Linha contínua indica a função ajustada juntamente com os dados observados.	29
Figura 8. Função de Chapman-Richards ajustada para construir as curvas de ICA e IMA para variável DAP com casca (A), altura total (B) e volume total com casca (C) em função da idade para o conjunto de dados de <i>Araucaria angustifolia</i>	31
Figura 9. Função de Chapman-Richards ajustada para construir as curvas de ICA e IMA para variável DAP com casca (A), altura total (B) e volume total com casca (C) em função da idade para os dados estratificados para indivíduos masculinos e femininos de <i>Araucaria angustifolia</i>	35
Figura 10. Função de Chapman-Richards ajustada para construir as curvas de ICA e IMA para variável DAP com casca (A), altura total (B) e volume total com casca (C) em função da idade para os dados estratificados para os dados estratificados em indivíduos superiores e inferiores de <i>Araucaria angustifolia</i>	38
Figura 11. Tempo de Passagem em classes diamétricas para indivíduos masculinos e femininos de <i>Araucaria angustifolia</i>	39

- Figura 12.** Curvas médias de incrementos corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) em volume e do crescimento acumulado em diâmetro de *Araucaria angustifolia* construídas pelo método de Schöngart (A) e usando Análise de Tronco Completa (ANATRO). Linha vertical representa o máximo de incremento corrente em volume. 41
- Figura 13.** Representação gráfica dos incrementos periódicos em diâmetro e em área transversal em diferentes alturas do fuste de *Araucaria angustifolia*. 45
- Figura 14.** Representação gráfica dos incrementos em diâmetro e em área transversal em diferentes alturas do fuste de indivíduos masculinos e femininos de *Araucaria angustifolia*. 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos matemáticos testados para estimativa dos diâmetros com casca.	16
Tabela 2. Modelos matemáticos testados para descrever o crescimento em diâmetro com casca a 1,3 m do solo (DAP), altura total e volume total com casca de <i>Araucária</i> em função da idade.	17
Tabela 3. Estatísticas descritivas do diâmetro com casca (DAP), altura total, volume total com casca de <i>Araucaria angustifolia</i> em Fernandes Pinheiro, PR.	22
Tabela 4. Estatísticas das cronologias de anéis de crescimento de <i>Araucaria angustifolia</i>	23
Tabela 5. Comparação entre diferentes autores para as estatísticas das cronologias de crescimento de <i>Araucaria angustifolia</i>	24
Tabela 6. Coeficientes e estatísticas dos modelos ajustadas para estimativa do diâmetro com casca.	26
Tabela 7. Estatísticas do ajuste e precisão dos modelos de crescimento para o DAP com casca, altura total e volume total com casca de <i>Araucaria angustifolia</i> em função da idade.	27
Tabela 8. Valores de Incremento Médio anual encontrados para <i>Araucaria angustifolia</i>	32
Tabela 9. Estatísticas do ajuste do modelo de Chapman-Richards para o diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca de <i>Araucária</i> em função da idade para os dados estratificados.	34
Tabela 10. Teste de identidade para o modelo de Chapman-Richards.	34
Tabela 11. Coeficientes e estatísticas do ajuste dos modelos testados para estimativa de DAP com casca e altura total.	40
Tabela 12. Definição do diâmetro mínimo de corte (DMC) para o método de Schöngart e usando o método de Análise de Tronco Completa (ANATRO).	40
Tabela 13. Variação do incremento periódico em diamétrico e em área transversal (%) ao longo do fuste em <i>Araucaria angustifolia</i>	43
Tabela 14. Variação do incremento diamétrico (%) para indivíduos masculinos e femininos ao longo do fuste em <i>Araucaria angustifolia</i>	48
Tabela 15. Variação do incremento em área transversal (%) para indivíduos masculinos e femininos ao longo do fuste em <i>Araucaria angustifolia</i>	49

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo geral realizar estudos de modelagem e variação do crescimento ao longo do fuste de árvores femininas e masculinas de *Araucaria angustifolia* em floresta nativa. Tendo como objetivos específicos, verificar o padrão de crescimento por meio da construção de cronologias; modelar o seu crescimento em relação ao diâmetro a altura do peito (à 1,30 m de altura do solo), altura e volume (DAP, h, v) para árvores masculinas e femininas; determinar o tempo de passagem em classes diamétricas para as árvores masculinas e femininas; comparar diferentes métodos para definição do diâmetro ótimo de corte para *A. angustifolia*; e verificar a variação do incremento anual de madeira ao longo do fuste de *A. angustifolia*, analisando a influência da dioícia. Para isso foram utilizados dados provenientes de 45 indivíduos de Araucária, com diâmetros variando de 40 a 70 cm, as quais se encontravam em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista (FOM) localizado no município de Fernandes Pinheiro, PR. A seleção desses indivíduos se deu levando em conta a condição do fuste reto; a posição sociológica no extrato superior; a fitossanidade classificada como boa e a posição de copa. Além disso, levou-se em consideração a definição de indivíduos femininos e masculinos. De cada indivíduo foram retirados cinco discos, sendo o primeiro retirado próximo à altura de 0,1 m, os discos 2 e 3 retirados da porção comercial do fuste, sendo o terceiro retirado na posição do início da copa, o disco 4 e 5 foram retirados, respectivamente, a 33% e 66% a partir do início da copa. Nesses discos foi realizada a análise de tronco (ANATRO), onde se fez a mensuração dos anéis de crescimento, reconstituindo todo o crescimento das árvores. Ainda, com base no incremento diamétrico do disco retirado na base das árvores, foi realizada a estimativa dos valores de DAP para cada idade. Com os dados da ANATRO foram ajustados três modelos de crescimento em diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca para indivíduos masculinos e femininos e para classes de árvores com crescimento superior e inferior à média, e utilizando-se o melhor modelo, Chapman-Richards, foram construídas curvas de Incremento corrente anual (ICA) e Incremento médio anual (IMA) a fim de avaliar o crescimento e produção. Ainda, a partir dos ajustes do modelo de Chapman-Richards determinou-se o tempo de passagem em classes diamétricas para as árvores femininas e masculinas. Realizou-se também a comparação de dois métodos para definição do diâmetro mínimo de corte (DMC) e determinação do ciclo de corte para *A. angustifolia*, o método utilizado por Schöngart e o método utilizando dados da ANATRO. Com relação às curvas de ICA e IMA, o máximo incremento médio anual observado para o diâmetro foi de $0,56 \text{ cm.ano}^{-1}$ e ocorreu aos 56 anos; para altura foi $0,38 \text{ m.ano}^{-1}$ aos 14 anos e para volume $0,026 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ aos 176 anos. Já os resultados obtidos pela análise do tempo de passagem permitiram verificar que há uma tendência de o tempo entre as classes aumentar conforme aumenta o diâmetro, exceto para a menor classe de diâmetro (0-10 cm), sendo que os indivíduos masculinos levaram um maior tempo de passagem entre as classes. Na definição do DMC, observou-se que para o método de Schöngart o DMC foi de 34,77 cm de DAP aos 62 anos, e para o método usando ANATRO, o DMC foi de 47,69 cm de DAP aos 100 anos. Com relação à variação do incremento ao longo do fuste, as árvores amostradas tendem a atingir uma forma mais cilíndrica aos 90 anos. Quanto à dioícia, os indivíduos masculinos apresentam valores superiores em incrementos até os 60 anos, o que pode ser explicado pelo ciclo de reprodução dos indivíduos femininos, o qual ocasiona um maior gasto de energia e influencia no crescimento da árvore.

Palavras-chave: crescimento, anéis de crescimento, floresta ombrófila mista, pinheiro do Paraná.

ABSTRACT

This work had as general objective to carry out studies of modeling and growth variation along the stem of female and male *Araucaria angustifolia* trees in native forest. It had as specific objectives, verify the growth pattern through the construction of chronologies; model its growth in relation to the diameter, the height of the chest (at 1.30 m from the ground), height and volume (DBH, h, v) for male and female trees; determine the passage time in diametric classes for male and female trees; compare different methods for defining the optimal cut diameter for *A. angustifolia*; and to verify the variation of the annual increase of wood along the stem of *A. angustifolia*, analyzing the influence of dioecia. For this, data came from 45 individuals from Araucária were used, with diameters ranging from 40 to 70 cm, which were located in a fragment of Mixed Ombrophilous Forest (FOM) located in the city of Fernandes Pinheiro, PR. These individuals were selected taking into account the condition of the straight stem; the sociological position in the upper extract; plant health classified as good and crown position. In addition, the definition of female and male individuals was taken into account. Five discs were removed from each individual, the first being removed close to the height of 0.1 m, discs 2 and 3 removed from the commercial portion of the stem, the third being removed in the position of the top of the crown, discs 4 and 5 were removed, respectively, at 33% and 66% from the beginning of the crown. The Complete stem analysis (ANATRO) was performed on these discs, where the growth rings were measured, reconstituting the entire growth of the trees. In addition, based on the diameter increase of the disc removed at the base of the trees, the DBH values for each age were estimated. With ANATRO data, three growth models in diameter with bark (DBH), total height and total volume with bark were adjusted for male and female individuals and for classes of trees with higher and lower than average growth, and using the best Chapman-Richards model, Current Annual Increment (CAI) and Mean Annual Increment (MAI) curves were constructed to assess growth and production. Still, from the adjustments of the Chapman-Richards model, the passage time was determined in diametric classes for female and male trees. Two methods were compared to define the minimum logging diameter (MLD) and determine the cut cycle for *A. angustifolia*, the method used by Schöngart and the method using data from ANATRO. Regarding the CAI and MAI curves, the maximum average annual increase observed for the diameter was $0.56 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$ and occurred at 56 years; for height it was $0.38 \text{ m}\cdot\text{year}^{-1}$ at 14 years and for volume $0.026 \text{ m}^3\cdot\text{year}^{-1}$ at 176 years. The results obtained by the analysis of the passage time allowed us to verify that there is a tendency for the time between the classes to increase as the diameter increases, except for the smaller diameter class (0-10 cm), with male individuals taking a longer passage time between classes. In the definition of MLD, it was observed that for Schöngart's method, the MLD was 34.77 cm of DBH at 62 years old, and for the method using ANATRO, the MLD was 47.69 cm of DBH at 100 years old. Regarding the variation of the increment along the stem, the sampled trees tend to reach a cylindrical shape at the age of 90. As for dioecia, male individuals have higher values in increments up to 60 years, what can be explained by the reproduction cycle of female individuals, which causes a greater expenditure of energy and influences the growth of the tree.

Keywords: growth, growth rings, mixed ombrophilous forest, pine of Parana.

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma das mais importantes formações florestais do Brasil (RODE *et al.*, 2011). Essa formação ocupa as porções planálticas do estado do Paraná (em média entre 800 e 1200 m de altitude). É também conhecida como Floresta com Araucária ou Mata de pinhais e sua composição florística é fortemente influenciada pelas baixas temperaturas e pela ocorrência regular de geadas no inverno, apresentando como principal característica a presença da espécie conífera *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (RODERJAN *et al.*, 2002; STEPKA, 2008).

De acordo com Accioly (2013), 18,51% da área total do estado do Paraná é composta, atualmente, por florestas nativas sendo que, desta área, 50,44% é de FOM, caracterizando-se por pequenos fragmentos. Ao longo das últimas décadas, as florestas nativas foram severamente afetadas pelo uso indevido dos recursos florestais na região Sul do Brasil, assim como em outras regiões do país. A expansão da atividade agropecuária sobre as áreas de floresta, juntamente ao tradicional uso madeireiro de espécies nativas fez com que a FOM fosse amplamente explorada devido à alta qualidade da madeira de várias de suas espécies economicamente importantes, como *A. angustifolia* que se apresenta em grande quantidade nesta formação florestal (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Esta espécie se constituiu na mais importante essência florestal nativa da economia madeireira do Sul do Brasil, sofrendo exploração excessiva durante o século XX, encontrando-se hoje em dia ameaçada de extinção (SCHEEREN *et al.*, 1999; ROSA *et al.*, 2013).

Outro importante fator causador da “extinção” é muitas vezes deixado de lado, e está relacionado a falta de conhecimento do comportamento e dos requisitos silviculturais da espécie (SCHEEREN *et al.*, 1999). Sendo assim, as florestas devem ser estudadas para propiciar o conhecimento e a manutenção da biodiversidade, bem como para que se viabilize a exploração de seus produtos, bens e/ou serviços provenientes de forma planejada e racional, para garantir o fluxo contínuo desses recursos (AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004).

Projetos que visam a implantação de reflorestamentos com araucária nos dias atuais são praticamente inexistentes devido à falta de incentivo como também pela grande burocracia no momento de realizar o corte. Porém, a proibição de corte de árvores nativas não tem se mostrado eficaz para frear o desmatamento, tendo em vista que faltam incentivos para manter a floresta em pé, apoio técnico que mostre suas potencialidades, alternativas para a exploração, além de mais pesquisas relacionadas à espécie. Portanto, é de extrema importância o incentivo e

pesquisas visando, principalmente, o desenvolvimento de novas opções de uso e conservação da espécie (ZANETTE *et al.*, 2017).

Neste contexto, a dendrocronologia permite a determinação da idade das árvores, bem como a geração de informações do crescimento passado. A técnica utiliza como princípio, a análise dos anéis de crescimento anuais, características presentes em muitas espécies arbóreas e que aparecem bastante distintos na espécie *A. angustifolia*. O estudo só é possível devido ao fato de que a espessura dos anéis de crescimento das árvores varia entre os anos em função dos efeitos ambientais, que influenciam na atividade cambial da árvore (FRITTS, 1976).

Para Gonçalves (2008), a dendrocronologia representa um dos métodos científicos mais utilizados no que se refere a datações aplicadas à madeira, que vem sendo utilizada há muito tempo para avaliar o crescimento anual das árvores. Além disso, a técnica permite a reconstrução de eventos climáticos, incêndios florestais, e a influência dos tratamentos silviculturais a partir do registro destes acontecimentos nos anéis de crescimento. Sendo assim, a compreensão da influência do ambiente no crescimento, a qual reflete nas características das árvores, como no tamanho e na forma, bem como o comportamento passado da taxa de incremento, são imprescindíveis para a execução de planos de manejo florestal, pois auxiliam na prescrição de práticas de manejo e facilitam a avaliação dos seus efeitos sobre a sustentabilidade das florestas nativas (CUNHA, 2009).

Assim, a dendrocronologia surge como uma ferramenta com potencial de resposta rápida para um grande número de espécies, para regiões com sazonalidade climática definida e, além do rápido tempo para a obtenção das informações do incremento de uma árvore, esse método apresenta grande precisão, o que garante uma maior confiabilidade nos resultados gerados (MATTOS *et al.*, 2011; STEPKA, 2012).

Desta forma, a presente pesquisa teve como foco principal, gerar informações do padrão de crescimento e aspectos dendrocronológicos em *Araucaria angustifolia* em floresta nativa, disponibilizando subsídios para o conhecimento do comportamento da espécie, implicando em grande importância na tomada de decisões na aplicação de técnicas de manejo e de conservação dos remanescentes de FOM.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar estudos de modelagem e variação do crescimento ao longo do fuste de árvores femininas e masculinas de *Araucaria angustifolia* em floresta nativa.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar o padrão de crescimento de *A. angustifolia*, por meio da construção de cronologias;
- Modelar o crescimento de *A. angustifolia* em relação ao diâmetro à altura do peito, altura e volume (DAP, h, v);
- Testar se há diferença na modelagem do crescimento, em classes de árvores femininas e masculinas e classe de crescimento inferior e superior;
- Determinar o tempo de passagem em classes diamétricas para as árvores femininas e masculinas;
- Comparar métodos para definição do diâmetro mínimo de corte e ciclo de corte para *A. angustifolia*;
- Verificar a variação do incremento periódico anual de madeira ao longo do fuste de *A. angustifolia*, analisando a influência da dioicidia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Floresta Ombrófila Mista

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) ou também chamada de Floresta com Araucária, é uma formação típica do Planalto Meridional, pois apresenta-se com maior frequência nessa região (IBGE, 2012). De acordo com Roderjan *et al.* (2002), a FOM compreende as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, apresentando disjunções na região Sudeste e em países vizinhos (Paraguai e Argentina). Esse tipo de vegetação encontra-se predominantemente entre 800 e 1200 m s.n.m., porém, podem eventualmente ocorrer em maiores altitudes.

Originalmente esta tipologia florestal cobria grandes áreas contínuas na Região Sul, estendendo-se para São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, na forma de pequenos fragmentos, principalmente nas regiões mais frias e altas destes estados (OLIVEIRA *et al.*, 2007; ZANETTE *et al.*, 2017). A área compreendida por essa formação florestal no Brasil era cerca de 200.000 km², de formato irregular, ocorrendo principalmente nos estados do Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em áreas dispersas no sul de São Paulo (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro, em áreas de altitude elevadas (1%) (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2010, CARVALHO, 2003).

A composição florística dessa vegetação é representada por gêneros primitivos como *Drimys* e *Araucaria* (australásicos) e *Podocarpus* (afro-asiático), indicando, com relação a altitude e a latitude do Planalto Meridional, uma ocupação recente a partir de Refúgios Altomontanos, apresentando quatro diferentes formações: aluvial, sub-montana, montana e alto-montana (IBGE, 2012).

Apesar de apresentar como principal espécie a *Araucaria angustifolia*, a FOM abriga muitas outras espécies que formam comunidades interativas e diferenciadas em florística, estrutura e organização ecológica (SANQUETTA, 2005). Como espécies que se apresentam em maior destaque nessa formação vegetacional tem-se o Pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl), a Imbuia (*Ocotea porosa* Nees & Mart.), a Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), as canelas (Lauraceae), alguns membros da família Myrtaceae, entre outras (VELOSO *et al.*, 1991; PÉLLICO NETTO *et al.*, 2002).

Grande parte das florestas com araucária, encontram-se drasticamente reduzidas, devido à intensa exploração predatória dos últimos 70 anos (RODE *et al.*, 2011; ROSOT *et al.*, 2006). Portanto, encontra-se bastante fragmentada, tendo sua composição e estrutura alteradas, com

escassos remanescentes que possam representar uma amostra adequada desse tipo de vegetação para a sua conservação em longo prazo (NASCIMENTO *et al.*, 2001; SANQUETTA, 2005).

Essa fragmentação em regiões de domínio da FOM, ocasionou em muitos locais do interior do Paraná, uma sucessão vegetal apenas com espécies generalistas, muitas vezes com espécies exóticas invasoras ou mesmo com espécies típicas da Floresta Estacional que se perpetuam devido à ausência de concorrentes (KERSTEN *et al.*, 2015).

3.2 *Araucaria angustifolia*

Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze, conhecida popularmente como araucária, pinheiro brasileiro ou pinheiro do Paraná, caracteriza-se por sua dominância estrutural na Floresta Ombrófila Mista (floresta com araucária), sendo uma das espécies nativas mais importantes do Sul do Brasil. A espécie foi considerada durante um longo período a principal matéria-prima madeireira de importância econômica no Sul do País. Porém, sua exploração intensa, realizada desde o início do século XX, reduziu radicalmente suas reservas, causando uma situação de grande dificuldade para a indústria madeireira que não havia previsto a falta do produto (SANTINI *et al.*, 2000).

Os indivíduos de *A. angustifolia* são perenifólios e chegam a atingir 40 m de altura e 1,5 m de diâmetro na fase adulta. Os indivíduos possuem tronco reto e quase cilíndrico, com fuste geralmente livre de galhos, possuindo casca resinosa. Sua copa apresenta forma umbeliforme em indivíduos adultos, a qual é uma de suas principais características, já nos indivíduos jovens, a copa frequentemente apresenta formato cônico. Suas folhas são acículas de coloração verde escura, lanceoladas, com até 6 cm de comprimento por 1 cm de largura, apresentado espinho apical. O seu sistema radicular é caracterizado por apresentar raiz pivotante bem desenvolvida e raízes finas próximas à superfície (WEHR e TOMAZELLO FILHO, 2000; CARVALHO, 2003).

A espécie é dioica possuindo flores masculinas, em amento cilíndrico alongado de 10 a 22 cm de comprimento, por 2 a 5 cm de diâmetro, com escamas coriáceas e flores femininas, em forma de estróbilo (chamado de pinha) ou cone sub-arredondado. As flores masculinas florescem nos meses de setembro a outubro e a maturação das sementes ocorre nos meses de abril e maio, aproximadamente 20 meses depois da formação das flores femininas (LORENZI, 1992; CARVALHO, 2003).

A araucária ocorre geralmente em forma de agrupamentos quase homogêneos, dominando o dossel superior (LORENZI, 1992). Em relação aos usos econômicos da espécie,

podem-se citar a produção de madeira, a qual é especialmente utilizada em forros e assoalhos devido a sua alta qualidade, sua resina também pode ser utilizada devido ao fornecimento de óleos diversos, além das sementes, popularmente conhecidas como pinhões, que são bastante consumidas tanto pelos animais como pelo homem (CARVALHO, 2003).

3.3 Crescimento das árvores

A definição de crescimento é dada como uma mudança de dimensão de qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume, peso, biomassa, etc. Sendo que o crescimento de árvores individuais pode ser entendido como o somatório da divisão, alongamento e engrossamento de suas células (ENCINAS *et al.*, 2005). Essas mudanças nas dimensões das árvores irão apresentar variações ao longo do tempo, tanto entre as diferentes espécies, ou até mesmo dentro da mesma espécie, em situações onde as árvores apresentam diferentes tamanhos ou constituição genética, ou o sítio onde a mesma se encontra. Apesar do crescimento variar em relação à esses fatores, quando analisa-se o crescimento de uma árvore individual durante períodos sucessivos, nota-se que o crescimento é muito menos variável (ZANON, 2007).

A variação do crescimento de uma árvore pode ser decorrente de diversos fatores que podem ou não ser controlados, dentre esses fatores pode-se citar, fatores genéticos da espécie, como também fatores relacionados às interações com o ambiente. Além disso, outros fatores que influenciam de forma direta no crescimento das árvores são os fatores climáticos (temperatura, precipitação, vento, insolação etc.), pedológicos (características físicas, químicas e biológicas dos solos), topográficos (inclinação, altitude e exposição), biológicos (pragas e doenças) e pela própria competição com outras árvores e outros tipos de vegetação. Até mesmo fatores relacionados às ações antrópicas, como desbaste e incêndios, irão de alguma forma influenciar o crescimento (ENCINAS *et al.*, 2005).

Uma das formas de se quantificar o crescimento das árvores, tanto em diâmetro e em área transversal, é utilizando dados provenientes de parcelas permanentes, porém, em florestas naturais, a carência de dados para deste tipo dificulta o desenvolvimento de ferramentas que podem auxiliar no entendimento do crescimento das árvores. Desta forma, uma das técnicas utilizadas é a análise de tronco que permite recompor o crescimento dos indivíduos de maneira rápida e precisa, disponibilizando dados que podem ser modelados. Para isto, utilizam-se modelos de crescimento, os quais permitem fazer a predição de produção em tempos futuros, a

partir das condições atuais de crescimento (SPATHELF *et al.*, 2001; CHASSOT *et al.*, 2011; STEPKA, 2012).

Os modelos de crescimento e produção na área florestal auxiliam na tomada de decisão no manejo florestal de diversas formas, visto que possibilitam a predição da produção, ou seja, permitem simular a dinâmica natural do povoamento, podendo prever sua produção no futuro, sob hipóteses de exploração ou mesmo quando sujeito a agentes físicos e bióticos distintos (VANCLAY, 1994).

3.4 Anéis de Crescimento

Os anéis de crescimento representam habitualmente o incremento anual da árvore. A cada ano é acrescentada uma nova camada de crescimento, ou seja, um novo anel ao tronco, cuja contagem dos anéis na base do fuste, o que pode permitir conhecer a idade da árvore (BURGER e RICHTER, 1991).

A característica presente no lenho da árvore, que torna possível a visualização e definição dos anéis de crescimento é a diferenciação em lenho inicial e lenho tardio. O contraste entre a densa e estreita faixa do lenho tardio, logo seguida do lenho inicial com lúmens largos permite a diferenciação dos anéis de crescimento (ASSMANN, 1970).

A parte mais clara do anel de crescimento, o lenho inicial, corresponde ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, normalmente primavera. Caracterizam-se por possuir células com diâmetros maiores, paredes mais estreitas, lume celular maior e madeira mais porosa e menos densa e, conseqüentemente, menos resistente. Na parte mais escura do anel, o lenho tardio é formado no final do período vegetativo, geralmente no outono, ocasionando características ao contrário do que ocorre no lenho inicial. A diferenciação existente entre lenho inicial e lenho tardio, se deve à época do ano em que o lenho foi produzido, ou seja, em função das estações do ano. Fatores como a disponibilidade de luz, calor e água provocam grandes variações nas propriedades químicas e físicas da madeira produzida (BURGER e RICHTER, 1991; BENJAMIN, 2006).

A contagem desses anéis se inicia na medula e termina na borda (casca), sendo que o anel mais extremo corresponde à formação mais recente. Contando-se os anéis situados na base do fuste pode-se determinar a idade da planta. Sabendo-se o ano em que a amostra foi coletada, pode-se conhecer todo o período de vida da árvore. O conjunto de dados referentes à idade da planta e ao período de vida do vegetal constitui uma série temporal de anéis de crescimento de árvores (LORENSI, 2016).

De acordo com Camargo e Matos (2016) a partir da obtenção dos valores da espessura dos anéis e entre anéis de crescimento das amostras é possível compreender como ocorre o desenvolvimento da espécie, identificando assim fatores que podem influenciar diretamente na qualidade da madeira, assim como informações a respeito da quantidade de lenho juvenil, a velocidade de crescimento, a distância entre os anéis de crescimento entre outros fatores que também influenciam na sua qualidade.

3.5 Dendrocronologia

De acordo com Fritts (1976), a dendrocronologia é definida como o estudo dos anéis de crescimento das árvores no qual se determina suas idades. A base teórica da dendrocronologia vem desde o século XVI, com Leonardo Da Vinci. Entretanto, apenas no século XX a dendrocronologia foi solidificada como ciência, devido ao astrônomo norte-americano chamado Andrew E. Douglass, que fez uso de séries temporais de anéis de crescimento, relacionando-as com fenômenos climáticos e astronômicos, realizando a datação de madeiras arqueológicas. Portanto, a dendrocronologia é uma ciência que, na sua essência, analisa e interpreta o crescimento anual dos anéis das árvores. O termo, que provém do grego *dendron* ou árvore, *kronos* ou tempo, e *logos* ou conhecimento, pode ser definida também como a ciência que realiza a datação dos anéis de crescimento das árvores por meio de análises anatômicas da madeira, e avaliando as informações de crescimento, correlaciona-o com questões ambientais e históricas (ANDRADE, 2015; GONÇALVES, 2008).

A correlação entre as informações de crescimento das árvores com os fatores do meio só é possível devido à sensibilidade que as espécies arbóreas apresentam com relação aos fatores como o solo e o ar, o que permite que quaisquer alterações de temperatura, umidade, radiação solar, entre outros, fiquem registradas nos anéis de crescimento (GONÇALVES, 2008). Desta forma, a resposta que o desenvolvimento dos anéis de crescimento de árvores dá ao cenário climático em que a planta esteve exposta faz da dendrocronologia uma fonte muito precisa para o estudo do clima do passado (LORENSI, 2016).

Inicialmente a aplicação da dendrocronologia era voltada para os estudos climáticos, entretanto, a evolução da ciência e experiências realizadas com a técnica, possibilitou a aplicação da mesma em novas áreas de investigação e, desta forma, as informações ambientais presentes nos anéis de crescimento atualmente são aplicadas em estudos como a

dendroclimatologia, dendroecologia, dendrogeomorfologia, dendrohidrologia, dendropirocronologia, dendroarqueologia (GONÇALVES, 2008).

Assim, a dendrocronologia pode ser utilizada na tomada de decisões do manejo florestal, agrupando uma grande quantidade de dados de alto valor, como registros de crescimento, qualificação e acompanhamentos dos volumes de madeira produzidos, sendo uma fonte importante de informação para o inventário e planejamento florestal (ALVARADO, 2009).

3.6 Distribuição do incremento ao longo do fuste

Em estudo realizado por v. Guttenberg (1915) discutiu-se o comportamento do incremento anual ao longo do fuste, no qual constatou-se que a largura do anel de crescimento em todos os fustes de *Picea abies*, situados em povoamentos, diminui a partir da base do fuste para cima até atingir um valor mínimo, a partir daí ele aumenta até a base da copa e dentro da copa. Tem-se então, um ponto de máximo incremento na base da árvore e também no topo da árvore e entre os pontos de incremento máximo tem-se um valor mínimo (ASSMANN, 1970).

O aumento do incremento na região da copa foi explicado por Topcuoglu em 1940, ao descobrir uma redução, na ordem de 2% por metro, na concentração de seiva no floema a partir da base da copa em direção a posições inferiores do fuste. Com isso, a quantidade de produtos assimilados nas partes basais é reduzida, revelando a influência do fluxo descendente de materiais fotossintetizados sobre a deposição anual de lenho no tronco das árvores (ASSMANN, 1970).

Segundo Assmann (1970), em árvores jovens e de meia idade, nas quais o crescimento em altura e volume é vigoroso, grandes quantidades de substâncias lenhosas são adicionadas na parte superior e inferior da copa, bem como logo abaixo desta. Nesse processo, os anéis de crescimento na parte superior do fuste podem tornar-se tão largos que o incremento da área transversal pode também, visivelmente, aumentar de um mínimo na parte central do fuste para cima até um máximo na parte superior. De acordo com o mesmo autor, este comportamento é normal para árvores de idade média em classes dominantes em um sítio bom. Em contraste com isso, o incremento em área transversal em um sítio pobre sempre decresce a partir do máximo na base do fuste. Já em árvores mais velhas, em que o incremento já desacelerou, ocorre um incremento máximo na base do caule; a partir daí o incremento em área transversal primeiro diminui rapidamente. Na parte do meio do fuste diminui de forma mais lenta e na parte superior

da copa diminui de novo rapidamente, da mesma forma que em sítios pobres (ASSMANN, 1970).

Conclui-se que a distribuição do incremento anual de madeira ao longo do fuste de uma árvore está fortemente relacionada às condições do sítio e/ou posição sociológica da mesma. Observações feitas por Topcuoglu (1940) em amostras de *Picea abies* em sítios pobres confirmou os resultados de Guttenberg de que a altura em que ocorre o incremento mínimo em diâmetro nesses indivíduos variou com a classe das árvores e o clima. Porém, enquanto o clima dificilmente teve qualquer influência na distribuição de incremento dos fustes das árvores dominantes, nas árvores co-dominantes e suprimidas, mostrou uma tendência de deslocamento do incremento para a parte inferior do fuste em anos secos (ASSMANN, 1970).

Outro fator que pode influenciar na distribuição do incremento ao longo do fuste é a abertura de clareiras. Segundo Assmann (1970), o estudo realizado por v. Gutenberg mostrou que o fuste de uma árvore velha se torna alterada após a abertura de clareiras. O incremento das árvores remanescentes é inevitavelmente deslocado para a parte inferior do caule. Enquanto neste caso os incrementos de diâmetro aumentam expressivamente, especialmente na segunda década após desbaste pesado, eles diminuem na parte superior do fuste, de modo a resultar em uma diminuição crescente e contínua dos incrementos de diâmetro. Essa tendência a um crescimento radial mais rápido nas partes inferiores do caule continua durante toda a vida das árvores que possuem espaço livre.

O experimento realizado por R. Hartig em 1896 forneceu informações precoces sobre as influências da poda, desbaste pesado e efeitos de borda na distribuição de incremento do fuste. Hartig (1896), citado por Assmann (1970), declarou que a taxa de crescimento é o efeito resultante da interação entre a capacidade assimilativa da árvore (copa, tamanho, quantidade de acículas) e os potenciais de suprimento nutritivo no solo. Segundo ele, a estimulação das células cambiais, das pressões causadas principalmente pelo efeito do vento, tem uma influência decisiva na distribuição do incremento do caule. Nota-se, portanto, que vários fatores podem afetar a distribuição do incremento ao longo do fuste.

3.7 Diâmetro mínimo de corte

Um dos problemas existentes quando se fala em manejo florestal sustentável em florestas nativas se refere à elevada quantidade de espécies arbóreas, tornando a exploração florestal um desafio. A exploração da vegetação, seja ela plantada ou nativa, deve ser realizada

de acordo com a legislação brasileira vigente, a qual define que as áreas de florestas nativas só podem ser exploradas mediante a elaboração de planos de manejo florestal sustentável, que visa por meio do corte seletivo a colheita de árvores acima de um determinado diâmetro mínimo de corte (DAL BEM *et al.*, 2015).

Apesar da legislação estabelecer um diâmetro mínimo de corte de 50 cm isso não garante a sustentabilidade do manejo dos recursos naturais, visto que este valor se aplica a qualquer espécie, sem diferenciação, porém, cada espécie possui um ritmo de crescimento diferenciado, além das condições ambientais de cada local (BRASIL, 2006; BRAZ *et al.*, 2014). Portanto, para que se possa realizar o manejo correto das florestas naturais deve ser levado em conta parâmetros adequados, que representem a dinâmica da floresta e espécies objeto do manejo, tais como a distribuição, estrutura, crescimento como também o potencial de utilização (BRAZ, 2010).

Desta forma, um dos parâmetros que pode ser utilizado a fim de realizar um manejo de forma a garantir a produtividade atual e futura da floresta é definindo um diâmetro ótimo de corte para cada espécie, ou grupo de espécies a serem exploradas. Sendo assim, o diâmetro mínimo de corte (DMC) pode ser considerado o diâmetro no qual ocorre o máximo incremento corrente em volume da árvore, derivado pela relação diâmetro-idade (SCHÖNGART *et al.*, 2007; SCHÖNGART, 2008). A determinação desse ponto ótimo de corte pode ser calculada por espécie, por meio da utilização de dados de Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) das árvores (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

A definição do DMC, de forma correta, irá auxiliar na exploração sustentável da vegetação, visto que quando não se determina esse diâmetro de acordo com o crescimento particular de cada espécie, espécies com padrão de crescimento lento podem estar sendo exploradas em demasia e espécies de rápido crescimento não tem todo seu potencial madeireiro aproveitado (SCHÖNGART, 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A presente pesquisa foi realizada com dados provenientes de tratamentos aplicados no manejo de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista (FOM) localizado na sub-bacia do rio Imbituvão, na localidade do Assungui, município de Fernandes Pinheiro, estado do Paraná. O fragmento de FOM encontra-se em uma pequena propriedade rural que faz parte do projeto de pesquisa e extensão denominado “Estratégias para manejo florestal sustentável em pequenas propriedades rurais, no Centro-Sul do Paraná”, conhecido como “Projeto Imbituvão”. O projeto é coordenado por professores do Laboratório de Manejo do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO.

O fragmento está localizado no segundo planalto paranaense, altitude média de 893 m e a 50°35' de longitude oeste e 25°27' de latitude Sul. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, subtropical úmido sem estação seca, precipitação média anual de 1.442 mm, com a temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C e a média do mês mais frio superior a 10 °C, com mais de cinco geadas por ano (LOURENÇO *et al.*, 1997). A cobertura florestal original da região pertence aos grupos tipológicos: floresta pluvial subtropical, em menor extensão, e floresta de pinhais (formação de Araucária), em grande maioria (CARVALHO, 1980).

O levantamento da vegetação foi realizado por meio da realização de um censo florestal em 20 hectares (ha), sendo instaladas 20 parcelas de 1 ha cada (100 m x 100 m), e ainda cada parcela foi dividida em quatro subparcelas de 0,25 ha, resultando em 80 subparcelas (Figura 1), onde foram medidos os diâmetros de todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 30 cm, bem como as alturas totais e comerciais. Além disso, foram avaliadas algumas características das árvores como as condições de retidão do fuste, iluminação e forma da copa, fitossanidade e posição em relação ao estrato de ocupação. Foi considerada a diferenciação entre indivíduos masculinos e femininos (para as araucárias) pela identificação de suas estruturas reprodutivas.

A fim de reduzir a variabilidade estrutural do fragmento foi realizada a estratificação da vegetação por meio da aplicação das análises de agrupamento e discriminante, resultando em três diferentes estratos, dos quais o Estrato I apresentou um equilíbrio entre araucárias e folhosas; o Estrato II apresentou dominância de Araucária e o Estrato III apresentou um domínio de folhosas ou área pobres em relação à vegetação.

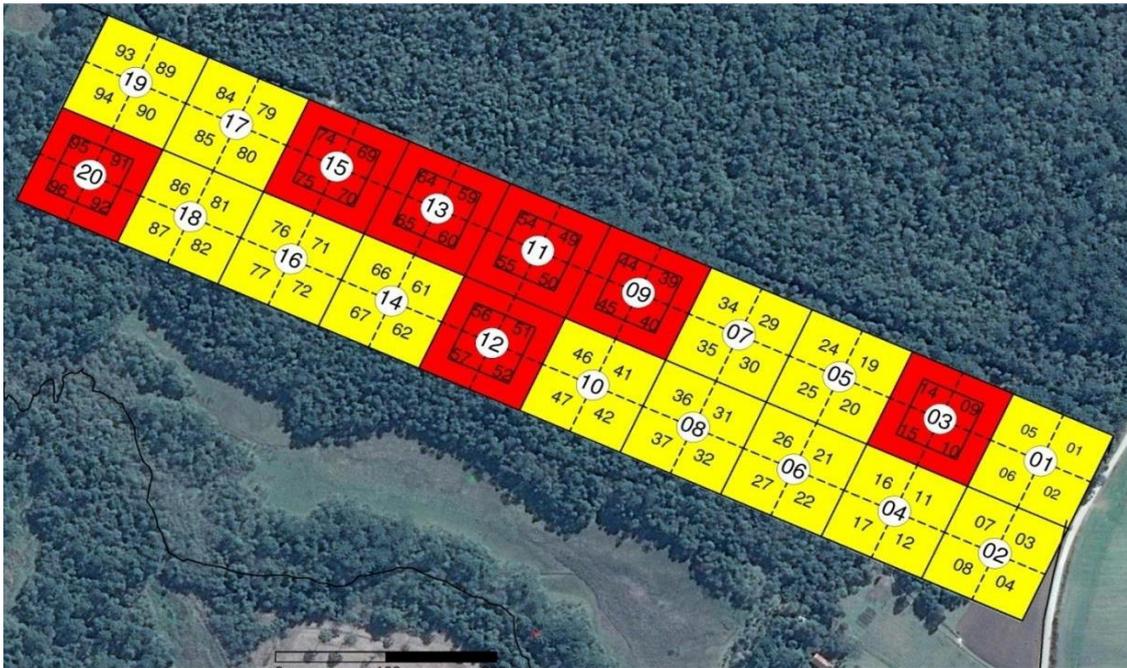


Figura 1. Propriedade onde foi realizado o experimento. Em vermelho áreas com dominância de Araucária (Estrato II), sendo o corte das Araucárias realizado nas sub-parcelas 59, 60, 64, 65, 69, 70, 74, 75, 91, 92, 96 e 97 (Fonte: Projeto Imbituvão).

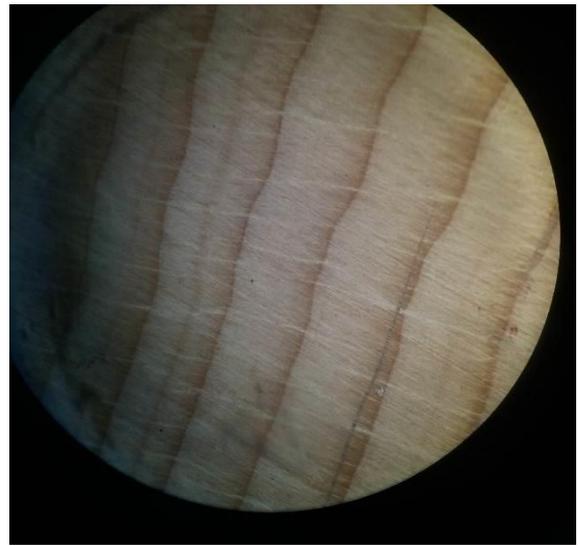
4.2 Coleta de dados

Foram utilizados dados provenientes do corte de 45 indivíduos de araucária, os quais variam de 40 a 70 cm de diâmetro. A seleção desses indivíduos se deu no Estrato II, onde havia a dominância de Araucária, levando em conta algumas características como: a condição do fuste reto; a posição sociológica no extrato superior; a fitossanidade classificada como boa; posição de copa, priorizando aquelas classificadas como emergente e iluminação superior completa; e o formato da copa com nenhuma irregularidade ou com apenas pequena irregularidade. Ainda buscou-se manter uma proporção de 1:1 entre os indivíduos machos e fêmeas, porém a proporção alcançada foi de 2:1 entre indivíduos masculinos e femininos. De cada indivíduo foram retirados cinco discos, sendo o primeiro retirado próximo à altura de 0,1 m, os discos 2 e 3 retirados da porção comercial do fuste, sendo o terceiro retirado na posição do início da copa, o disco 4 e 5 foram retirados, respectivamente, a 33% e 66% a partir do início da copa. As amostras foram secas à temperatura ambiente e lixadas de maneira gradual, para melhor visualização dos anéis de crescimento.

A partir dos discos coletados, foi realizada a análise de tronco completa, onde primeiramente foi feita a marcação de quatro raios e também a marcação a lápis de cada anel, assim como a contagem de cada anel de crescimento em cada um dos raios. A mensuração da espessura dos anéis de crescimento foi realizada utilizando-se o medidor de anéis de crescimento LINTAB 6, com o software TSAP-Win, com precisão de 0,001 mm disponibilizado pelo Laboratório de Manejo Florestal, do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste, *Campus* de Irati, Paraná (Figura 2).



(A)



(B)

Figura 2. (A) Equipamento LINTAB 6, utilizado na mensuração dos anéis de crescimento. (B) Diferenciação dos anéis de crescimento.

4.3 Datação cruzada

Para a eliminação de possíveis erros de medição como a presença de falsos anéis ou a ausência de anéis, foi realizado o processo de datação cruzada das amostras, o qual, nesse estudo, foi efetuado considerando quatro raios por árvore e a sincronia das diferentes séries de cada árvore. O processo de datação foi realizado por meio da datação cruzada visual em planilha eletrônica, e posteriormente por datação cruzada estatística, utilizando-se o software COFECHA, o qual é específico para este tipo de análise dendrocronológica (HOLMES, 1983).

Na datação cruzada estatística, foram comparadas as médias das quatro séries de cada árvore, sendo descartadas as séries médias que não possuíram correlação de Pearson significativa ($>0,3281$) entre as séries individuais. Além da datação entre as séries da mesma

árvore, também foi realizada a datação entre as diferentes árvores com o objetivo de verificar pontos comuns de crescimento entre elas. Neste caso, as séries utilizadas para a datação cruzada entre as árvores foi a média dos quatro raios de cada árvore já devidamente datados anteriormente, a fim de gerar uma série *máster*. Por meio de correlação linear de Pearson, no software COFECHA, verificou-se a correspondência entre cada segmento inicialmente especificado das séries reais com a série *máster* ajustada, identificando quais amostras apresentaram anos com problemas de datação, ocasionando baixas correlações (MARTINKOSKI, 2015).

Após a datação cruzada, utilizando-se o *software* ARSTAN, os dados de incremento em largura dos anéis foram transformados em índices de crescimento, por meio do processo de estandarização, o qual é caracterizado pela padronização dos valores em uma mesma escala, transformando-os em índices por meio da eliminação de tendências de crescimento causadas por fatores como a idade, perturbação do meio, o sítio, entre outros. A utilização desses índices de crescimento permitiu que os valores padronizados de árvores com diferentes taxas de incremento anual pudessem ser calculados juntos, para então construir uma cronologia representativa do local e da espécie (HOLMES, 1983).

4.4 Incremento em diâmetro, altura e volume

A mensuração dos anéis de crescimento com o LINTAB resultou no incremento corrente anual do diâmetro sem casca. Para obtenção dos valores do diâmetro com casca, foram ajustados quatro modelos (Tabela 1), selecionando-se o mais apropriado pelas estatísticas, erro padrão da estimativa relativo ($Syx\%$), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e a análise gráfica de resíduos.

Tabela 1. Modelos matemáticos testados para estimativa dos diâmetros com casca.

Número	Autor/Fonte	Modelo
(1)	Laar (Schneider e Silva, 1979)	$d_{cc} = \beta_0 + \beta_1 d_{sc} + \beta_2 I + \beta_3 d_{sc} I + \varepsilon_i$
(2)	Laar (Modificado) (Schneider e Silva, 1979)	$d_{cc} = \beta_0 + \beta_1 d_{sc} + \beta_2 I + \beta_3 d_{sc} I + \beta_4 h_i + \varepsilon_i$
(3)	Schneider (1978)	$ln d_{cc} = \beta_0 + \beta_1 ln d_{sc} + \beta_2 ln(hI) + \varepsilon_i$
(4)	Schneider (1978) (Modificado)	$ln d_{cc} = \beta_0 + \beta_1 ln d_{sc} + \beta_2 ln(h_i I) + \varepsilon_i$

Em que: d_{cc} = diâmetro com casca (cm) na altura h_i (m); d_{sc} = diâmetro sem casca (cm) medido na altura h_i (m); h = altura total (m); I = idade (anos); h_i = altura (m) onde se encontra o diâmetro d_i (cm); ln = logaritmo neperiano; β_i = coeficientes dos modelos; ε_i = erros aleatórios.

Levando-se em consideração um melhor aproveitamento da primeira tora da árvore, o disco na altura do peito (1,3 m) não foi coletado, tendo sido necessário, portanto, estimá-lo em cada idade. Para isto, utilizou-se um fator de correção para cada árvore. Esse fator de correção consiste na relação entre o DAP medido no momento do corte de cada indivíduo, sobre os valores de máximo incremento acumulado, daqueles localizados no disco da base do fuste (DAP/Máximo incremento acumulado). Então, para obter o valor do DAP, multiplicou-se o fator de correção pelo valor do diâmetro na base do fuste em cada idade, obtendo assim os valores referentes ao DAP para cada idade em cada árvore (BRIENEN e ZUIDEMA, 2006).

Empregando-se o software FlorExel® foi realizada a análise de tronco, determinando as variáveis diâmetro sem casca, área transversal e volume total sem casca nas várias idades. A partir dessa análise foi obtida então a altura em cada idade, as quais foram utilizadas na estimativa do diâmetro com casca para cada idade (Tabela 1).

Os valores das alturas obtidas pelo FlorExel foram também utilizados para se calcular o incremento em altura em cada idade. E, a partir dos valores de altura e de diâmetro ao longo do fuste foram calculados os volumes para cada idade, utilizando-se o método de Smalian.

4.5 Padrões de crescimento e tempo de passagem

A fim de descrever o padrão de crescimento em DAP com casca, altura total e volume total com casca das árvores, foram testados três modelos, em função da idade (Tabela 2). Os modelos foram ajustados com regressão não linear múltipla usando o algoritmo de Marquardt.

Suas performances foram avaliadas com base no erro padrão da estimativa (Syx%), no coeficiente de correlação ao quadrado ($r_{y\hat{y}}^2$) e pela representação gráfica das curvas geradas pelo ajuste.

O uso do coeficiente de correlação ao quadrado ($r_{y\hat{y}}^2$) em vez do coeficiente de determinação é recomendado quando o ajuste é feito com regressão não linear, gerando-se um resultado mais adequado com o $r_{y\hat{y}}^2$, visto que algumas vezes os valores encontrados para o R^2 podem ser próximos a 100%, mesmo havendo enorme variação entre os valores observados e estimados (REGAZZI, 2003; MORA, 2015).

Tabela 2. Modelos matemáticos testados para descrever o crescimento em diâmetro com casca a 1,3 m do solo (DAP), altura total e volume total com casca de Araucária em função da idade.

Número	Nome	Modelo
(1)	Gompertz	$y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 I}} \varepsilon_i$
(2)	Logística	$y = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I})} \varepsilon_i$
(3)	Chapman-Richards	$y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I})^{\beta_2} \varepsilon_i$

Em que: y = DAP (cm); Altura (m); Volume (m^3); I = idade (anos); β_i = parâmetros do modelo; ε_i = erros aleatórios.

O modelo que apresentou um melhor ajuste para o total de indivíduos, para cada uma das variáveis dependentes, foi também ajustado de forma estratificada para as árvores feminina e masculinas e, em classes de árvores com crescimento inferior e superior à média de incremento médio das árvores. Tal estratificação visou obter uma melhor representação do crescimento para indivíduos com diferentes taxas de incremento e melhoria na qualidade do ajuste das funções.

A fim de verificar a significância da estratificação foi aplicado o teste de identidade de Graybill (1976), que avalia se o modelo reduzido (função ajustada para o conjunto total dos dados dos dois estratos) é estatisticamente semelhante ao modelo completo (combinação das equações ajustadas para cada estrato).

Ainda, a partir dos coeficientes gerados pelo modelo de melhor desempenho no ajuste da variável DAP com casca, foi calculado o tempo de passagem, compreendido como o intervalo de tempo que um indivíduo leva para passar de uma para outra classe diamétrica. A definição desse tempo de passagem foi realizada por meio da divisão do intervalo de classe (cm) pelo incremento periódico anual na classe diamétrica ($cm \cdot ano^{-1}$), para isto, os dados foram

agrupados em classes diamétricas de 10 cm de amplitude e posteriormente, analisado o tempo de passagem de classe em anos. Foram também calculados os tempos de passagem para os indivíduos femininos e masculinos.

4.5.1 Construção de curvas de ICA e IMA

Posteriormente, aos ajustes das equações de crescimento acumulado, foram construídas curvas de Incremento Corrente Anual (ICA) e curvas do Incremento Médio Anual (IMA) para as variáveis, diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca. Para tal foram utilizadas as equações (1) e (2).

$$ICA = xf - xi \quad (1)$$

Em que:

ICA = Incremento Corrente Anual (cm, m e m³ ano⁻¹);

xf = diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca (cm, m e m³ ano⁻¹) na idade i.

xi = diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca (cm, m e m³ ano⁻¹) na idade i-1.

$$IMA = \frac{xi}{i} \quad (2)$$

Em que:

IMA = Incremento Médio Anual (cm, m, m³.ano⁻¹);

i = idade (anos).

4.6 Definição do diâmetro mínimo de corte (DMC)

Para a definição do diâmetro mínimo de corte (DMC) utilizou-se dois diferentes métodos. No primeiro método, aplicou-se a proposta de Schöngart (2008), utilizando os diâmetros anuais obtidos por análise de tronco parcial, considerando as estimativas na altura de 1,3 m do solo (DAP). Em seguida, utilizou-se um modelo matemático (Equação 3) para relacionar o DAP em função da idade e uma relação hipsométrica (Equação 4) com os dados de altura e DAP dos indivíduos mensurados no momento da coleta de dados, estimando-se respectivamente, o DAP em cada idade, e a altura total naquela idade. A partir desses dados,

foi estimado o volume em cada idade utilizando-se a equação alemã, a qual faz uso de um fator de forma.

Na presente pesquisa utilizou-se um fator de forma médio de 0,7. Com os volumes estimados nas várias idades, foram construídas as curvas de ICA e IMA, relacionando-as à curva de crescimento acumulado em diâmetro (DAP), gerado pela Equação 3, e finalmente, relacionando o ponto de máximo ICA em volume com o DAP nessa idade, permitindo constituir o DMC para a espécie.

$$DAP = \frac{a}{(1+(\frac{b}{I})^c)} \quad (3)$$

$$h = \frac{DAP \cdot d}{DAP + e} \quad (4)$$

$$v = \pi \left(\frac{DAP^2}{40000} \right) \cdot h \cdot 0,7 \quad (5)$$

Em que:

DAP = Diâmetro a altura do peito com casca (cm);

v = volume total com casca (m³);

h = altura total (m);

I = idade (ano);

a, b, c, d e e = coeficientes a serem estimados.

No segundo método para a definição do diâmetro mínimo de corte (DMC), todas as curvas foram geradas com dados de análise de tronco completa (ANATRO) obtidos pelo programa FlorExel®, sendo que o crescimento em diâmetro (DAP) nas várias idades foi mensurado, tal qual na proposta de Schöngart (2008). As alturas totais foram estimadas nas várias idades, usando as medições de diâmetros ao longo do tronco, portanto, de forma diferente do primeiro método, que utilizou apenas os dados do momento da coleta para as estimativas de altura. Os volumes anuais foram determinados pela fórmula de Smalian, como usual na ANATRO, o que é diferente no primeiro método (utiliza-se o DAP e a altura total estimados, adotando-se um fator de forma médio para todas as idades). Para traçar as curvas médias de ICA e IMA em volume, assim como para obter a curva média do crescimento acumulado no DAP, foi ajustado o modelo de Chapman-Richards (Modelo 3) a partir dos dados obtidos na

ANATRO das árvores, gerando-se o DMC, conforme adotado na metodologia de Schöngart (2008).

A partir da definição dos DMC, pelos dois diferentes métodos, foi possível obter o ciclo de corte (CC) de *A. angustifolia* afim de verificar o tempo médio que a espécie leva para passar por classes diamétricas de 10 cm, até atingir o DMC específico. O ciclo de corte foi definido pela Equação 6, em que 0,1 = classes de 10 cm (SCHÖNGART, 2008).

$$CC = \frac{idade(DMC)}{DMC \times 0,1} \quad (6)$$

Em que:

CC = Ciclo de corte;

DMC = diâmetro mínimo de corte.

4.7 Variação do Incremento ao longo do fuste

Para verificar a variação do incremento diamétrico com casca e incremento em área transversal ao longo do fuste de *A. angustifolia*, foram utilizados dados de diâmetro com casca estimados pelo melhor modelo dentre os testados para estimar o diâmetro com casca (Tabela 1), sendo os dados provenientes da mensuração de cinco discos retirados de 45 indivíduos. Sendo o disco 1 retirado próximo à altura de 0,1 m, os discos 2 e 3 retirados da porção comercial do fuste, sendo o terceiro retirado na posição do início da copa, o disco 4 e 5 retirados, respectivamente, à 33% e 66% a partir do início da copa. A partir dos valores estimados de diâmetro com casca dos cinco discos retirados ao longo do fuste e os valores de diâmetros estimados para o DAP e altura, foi possível calcular a área transversal em diferentes porções do fuste nas respectivas idades, para que, ao final, fosse possível ser traçada uma representação gráfica do incremento.

Para a representação gráfica do incremento periódico em diâmetro e em área transversal, foram obtidos os valores de diâmetro acumulado com casca e do incremento em área transversal em diferentes alturas e idades. Posteriormente, foram determinados os valores de incremento em diâmetro e em área transversal relativos para cada segmento, assumindo-se 100% para os valores observados à altura do DAP. As alturas também foram transformadas em valores relativos, assumindo 100% para altura total de cada árvore. Como, para cada árvore os discos foram retirados em alturas diferentes, fez-se ainda uma média da altura de cada um dos discos, para então poder comparar os valores de cada árvore.

Para a avaliação das diferenças dos incrementos ao longo do fuste, foi necessário selecionar algumas árvores que apresentaram idades semelhantes entre si, para então poder realizar uma comparação fidedigna da distribuição do incremento, sendo assim, selecionaram-se árvores cujas idades estiveram em torno da idade média das árvores, como também aquelas que apresentaram um comportamento semelhante entre si.

Foram elaboradas tabelas, bem como foram construídos gráficos plotados, considerando intervalos de 10 anos, até 100 anos, a fim de avaliar a evolução do incremento ao longo da vida da árvore. Para isso utilizou-se todo conjunto de dados, como também foi realizada estratificação dos indivíduos femininos e masculinos, com o objetivo de verificar diferenças no padrão de crescimento das árvores quanto a dioicia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização dos dados

Estão descritas nas Tabelas 3, a caracterização dos dados, bem como as estatísticas descritivas da amostra de árvores de *Araucária*, relativas ao diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca, no momento em que as árvores foram derrubadas.

Tabela 3. Estatísticas descritivas do diâmetro com casca (DAP), altura total, volume total com casca de *Araucaria angustifolia* em Fernandes Pinheiro, PR.

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)	n
Indivíduos femininos						
DAP com casca (cm)	44,60	54,41	67,80	6,87	12,64	15
Altura total (m)	18,80	22,54	26,50	2,05	9,08	
Volume com casca (m ³)	1,64	3,05	4,97	0,87	28,46	
Indivíduos masculinos						
DAP com casca (cm)	39,50	48,59	63,00	7,20	14,81	30
Altura total (m)	16,86	21,13	24,50	2,04	9,66	
Volume com casca (m ³)	1,21	2,38	4,16	0,90	37,64	
Total						45

Em que: n = número de árvores; CV = Coeficiente de variação.

Sanquetta *et al.* (2014), estimando o carbono individual para *A. angustifolia*, em General Carneiro, no Estado do Paraná, obtiveram valores que variaram de 14,29 a 33,39 cm para diâmetro e 12,72 a 19,90 m para altura, valores baixos se comparado a esta amostra, devido a diferença de idades e local de estudo, visto que esses autores encontraram idades que variaram de 14 a 31 anos. Já Costa (2011), analisando a influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *A. angustifolia*, em Lages, no Estado de Santa Catarina, classificando suas amostras de acordo com a posição sociológica (dominantes, codominantes e dominadas), encontrou diâmetros que variavam de 10,2 a 85,8 cm e alturas totais entre 8,0 e 24,9 m, sendo que as árvores dominantes possuíam os maiores valores médios com 47,8 cm e 18,1 m para diâmetro e altura, respectivamente.

5.2 Datação cruzada e construção da cronologia

Por meio da utilização do *software* COFECHA, foi possível realizar a datação cruzada das séries de larguras de anéis, permitindo sincronizar a série de cada árvore com a série *máster* (média das quatro séries individuais), identificando, por meio desse procedimento, possíveis erros de medição, bem como, gerando-se as estatísticas para o controle de qualidade das mesmas. Foi utilizada a análise dos segmentos de 50 em 50 anos e sobrepostos de 25 em 25 anos. Após o controle de qualidade das séries de anéis de crescimento, executadas pelo COFECHA, gerou-se uma cronologia padronizada utilizando-se do *software* ARSTAN. Entretanto, para a construção da cronologia eliminou-se as árvores que apresentaram um baixo valor de correlação, sendo assim, construiu-se a cronologia utilizando séries de 28 árvores. As estatísticas geradas pelo COFECHA encontram-se na Tabela 4

Tabela 4. Estatísticas das cronologias de anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia*.

Descrição	Parâmetros
Intervalo de tempo	1887 - 2015 (129) anos
Número de árvores	28 (de 45)
Número de séries datadas	28
Número de anéis de crescimento	2580
Sensibilidade média	0,269
Intercorrelação	0,331

O limite crítico para correlação foi de 0,3281 com 99% de confiança.

A realização desse procedimento de controle de qualidade das séries, bem como a exclusão de cronologias que não se apresentaram significativas para a construção da cronologia padronizada, vem sendo utilizada por vários autores (ALVARADO, 2009; STEPKA, 2012; MARTINKOSKI, 2015; FIGUEIREDO FILHO *et al.* (2017); SCHONS, 2019).

A intercorrelação média entre as séries (0,3310), mostrou-se significativa (acima/igual ao valor de 0,3281 a 1%). Na Tabela 5, podem ser observadas as estatísticas de intercorrelação e sensibilidade média encontrada por vários autores para *A. angustifolia*. Nota-se que para Stepka (2012) e Figueiredo Filho *et al.* (2017), os valores de intercorrelação entre as séries encontrados para *A. angustifolia* foram superiores aos observados na presente pesquisa. Já Schons (2019) encontrou um valor semelhante ao encontrado na presente pesquisa.

Tabela 5. Comparação entre diferentes autores para as estatísticas das cronologias de crescimento de *Araucaria angustifolia*.

Autor	Amostra	Floresta	Local	Inter correlação	Sensibilidade de média
Stepka (2012)	30	Nativa	Caçador -SC	0,452	-
Stepka (2012)	26	Nativa	Chapecó-SC	0,402	-
Stepka (2012)	22	Nativa	Irati-PR	0,452	-
Figueiredo Filho <i>et al.</i> (2017)	-	Plantada	Irati-PR	0,403	0,305
Schons (2019)	26	Nativa	Irati-PR	0,330	0,364
Oliveira <i>et al.</i> (2010)	17	Nativa	CP -SC	0,314	0,356
Oliveira <i>et al.</i> (2010)	33	Nativa	SB-SC	0,390	0,282
Presente trabalho	28	Nativa	FP-PR	0,331	0,269

O limite crítico para correlação foi de 0,3281 com 99% de confiança. CP: Campo Alegre-SC; SB: São Bento do Sul-SC; FP: Fernandes Pinheiro.

Com relação à sensibilidade média, observou-se um valor de 0,269. Nota-se que o valor encontrado neste estudo se mostrou inferior quando comparado aos estudos de Oliveira *et al.* (2010), Figueiredo Filho *et al.* (2017) e Schons (2019). De acordo com Mattos e Braz (2012), a sensibilidade se refere à variação média da largura do anel em relação à próxima, sendo assim, quanto maior a sensibilidade, menor a autocorrelação, indicando uma maior variância nos dados.

Pode ser observada na Figura 3, a cronologia construída utilizando o *software* ARSTAN, a qual indica os picos de altos e baixos crescimentos ao longo dos anos, onde tem-se o crescimento médio dos anos de 1887 a 2015. Os picos de maiores índices de crescimento podem ser observados nos anos 1895, 1945, 1976 e 2014, já os picos de menor crescimento estão nos anos 1889, 1905, 1916, 1979 e 2006. De acordo com Stepka (2012), estes picos que são facilmente visualizados nas cronologias, são ocasionados por uma grande diferença de incremento dos anos anteriores e posteriores da cronologia, podendo assim ser considerados com indicadores de crescimento baixo e alto, respectivamente.

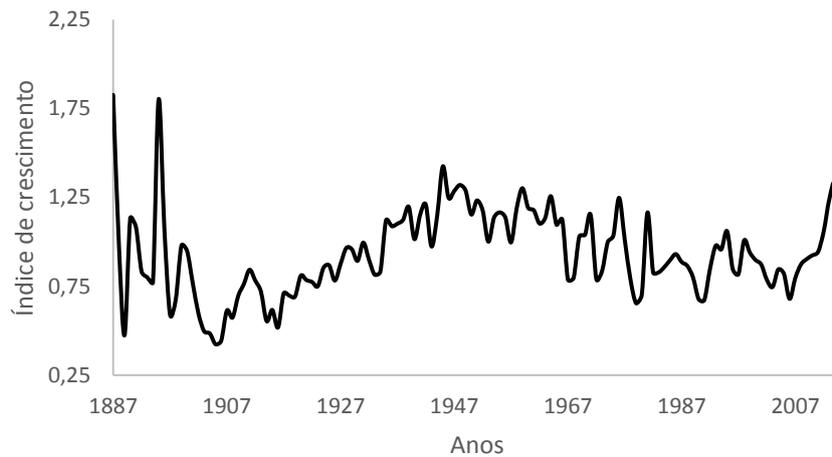


Figura 3. Índice de crescimento gerado pelo ARSTAN para *Araucaria angustifolia* em Fernandes Pinheiro-PR.

5.3 Estimativas da espessura de casca

Uma vez que na ANATRO os diâmetros medidos são sem casca, exceto para a idade de corte, quatro modelos foram ajustados para estimar a casca ao longo do tronco nas várias idades. Os resultados desses ajustes (Tabela 6; Figura 4) indicam que qualquer um dos modelos poderia ser utilizado para estimar o diâmetro com casca ao longo do tronco nas várias idades, visto que as estatísticas foram similares. O modelo modificado de Schneider (1978) (Modelo 4) foi selecionado pois as estatísticas foram um pouco melhores.

O modelo de Schneider (1978) (Modificado) (Modelo 4) foi também utilizado por Figueiredo Filho *et al.* (2015) na estimativa dos diâmetros com casca para um plantio de *A. angustifolia* localizado no município de Laranjeiras do Sul, Paraná, e apresentou estatísticas semelhantes ao do presente estudo.

Tabela 6. Coeficientes e estatísticas dos modelos ajustadas para estimativa do diâmetro com casca.

Nº	Modelo	Coeficientes	R ² ajust	Syx (cm)	Syx%
(1)	$d_{cc} = 0,4180 + 1,1355d_{sc}$	Laar (Schneider e Silva, 1979) - Modificado	0,9926	1,1198	3,33
(2)	$d_{cc} = 1,2639 + 1,1196d_{sc} - 0,0282h_i$	Modelo (2): Laar (Modificado) (Schneider e Silva, 1979)	0,9926	1,1145	3,30
(3)	$ln d_{cc} = 0,2204 + 0,9763ln d_{sc}$	Schneider (1978) - Modificado	0,9923	1,1421	3,38
(4)	$ln d_{cc} = 0,3259 + 0,9570ln d_{sc} - 0,0064ln(h_i I)$	Schneider (1978) (Modificado)	0,9931	1,0767	3,19

Em em: $\hat{\beta}_i$ = coeficientes dos modelos; R²ajust = coeficiente de determinação ajustado; Syx (cm) = erro padrão de estimativa em centímetros; Syx% = erro padrão de estimativa em porcentagem. d_{cc} = diâmetro com casca (cm) na altura h_i (m); d_{sc} = diâmetro sem casca (cm) medido na altura h_i (m); h = altura total (m); I = idade (anos); h_i = altura (m) onde se encontra o diâmetro d_{cc} (cm); ln = logaritmo neperiano.

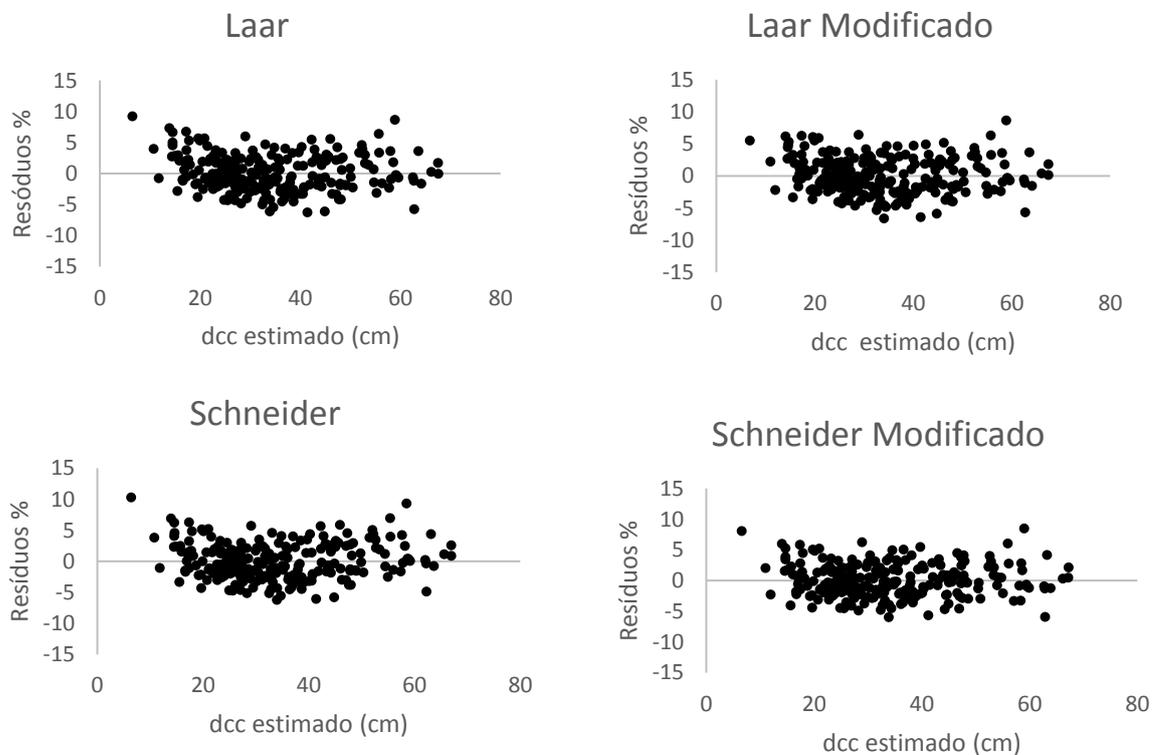


Figura 4. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas para estimativa do diâmetro com casca (dcc) ao longo do tronco.

5.4 Modelos de crescimento para estimar diâmetro, altura total e volume

Os dados produzidos pela ANATRO relativos ao crescimento em diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca, foram usados para ajustar o modelo de crescimento de Gompertz, Logística e de Chapman-Richards, cujos resultados estão na Tabela 7. Nas Figuras 5, 6 e 7 encontram-se a representação gráfica das funções ajustadas sobre os dados observados.

Tabela 7. Estatísticas do ajuste e precisão dos modelos de crescimento para o DAP com casca, altura total e volume total com casca de *Araucaria angustifolia* em função da idade.

	Número	n	Coeficientes			$r_{y\hat{y}}^2$ %	Syx (cm)	Syx %
			$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
DAP	(1)	4550 (45 árv.)	52,1785*	4,1750*	0,0379*	82,45	7,2657	26,07
	(2)		48,5000*	17,5527*	0,0623*	82,16	7,3311	26,30
	(3)		55,4301*	0,0281*	2,4346*	82,41	7,2755	26,10
	Número	n	Coeficientes			$r_{y\hat{y}}^2$ %	Syx (m)	Syx %
			$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
Altura	(1)	4699 (45 árv.)	21,6955*	2,5611*	0,0410*	87,64	2,3088	16,30
	(2)		20,8746*	6,9538*	0,0609*	87,12	2,3595	16,66
	(3)		23,5024*	0,0243*	1,1989*	87,78	2,2954	16,21
	Número	n	Coeficientes			$r_{y\hat{y}}^2$ %	Syx (m ³)	Syx %
			$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
Volume	(1)	4699 (45 árv.)	8,00	5,1607*	0,0142*	69,62	0,5386	59,88
	(2)		8,00	49,9712*	0,0299*	66,95	0,5654	62,86
	(3)		8,00	0,0094*	2,5617*	70,68	0,5283	58,73

Em que: Modelo (1): Gompertz $y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}} + \varepsilon_i$; (2): Logística $y = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 t})} + \varepsilon_i$; (3): Chapman-Richards $(y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2} + \varepsilon_i)$; n = número de observações; $\hat{\beta}_i$ = coeficientes dos modelos; $r_{y\hat{y}}^2$ % = coeficiente de correlação ao quadrado em porcentagem; Syx (cm/m/m³) = erro padrão de estimativa; Syx% = erro padrão de estimativa em porcentagem; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Analisando as estatísticas dos ajustes (Tabela 7) para o DAP, nota-se que todos os modelos apresentaram resultados similares para $r_{y\hat{y}}^2$ % e Syx %, bem como para representação gráfica das curvas (Figura 5). Levando em consideração que o modelo de Chapman-Richards teve resultados semelhantes aos demais, como também, que o referido modelo é uma expressão matemática das causas essenciais do crescimento, com parâmetros que permitem interpretação fisiológica e biológica (RICHARDS, 1959), este foi escolhido para expressar a curva de crescimento do diâmetro (DAP) de *A. angustifolia*. Outros estudos também utilizaram o modelo

de Chapman-Richards nas estimativas de crescimento em diâmetro para *A. angustifolia* (STEPKA, 2012; FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2015; RODRIGUES, 2016).

No ajuste das variáveis altura e volume, pode-se observar que todos os modelos mostraram estatísticas muito semelhantes (Tabela 7 e Figuras 6 e 7), porém o modelo de Chapman-Richards se mostrou ligeiramente superior (Modelo 3), tanto para variável altura, como para volume, portanto, selecionou-se este também para as estimativas dessas variáveis.

Considerando que os volumes totais em araucária podem chegar a valores muito superiores aos encontrados no presente estudo, optou-se por fixar os valores do coeficiente $\hat{\beta}_0$ em 8 m³ nos ajustes da variável volume, sendo esse valor escolhido com base no volume estimado das árvores de *A. angustifolia* presentes nas parcelas mensuradas no local. Com isso, pôde-se então construir uma curva de crescimento que representasse de melhor forma os dados observados. Para as variáveis diâmetro com casca e altura total, optou-se por não fixar os valores de $\hat{\beta}_0$, visto que para as mesmas as curvas ajustadas seguiram a tendência dos dados observados.

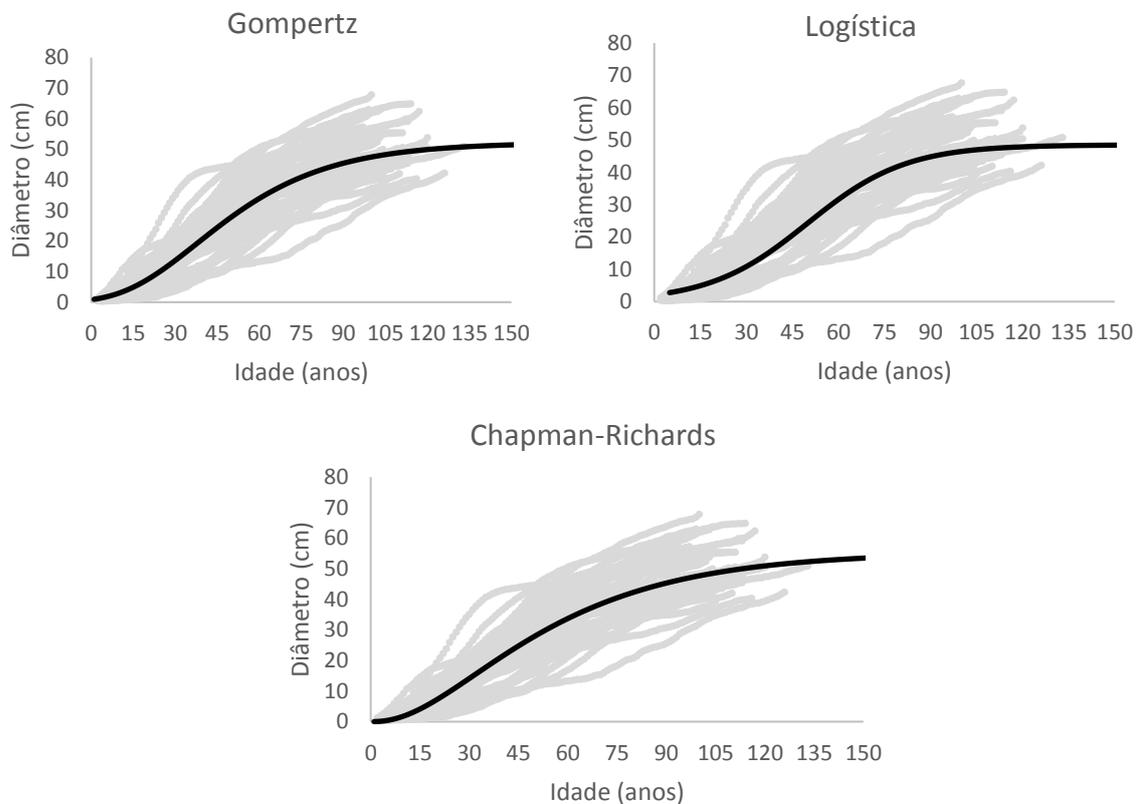


Figura 5. Funções de crescimento ajustadas para descrever o DAP com casca de Araucária em função da idade. Linha contínua indica a função ajustada juntamente com os dados observados.

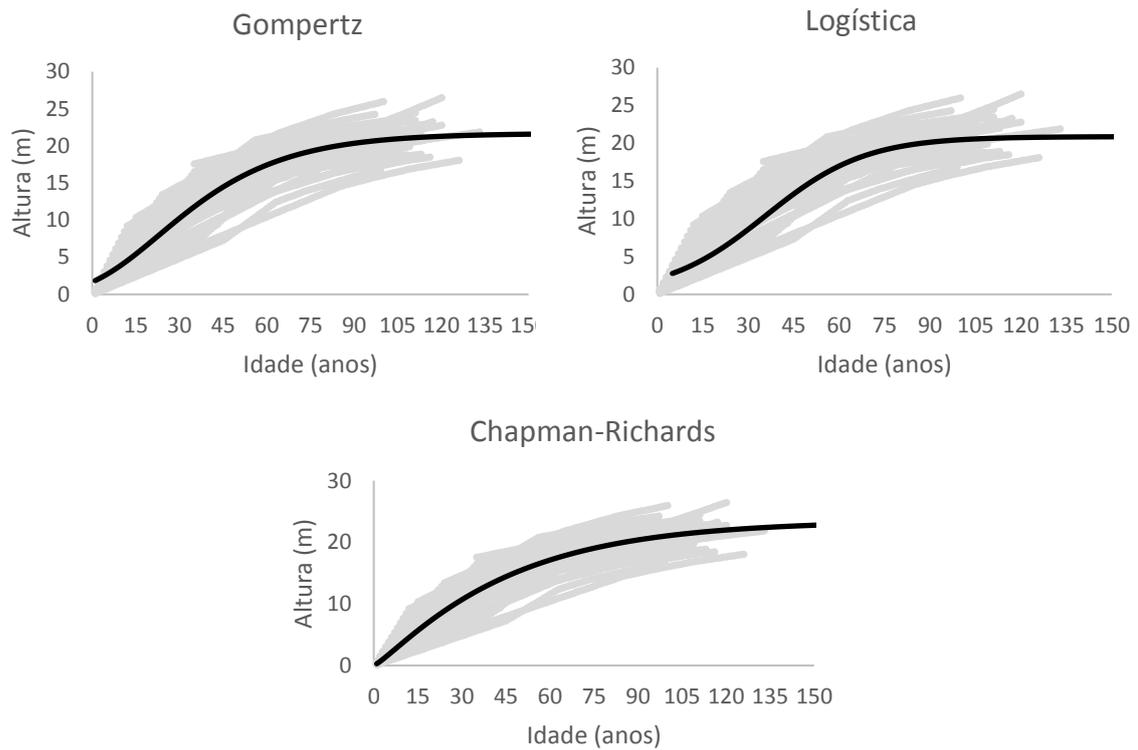


Figura 6. Funções de crescimento ajustadas para descrever a altura total de Araucária em função da idade. Linha contínua indica a função ajustada juntamente com os dados observados.

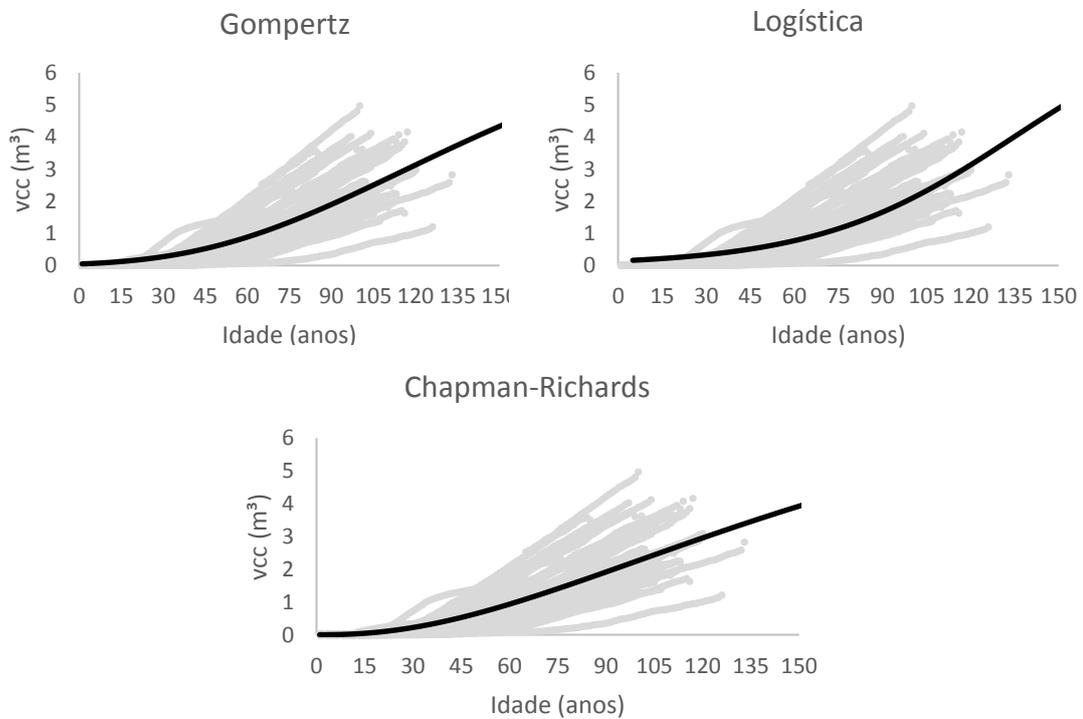


Figura 7. Funções de crescimento ajustadas para descrever o volume total com casca de Araucária em função da idade. Linha contínua indica a função ajustada juntamente com os dados observados.

Accioly (2015) utilizou o modelo de Chapman-Richards na estimativa de altura e volume para um plantio de araucária, e da mesma forma que no presente estudo, observou um erro de padrão de estimativa (%) bastante elevado para o volume. Hess e Schneider (2009), também utilizaram o modelo de Chapman-Richards na estimativa da altura de *A. angustifolia* na região da Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul, mencionando um erro (Syx %) de 3,73, valor abaixo do que o encontrado na presente pesquisa (Tabela 7), fato esse que pode se dar por se tratar de um povoamento homogêneo (plantio), o qual supõe-se existir uma menor heterogeneidade do crescimento.

5.4.1 Curvas de crescimento para o conjunto de dados

Na Figura 8 podem ser observadas as curvas de crescimento construídas para o conjunto de dados, a fim de analisar o padrão de crescimento de *A. angustifolia* nativa. Para isto, foram utilizadas as equações de crescimento geradas pelo modelo de Chapman-Richards.

Analisando as curvas construídas a partir do modelo de Chapman-Richards de Incremento Corrente Anual (ICA) e Incremento Médio Anual (IMA) (Figura 8), observa-se que o máximo IMA em diâmetro de $0,56 \text{ cm.ano}^{-1}$ ocorreu aos 56 anos. Já em outros estudos realizados a respeito do crescimento diamétrico em *A. angustifolia* nativas, obteve-se valores inferiores para o ponto máximo de IMA como no estudo de Stepka (2012), que indicou um ponto de interseção das curvas próximo dos 20 anos em Chapecó-SC, Irati-PR, São Francisco de Paula-RS, São João do Triunfo-PR e Três Barras-SC, e 30 anos para Caçador-SC.

Já em estudos em plantios de *A. angustifolia*, esse ponto de incremento máximo se mostrou em idades ainda mais inferiores ao presente estudo, tendo a interseção das curvas aos nove anos para Accioly (2015), e aos 12 anos para Figueiredo Filho *et al.* (2017). De acordo com Curto (2015), em ambiente de floresta natural é esperado que o incremento seja inferior ao potencial máximo da espécie, devido às condições de competição e crescimento específicas de cada local. Isso explica a amplitude entre os pontos de máxima produtividade entre o presente estudo e os que descrevem plantios de *A. angustifolia*.

Para a variável altura o IMA aos 100 anos de idade foi de $0,21 \text{ m.ano}^{-1}$, sendo que o máximo IMA observado foi de $0,38 \text{ m.ano}^{-1}$ aos 14 anos de idade, constatando-se que o crescimento em altura atingiu seu ponto de máximo IMA muito antes que o crescimento em diâmetro. Hess e Schneider (2009) encontraram valores superiores a este para o crescimento em altura em povoamentos de *A. angustifolia*, sendo o máximo IMA em altura de $0,50 \text{ m.ano}^{-1}$, aos 22 anos, na Serra do Sudeste; de $0,61 \text{ m.ano}^{-1}$, aos 20 anos, no Planalto Médio; e de $0,96$

m ano^{-1} , aos 13 anos, na Encosta Superior do Nordeste no Rio Grande do Sul. Já no estudo de Accioly (2015), o valor assintótico foi atingindo em menor tempo, aos sete anos para um plantio de *A. angustifolia*.

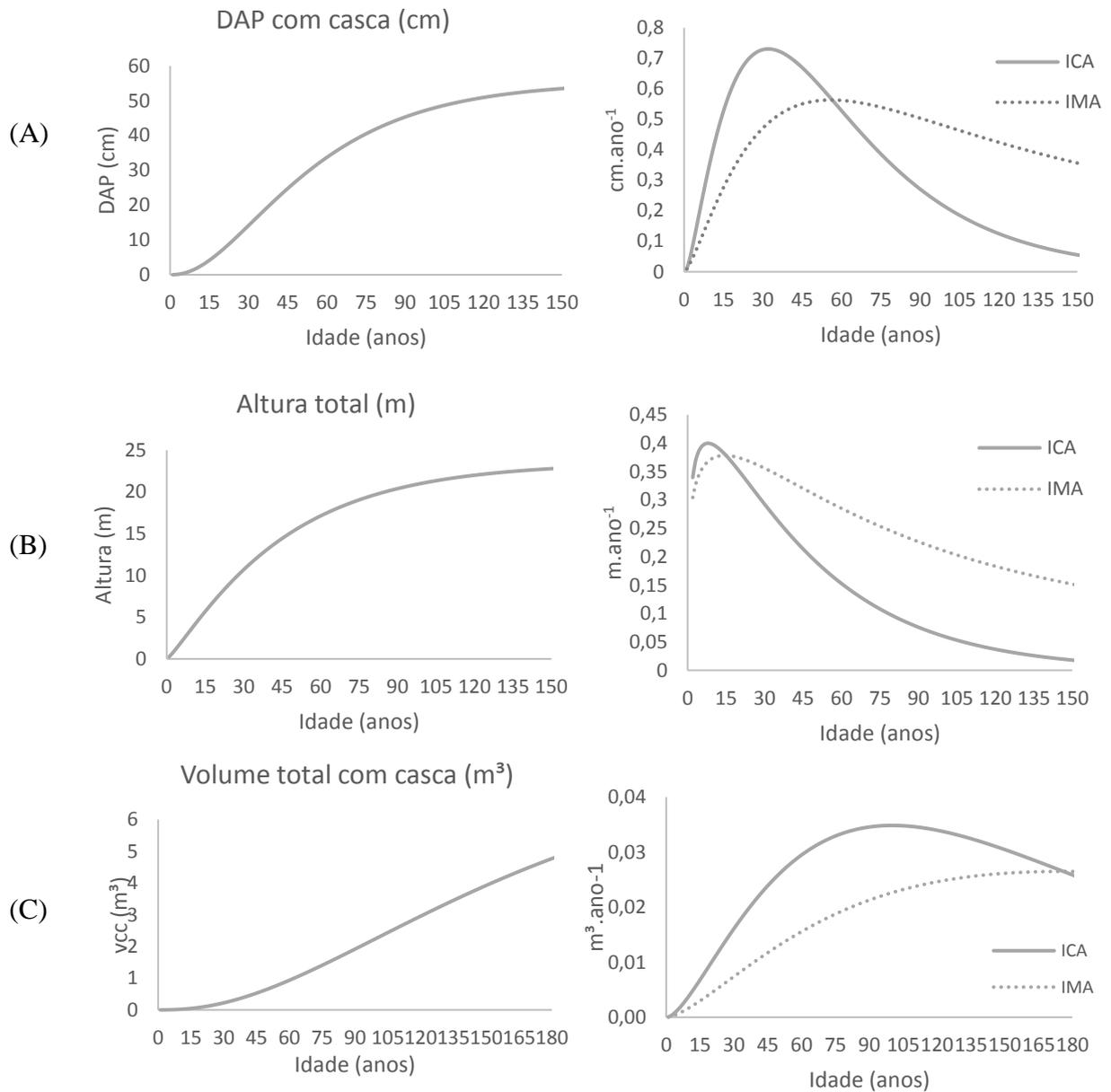


Figura 8. Função de Chapman-Richards ajustada para construir as curvas de ICA e IMA para variável DAP com casca (A), altura total (B) e volume total com casca (C) em função da idade para o conjunto de dados de *Araucaria angustifolia*.

Com relação ao incremento em volume, o incremento médio observado aos 100 anos de idade foi de $0,022 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. Observando as curvas de crescimento e produção (Figura 8C) pode-se notar que para o volume até os 150 anos, o crescimento das árvores ainda não atingiu o valor assintótico, não havendo, portanto, o encontro entre as curvas de ICA e IMA. Sendo assim quando se estima os valores de volume para idades mais avançadas, observa-se, que o máximo valor encontrado para o incremento médio anual foi de $0,026 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ apenas aos 176 anos. Na Tabela 8, podem ser observadas as idades encontradas para intersecção das curvas de ICA e IMA, bem com os valores de máximo IMA por diversos autores no estudo do crescimento de *A. angustifolia*.

Tabela 8. Valores de Incremento Médio anual encontrados para *Araucaria angustifolia*.

Autor	Local	Floresta	Máx IMA ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$)	Idade (anos)
Santos (2006)	Rio Negro-PR	Plantio	-	33/ 34
Hess (2006)	Serra Sudeste-RS	Nativa	0,03	58
Hess (2006)	Planalto Médio-RS	Nativa	0,02	49
Hess (2006)	Encosta Superior do Nordeste-RS	Nativa	0,03	48
Curto (2015)	Campo Largo-PR	Plantio	0,01	56
Curto (2015)	Campo Largo-PR	Plantio	0,05	66
Curto (2015)	Campo Largo-PR	Plantio	0,02	68

Comparando-se os resultados, pode-se concluir que na presente pesquisa a máxima produtividade foi atingida muito mais tarde, ou seja, o crescimento mostrou-se mais lento, devido às baixas taxas de incremento encontradas em florestas naturais. Entretanto, as curvas seguiram a ordem natural de culminação das variáveis dendrométricas, amplamente descrita na literatura florestal, sendo que em geral, a altura é a primeira variável a atingir a máxima produtividade seguida pelo diâmetro e volume.

Apesar disso, houve uma grande diferença com relação ao ano de intersecção das curvas de ICA e IMA para a variável altura, a qual se apresentou muito antes que as demais variáveis, isso pode ter ocorrido devido às estimativas das alturas, as quais foram realizadas por meio da ANATRO, sendo que para isso utilizou-se apenas cinco discos por árvore, ou seja, apenas cinco alturas ao longo do fuste, fato esse que pode ter ocasionado alguma superestimativa ou subestimativa nos valores de altura para cada ano.

A interpretação das curvas de crescimento gera valiosas informações para o manejo de florestas, podendo ser úteis tanto para plantios florestais como também para as árvores de florestas nativas (STEPKA, 2012). O conhecimento a respeito da produtividade da árvore

auxilia na tomada de decisão no manejo florestal, definindo qual o momento ideal para se intervir na florestal visando obter um maior aproveitando do recurso madeireiro.

5.5 Modelos de crescimento para estimar diâmetro, altura total e volume para os dados estratificados

Devido à grande variabilidade no crescimento em espécies nativas, tanto pelas diferentes condições de solo, competição, luz, como também pela presença de indivíduos com diferentes idades, realizando o ajuste para o conjunto de dados total pode-se gerar conclusões equivocadas, portanto, torna-se importante estratificar os indivíduos para buscar estimativas mais consistentes, obtendo-se assim ajustes de melhor qualidade (STEPKA, 2012; RODRIGUES, 2016).

Sendo assim, encontram-se na Tabela 9 os resultados dos ajustes do modelo de Chapman-Richards (selecionado como mais apropriado nos ajustes anteriores para todas as variáveis) para os dados estratificados em classe de crescimento superior e inferior e também estratificando em dois grupos: indivíduos femininos e masculinos. Observa-se que as estatísticas para os ajustes dos dados estratificados foram satisfatórias de modo geral, melhorando a qualidade do ajuste em relação ao ajuste com todos os dados, exceto para a variável volume nos indivíduos masculinos. Ainda, com base no teste de identidade realizado, constatou-se que a estratificação foi necessária, ou seja, os dados deveriam ser ajustados separadamente (Tabela 10).

Levando em consideração que o coeficiente β_0 representa a assíntota da função, o coeficiente β_1 refere-se à inclinação da curva de crescimento (BURKHART e TOMÉ, 2012 apud RODRIGUES, 2016), para a variável DAP é possível notar que os parâmetros dos ajustes de Chapman-Richards com relação a dioicia, para os indivíduos masculinos tiveram um maior valor assintótico, ou seja, um $\hat{\beta}_0$ maior, bem como uma maior inclinação na curva, apresentando valor de $\hat{\beta}_1$ maior. Na classe de crescimento superior, nota-se a mesma tendência, de maior inclinação ($\hat{\beta}_1$ maior). Isso indica a taxa na qual o valor do diâmetro muda ao longo dos anos (Tabela 9).

Da mesma forma que ocorreu no ajuste do conjunto de dados, para a variável volume, optou-se por fixar os valores de β_0 , sendo considerado um valor de 5 m³ para os indivíduos masculinos e com crescimento inferior, e 8 m³ para os indivíduos femininos e aqueles presentes na classe de crescimento superior.

Tabela 9. Estatísticas do ajuste do modelo de Chapman-Richards para o diâmetro com casca (DAP), altura total e volume total com casca de Araucária em função da idade para os dados estratificados.

Classes de crescimento		n	Coeficientes			r_{yy}^2 %	Syx	Syx %
			$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
DAP	Inferior	2627	57,2189*	0,0204*	2,0746*	90,06	4,7252	19,18
	Superior	1923	65,6958*	0,0288*	2,3962*	93,73	4,8303	14,96
Altura	Inferior	1907	23,7635*	0,0193*	1,2836*	92,38	1,7276	13,64
	Superior	2792	25,2469*	0,0237*	1,0956*	95,49	1,3981	9,21
Volume	Inferior	2722	5	0,0142*	3,7902*	85,71	0,2735	39,85
	Superior	1977	8	0,0141*	3,1715*	89,29	0,3862	32,37

Grupos de indivíduos		n	Coeficientes			r_{yy}^2 %	Syx	Syx %
			$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$			
DAP	Masculinos	2963	51,6723*	0,0295*	2,3685*	80,52	7,2657	27,00
	Femininos	1587	58,7442*	0,0304*	2,9512*	86,56	6,8832	23,20
Altura	Masculinos	3065	22,4280*	0,0274*	1,2811*	86,12	2,4228	17,48
	Femininos	1634	25,2498*	0,0206*	1,1058*	91,16	1,9787	13,43
Volum	Masculinos	3065	5	0,0134*	2,8621*	66,60	0,5220	62,97
	Femininos	1634	8	0,0110*	2,8896*	78,05	0,5091	49,33

Em que: modelo de Chapman-Richards: $y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2} \varepsilon_i$; n = número de observações; $\hat{\beta}_i$ = coeficientes dos modelos; r_{yy}^2 % = coeficiente de correlação ao quadrado em porcentagem; Syx (cm) = erro padrão de estimativa em centímetros; Syx% = erro padrão de estimativa em porcentagem; * = significativo a 5% a probabilidade de erro.

Tabela 10. Teste de identidade para o modelo de Chapman-Richards.

Estratificação		QMred	QMres	F0	Ftab (5%)
DAP	Classes Superior x Inferior	54151,81	22,7518	2380,11*	2,6069
	Indivíduos Masculinos x Femininos	11511,02	50,9037	226,133*	2,6069
Altura	Classes Superior x Inferior	4536,165	2,37243	1912,04*	2,6068
	Indivíduos Masculinos x Femininos	127,51	5,1907	24,57*	2,6068
Volume	Classes Superior x Inferior	316,0996	0,17127	1845,661*	2,6066
	Indivíduos Masculinos x Femininos	30,36	0,3402	89,23*	2,6067

Em que: QMred = Quadrado médio do modelo reduzido; QM res = Quadrado médio do resíduo; F0 = F calculado; Ftab = F tabelado; * = significativo a 5% a probabilidade de erro.

5.5.1 Curvas de crescimento para indivíduos masculinos e femininos

Na Figura 9 podem ser observadas as curvas geradas pelo modelo de Chapman-Richards de crescimento em DAP com casca, altura total e volume total com casca, para os dados estratificados em indivíduos femininos e masculinos.

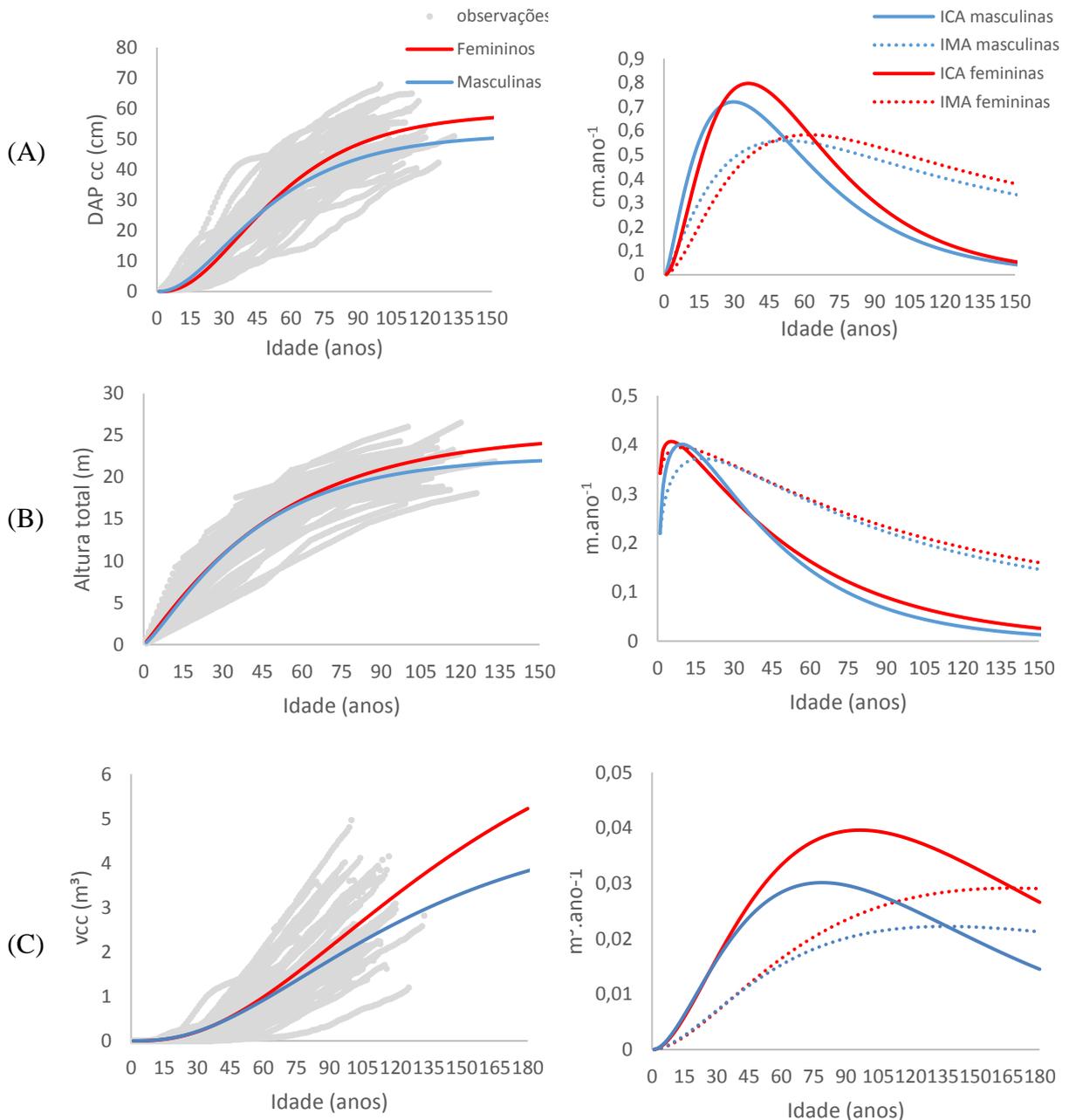


Figura 9. Função de Chapman-Richards ajustada para construir as curvas de ICA e IMA para variável DAP com casca (A), altura total (B) e volume total com casca (C) em função da idade para os dados estratificados para indivíduos femininos e masculinos de *Araucaria angustifolia*.

Analisando-se as curvas de produção nota-se que até 60-70 anos não houve diferenciação de crescimento com relação à dioicia, para todas as variáveis, porém, a partir dessa idade houve um maior crescimento acumulado para os indivíduos femininos. No estudo realizado por Figueiredo Filho *et al.* (2015) a dioicia também influenciou significativamente o crescimento de *A. angustifolia* em condições de plantio, onde as árvores femininas também apresentaram maior crescimento para as variáveis DAP e volume. No entanto, Pinto (1979) e Zanon (2007), avaliando povoamentos de *A. angustifolia*, concluíram que o crescimento diamétrico e em altura independe da dioicia, diferente do que apontaram os resultados do presente estudo.

Na Figura 9 observa-se que a máxima produtividade média em diâmetro (DAP) com casca ($0,5590 \text{ cm.ano}^{-1}$) ocorre mais cedo nos indivíduos masculinos, aos 52 anos e somente aos 62 anos nos indivíduos femininos com $0,5827 \text{ cm.ano}^{-1}$. Da mesma forma acontece para variável volume, onde os indivíduos masculinos atingem seu máximo incremento médio mais rapidamente aos 137 anos ($0,0222 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$) e para os indivíduos femininos esse valor se dá aos 167 anos ($0,0291 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$). Entretanto, para a variável altura, o cruzamento das curvas de ICA e IMA ocorre mais rapidamente nos indivíduos femininos aos 10 anos ($0,3942 \text{ m.ano}^{-1}$) e aos 17 anos ($0,3719 \text{ m.ano}^{-1}$) para os masculinos.

Figueiredo Filho *et al.* (2015) encontraram o máximo IMA por volta de nove e dez anos, respectivamente, para árvores masculinas e femininas, para as variáveis altura e diâmetro em plantio da espécie. Entretanto, as curvas mostraram que os valores de incremento em diâmetro para os indivíduos femininos foram um pouco mais altos que os indivíduos masculinos, exceto para a altura, onde os indivíduos femininos foram superados pelos masculinos próximos à assíntota. Para Zanon e Finger (2010), não houve diferença estatística de crescimento entre árvores femininas e masculinas, porém, verificou-se uma tendência das árvores femininas se desenvolverem mais.

O comportamento esperado para um crescimento superior seria para os indivíduos masculinos, devido ao ciclo de reprodução dos indivíduos femininos, o qual ocasiona um maior gasto de energia, reduzindo seu crescimento (HERRERA, 1988). Entretanto, isso difere do encontrado no presente estudo, onde apesar dos indivíduos masculinos alcançarem sua máxima produtividade mais rapidamente, para a variável diâmetro e volume, os valores de crescimento acumulado se mostraram superiores nos indivíduos femininos. Esse comportamento foi também observado pelos autores Figueiredo Filho *et al.* (2015), Zanon e Finger (2010) e Paludo *et al.*

(2009), contradizendo desta forma a suposição de que as plantas femininas reduziram o crescimento devido ao seu esforço reprodutivo.

Apesar dos indivíduos femininos se mostrarem superiores em relação ao crescimento em diâmetro e volume, nota-se que em ambos os sexos o crescimento se mostrou inferior quando comparado a plantios de *A. angustifolia* (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2015), podendo-se constatar, como esperado, que em florestas nativas o crescimento das árvores se dá de forma mais lenta devido à alta competição existente nesse tipo de vegetação.

5.5.2 Curvas de crescimento para indivíduos com crescimento superior e inferior

As maiores distinções de crescimento se encontraram nesta estratificação envolvendo indivíduos das classes de crescimento inferior e superior, sendo as classes definidas conforme o incremento médio de cada árvore, onde as árvores que apresentaram um crescimento em diâmetro acima da média foram consideradas as superiores, e abaixo da média, as inferiores. Desta forma, como esperado, as árvores com crescimento superior à média tiveram um maior incremento desde os primeiros anos de idade, para todas as variáveis. Os valores médios encontrados na idade de 100 anos para a classe de crescimento inferior foram de 0,4283 cm.ano⁻¹, 0,1942 m.ano⁻¹ e 0,0175 m³.ano⁻¹, respectivamente, para o DAP com casca, altura total e volume total com casca, enquanto que na classe de crescimento superior foi 0,5716 cm.ano⁻¹, 0,2266 m ano⁻¹ e 0,0328 m³ ano⁻¹.

Nos indivíduos da classe de crescimento superior, observa-se que o crescimento já se mostra mais acelerado desde as primeiras idades e atinge maiores dimensões (Figura 10) comparativamente aos indivíduos da classe de crescimento inferior. Rodrigues (2016) também observou este mesmo comportamento para indivíduos de *A. angustifolia* na classe superior, sendo que tal comportamento pode ser explicado pelas diferentes condições ambientais do local, como a competição e qualidade de sítio, fatores esses que podem afetar diretamente o crescimento da árvore.

Analisando as curvas de ICA e IMA nota-se, como esperado, que a primeira variável a atingir a máxima produtividade foi altura, apresentando seu ponto máximo de IMA aos oito e aos 25 anos para as classes de crescimento superior e inferior, respectivamente. Para o diâmetro as curvas se cruzam aos 54 e 65 anos para as classes superiores e inferiores, respectivamente, encontrando-se em idades próximas. Já para o volume a intersecção das curvas se deu aos 141 para a classe de crescimento superior, e para a classe de crescimento inferior, o máximo valor de IMA irá ocorrer apenas aos 159 anos.

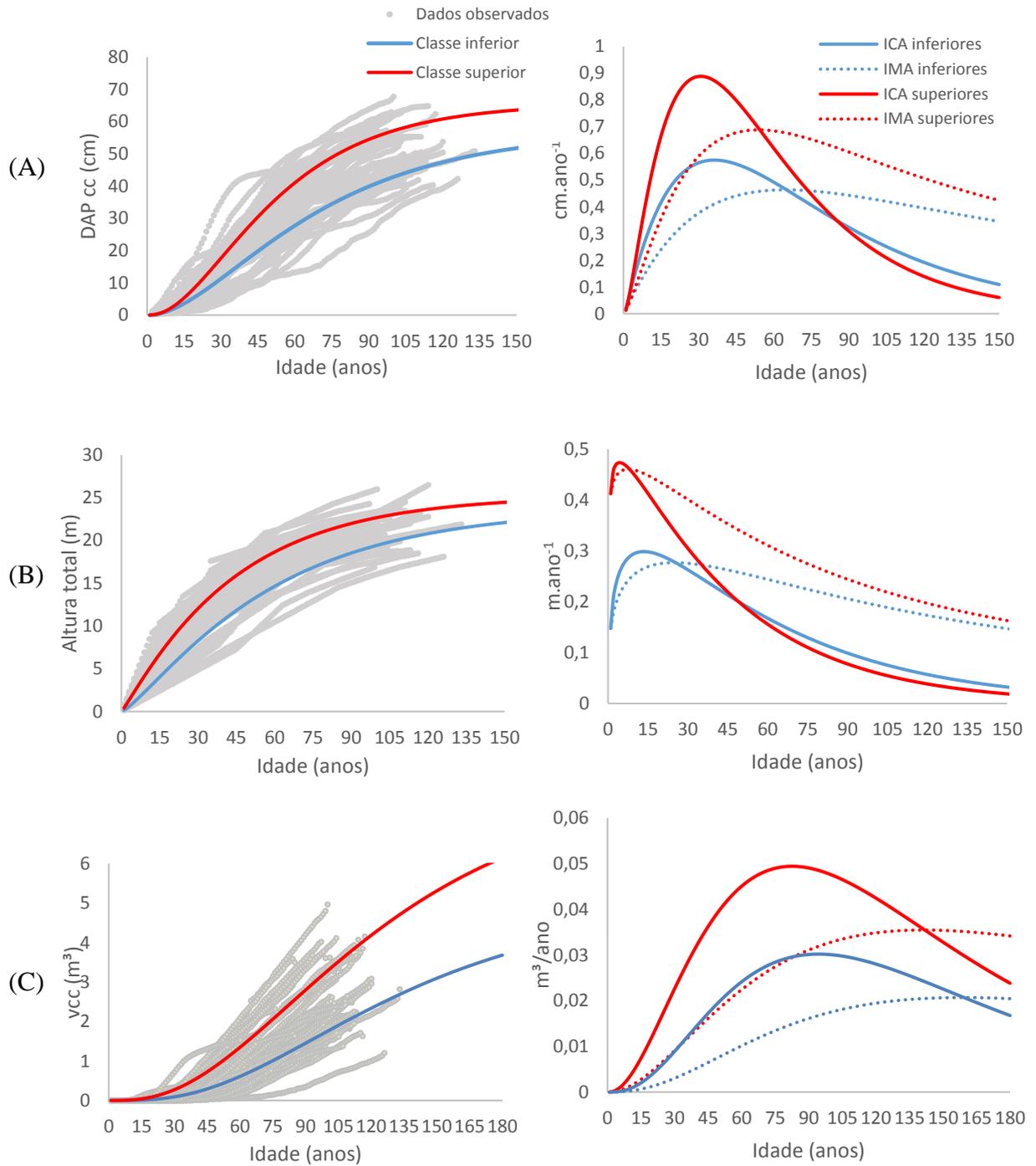


Figura 10. Função de Chapman-Richards ajustada para construir as curvas de ICA e IMA para variável DAP com casca (A), altura total (B) e volume total com casca (C) em função da idade para os dados estratificados para os dados estratificados em indivíduos superiores e inferiores de *Araucaria angustifolia*.

5.6 Tempo de Passagem

Com base no modelo de Chapman-Richards ajustado para o crescimento diamétrico para os indivíduos femininos e masculinos, obteve-se o tempo de passagem em cada classe diamétrica até a idade de 150 anos (Figura 11).

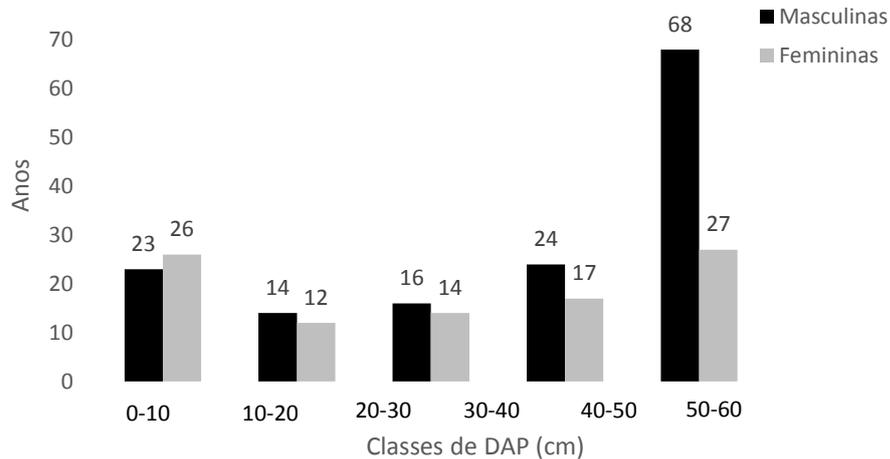


Figura 11. Tempo de Passagem em classes diamétricas para indivíduos femininos e masculinos de *Araucaria angustifolia*.

Analisando a Figura 11 nota-se que o tempo de passagem segue uma tendência de aumentar conforme aumenta o diâmetro, exceto para a menor classe de diâmetro (0-10 m). Esse comportamento foi também observado por Curto (2015) analisando um plantio superestocado de *A. angustifolia*. Para a mesma autora o tempo de passagem entre as classes foi inferior aos observados no presente estudo, o que se deve às condições ambientais existentes em uma floresta nativa, onde há maior competição entre as árvores.

Rodrigues (2016), analisando o tempo de passagem para *A. angustifolia* em floresta nativa, notou um aumento do tempo desde a primeira classe de diâmetro e com tempos de passagem entre as classes semelhantes a presente pesquisa. Observou-se ainda que o tempo de passagem dos indivíduos masculinos é maior na maioria das classes, exceto na menor classe de diâmetro (0-10 cm), sendo que a maior diferença de tempo entre as classes entre indivíduos masculinos e femininos se dá nas maiores classes de diâmetro.

5.7 Diâmetro mínimo de corte

Na Tabela 11, podem ser observadas as estatísticas do ajuste dos modelos propostos por Schöngart (2008) para estimar o diâmetro (DAP) com casca e altura total. Constata-se que, para o DAP, o erro padrão de estimativa foi alto.

Tabela 11. Coeficientes e estatísticas do ajuste dos modelos testados para estimativa de DAP com casca e altura total.

Variável	n	Coeficientes			$r_{y\hat{y}}^2$ %	Syx	Syx %
		a	b	c			
DAP	4550	61,5319 *	54,5282 *	2,04087 *	82,39	7,2700	26,08
Altura (h)	48	48,5000 *	17,5527 *	0,0623 *	20,85	2,1100	11,98

Em que: Equação para $DAP = \frac{a}{(1+(\frac{b}{r})^c)}$; para a $h = \frac{DAP \cdot d}{DAP + e}$; n = número de observações; a, b, c e d = coeficientes dos modelos; $r_{y\hat{y}}^2$ % = coeficiente de correlação ao quadrado em porcentagem; Syx = erro padrão de estimativa em cm/m; Syx% = erro padrão de estimativa em porcentagem.

Na Tabela 12 e Figura 12, podem ser observadas as curvas de incremento em volume, a curva de produção em diâmetro (DAP) indicando o diâmetro mínimo de corte (DMC), bem como os valores de DMC e Ciclo de corte encontrados para o método de Schöngart e usando o método de análise de tronco completa (ANATRO).

Tabela 12. Definição do diâmetro mínimo de corte (DMC) para o método de Schöngart e usando o método de Análise de Tronco Completa (ANATRO).

	Schöngart	ANATRO
DMC (cm)	34,77	47,69
Idade no DMC (anos)	62	100
ICA máx. vol. ($m^3 \cdot ano^{-1}$)	0,0354	0,0349
Volume no DMC (m^3)	0,9996	2,2637
Ciclo de corte (anos)	18	21

Em que: ICA = Incremento corrente anual.

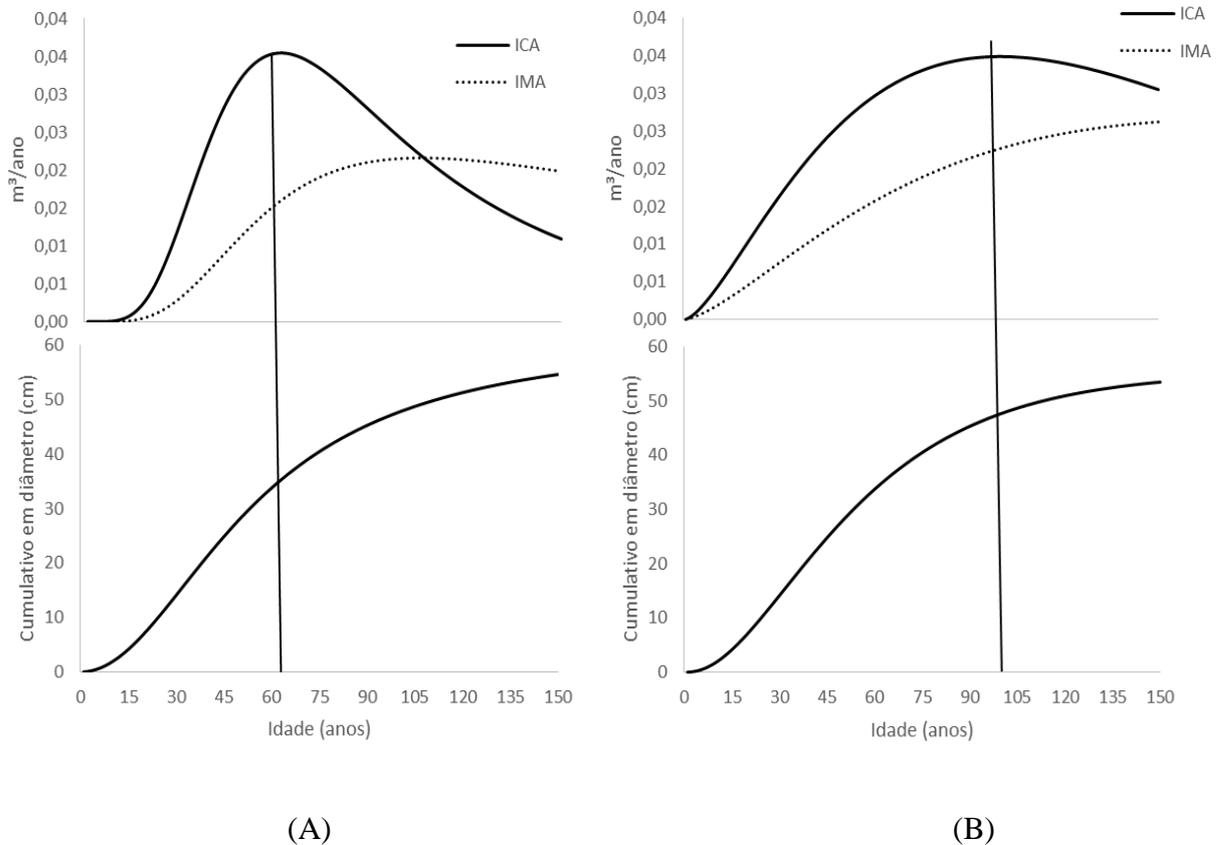


Figura 12. Curvas médias de incrementos corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) em volume e do crescimento acumulado em diâmetro de *Araucaria angustifolia* construídas pelo método de Schöngart (A) e usando Análise de Tronco Completa (ANATRO). Linha vertical representa o máximo de incremento corrente em volume.

O incremento corrente anual (ICA) máximo em volume encontrado para o método de Schöngart foi de $0,0354 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ aos 62 anos, e para o método usando ANATRO foi $0,0349 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ aos 100 anos (Tabela 12). Apesar dos máximos valores de ICA se mostrarem próximos, os mesmos se encontram em diferentes idades. Portanto, para o primeiro método definiu-se o diâmetro mínimo de corte (DMC) de 34,77 cm e para o segundo método aos 47,69 cm, valores esses que diferem bastante. Isto certamente é devido a procedimentos com bases diferentes de dados.

Observando-se ainda as curvas de ICA e IMA (Figura 12), nota-se que para o método de Schöngart, as curvas já atingiram o seu ponto de intersecção, o que não ocorre no método de ANATRO, onde as curvas ainda não atingiram o seu máximo valor de produção. Essa grande distinção de valores, observada pelos diferentes métodos pode ocorrer devido ao método de Schöngart levar em conta apenas valores estimados por meio de uma relação hipsométrica, na

qual utilizam-se dados de altura atual das árvores, porém, como a relação hipsométrica se constitui de uma relação dinâmica, que vai alterando sua forma ao longo dos anos, pode estimar de forma errônea as alturas para cada idade.

Acrescente-se ainda, que o método utiliza valores estimados de volume, utilizando dados da relação hipsométrica para altura, valores de diâmetro de apenas uma seção do fuste, bem como, estima o volume com um fator de forma, enquanto que no método usando ANATRO, considera-se os valores obtidos por meio dos cinco discos retirados do fuste de cada indivíduo, captando a excentricidade do volume das árvores de Araucária. Portanto, esse método resultará em valores mais acurados de altura e volume, tornando-o mais apurado, o que pode indicar que as estimativas nas quais se levam em conta apenas os dados coletados no disco da base das árvores, calculando o volume apenas por meio de estimativas, pode não demonstrar de forma correta o momento ideal para realização do corte de *A. angustifolia*.

Os valores obtidos para ciclo de corte foram de 18 anos para o primeiro método e 21 para o segundo método (Tabela 12), valores não tão distantes quanto de DMC. Com a definição do ciclo de corte obtêm-se informações a respeito do tempo médio que as árvores remanescentes de classe diamétrica abaixo do ciclo de corte necessitarão para alcançar o DMC definido, para então substituir o que foi explorado mantendo assim a capacidade produtiva do local. Para o local em estudo seria viável a elaboração de planos de manejo florestal sustentável da espécie com retiradas de madeira em torno de cada 20 anos.

Para Moraes Junior *et al.* (2016), o ciclo de corte definido para a espécie *A. angustifolia* em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista localizado em Canoinhas, SC foi de 16,5 anos, sendo o diâmetro mínimo de corte 24,8 cm, mostrando um crescimento superior comparando-se a presente pesquisa. Entretanto de acordo com Dal Bem *et al.* (2015), em estudo com cenários de corte seletivo, formados por combinações de diferentes diâmetros mínimo de corte, intensidades de explorações (IE) e ciclos de corte de *A. angustifolia* em um remanescente de FOM localizada no município de Mangueirinha - PR, constataram que o cenário mais indicado para atingir o manejo sustentado é o de DMC de 100 cm, IE de 90%, com ciclo de corte de no mínimo 22 anos.

Dal Bem *et al.* (2015) ainda ressaltaram a existência de diferenças no crescimento das árvores entre as regiões de ocorrência natural da espécie, sendo que em populações de ocorrência, na região mais ao sul de distribuição da espécie, como o Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentam crescimento mais lento, requerendo ciclos de corte mais longos. Porém, essa afirmação não corrobora com o observado por Moraes Junior *et al.* (2016), indicando assim

que existem inúmeros fatores que podem influenciar o ritmo de crescimento de espécies em florestas naturais, sendo o principal deles a competição por espaço, luz e nutrientes.

5.8 Variação do Incremento ao longo do fuste

Para avaliação a variação do incremento ao longo do fuste, foi realizada primeiramente uma análise individual de cada árvore, por meio dessa análise, selecionou-se então as árvores que apresentaram idade e padrão de crescimento semelhante. Desta forma selecionou-se dentre as 28 árvores datadas, 4 indivíduos masculinos e 4 indivíduos femininos.

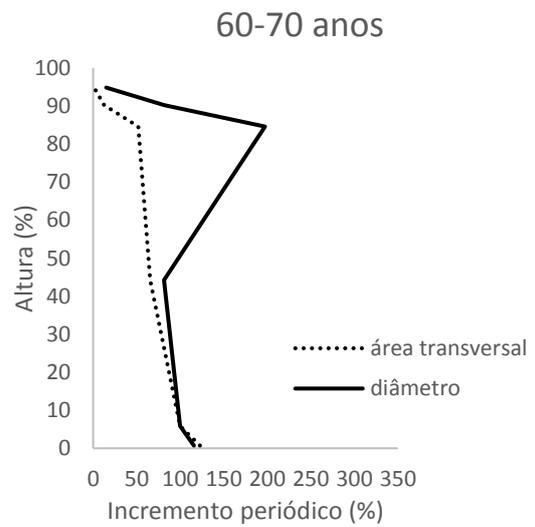
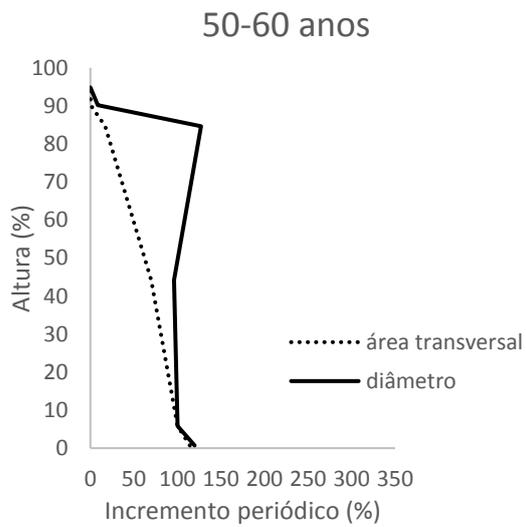
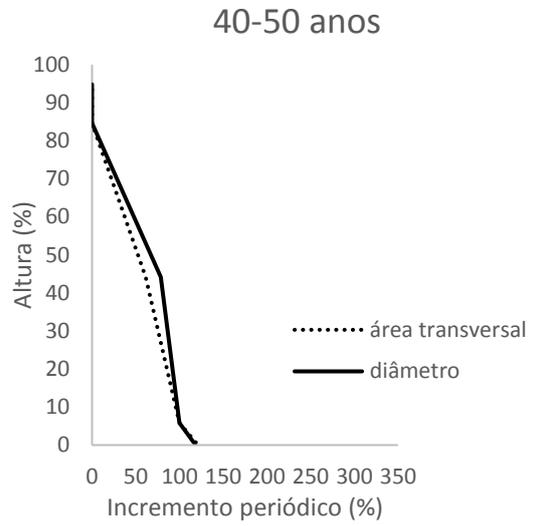
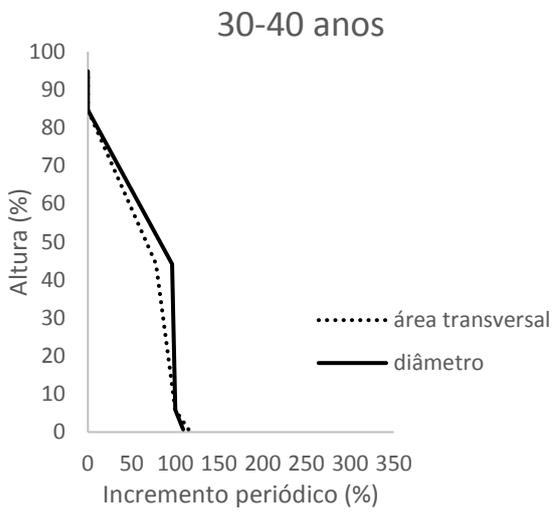
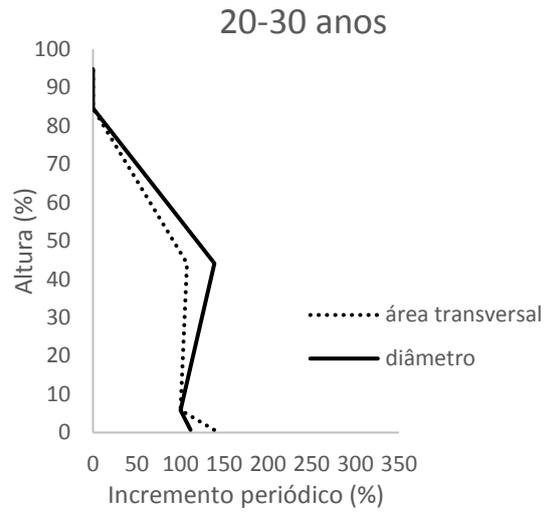
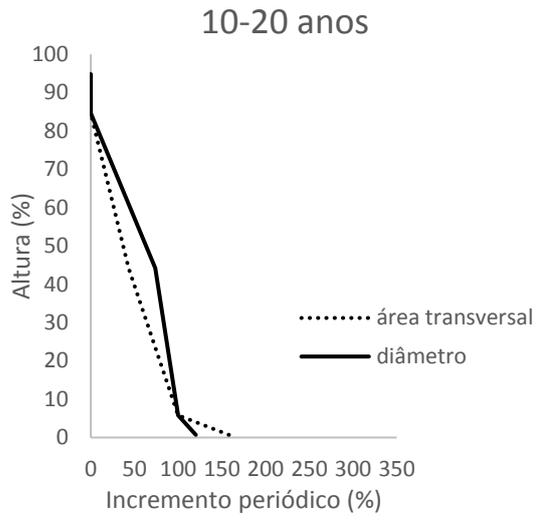
Nas Tabela 13 e Figura 13, podem ser observados os valores referentes ao incremento periódico em diâmetro e área transversal ao longo do fuste, bem como a representação gráfica dos mesmos, sendo o incremento periódico apresentado de 10 em 10 anos desde a idade de 10 até 100 anos.

Tabela 13. Variação do incremento periódico em diamétrico e em área transversal (%) ao longo do fuste em *Araucaria angustifolia*.

Altura da seção (%)	Incremento periódico em diâmetro (%)								
	Anos								
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
0,4-1,0	120,12	111,68	108,98	116,31	119,77	115,77	115,17	110,54	121,40
5,0-6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
33-57	73,90	138,97	96,39	78,49	96,04	81,37	79,10	78,17	93,85
80-88					127,12	197,38	215,92	152,50	147,56
88-93					8,48	81,63	187,85	256,92	235,41
93-97						14,92	72,60	149,59	358,45

Altura da seção (%)	Incremento periódico em área transversal (%)								
	Anos								
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
0,4-1,0	157,97	138,64	115,03	118,76	114,29	122,73	112,58	111,26	126,70
5,0-6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
33-57	43,28	107,66	77,93	61,37	69,70	65,61	57,96	58,11	71,97
80-88					17,06	51,68	81,82	78,34	88,56
88-93					0,34	12,52	30,45	75,29	108,28
93-97						1,05	8,86	26,53	86,75

Em verde valores máximos para cada idade. Em azul valores mínimos para cada idade.



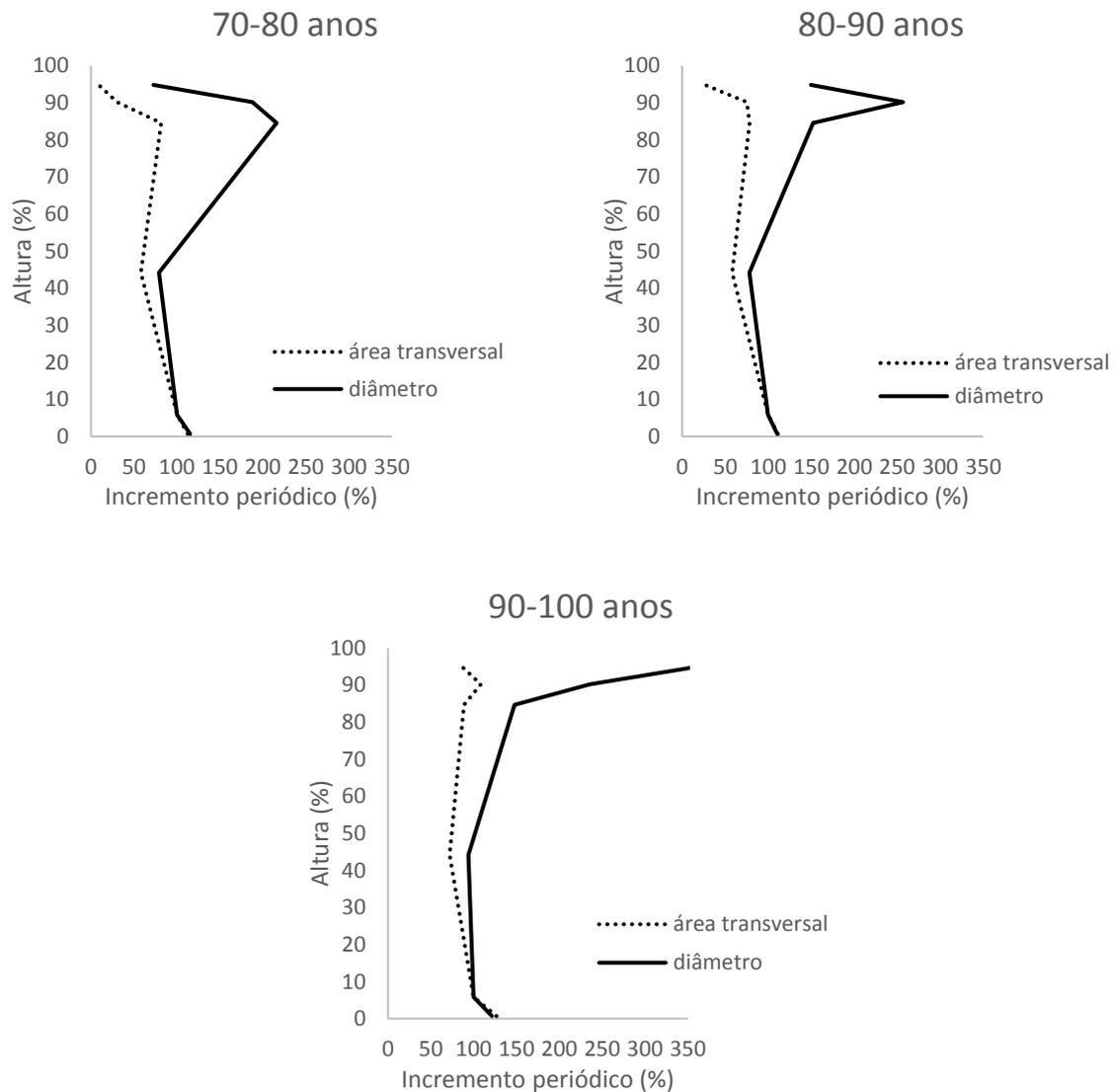


Figura 13. Representação gráfica dos incrementos periódicos em diâmetro e em área transversal em diferentes alturas do fuste de *Araucaria angustifolia*.

Analisando os valores de incremento periódico máximo e mínimo para cada idade é possível notar que para o incremento em diâmetro (Tabela 13), os valores de máximo incremento se encontram próximos à base da árvore até aos 40 anos e, a partir daí o máximo incremento se desloca para as porções superiores do fuste, a partir da base da copa (80– 97,1%). Para Curto (2015), que avaliou a distribuição do incremento ao longo do fuste para um plantio estocado de *A. angustifolia*, foi observado que entre os 30 e 40 anos, a partir de 60% de altura, as árvores apresentam anéis de crescimento mais largos que os anéis do DAP. Indicando, portanto, o mesmo comportamento observado para a presente pesquisa, sendo que neste caso, as árvores apresentaram esse comportamento desde os 50 até os 100 anos.

Esse comportamento no crescimento da árvore está de acordo com os estudos realizados por Von Guttenberg (1915), Topcuoglu (1940) e Assmann (1970), os quais afirmaram que a largura do anel de crescimento em árvores que estão localizados no interior do povoamento, irá diminuir a partir da base do fuste até atingir um valor mínimo de incremento, e então irá aumentar novamente até a parte superior, no interior da copa. Tem-se assim um ponto de máximo incremento na base do fuste como também no interior da copa da árvore (ASSMANN, 1970).

De acordo com os mesmos autores (VON GUTTENBERG, 1915; TOPCUOGLU, 1940; ASSMANN, 1970), com relação ao valor de mínimo incremento, o mesmo está localizado entre os dois pontos de máximo incremento, o qual varia de acordo com a classe sociológica da árvore, porém, de maneira geral, ocorre entre um a doze metros, por volta de 20% da altura total. Para Curto (2015), foi possível notar que o incremento diamétrico diminui da base do tronco para a posição de aproximadamente 10% da altura, voltando a aumentar novamente na região próxima à copa.

Já na presente pesquisa o valor de mínimo incremento em diâmetro encontra-se na faixa de 5 a 57 % da altura, sendo que a partir dos 50 anos de idade o incremento mínimo se encontra na faixa de 80 a 88 % da altura total e se desloca para o topo da árvore até o período de 70 a 80 anos, e a partir daí, encontra-se na faixa que vai de 33 a 57 %, ou seja, variam desde a altura do DAP até o interior da copa das árvores. Esse valor pode dar uma impressão errônea de que o incremento mínimo ocorreu em alturas superiores as indicadas na literatura (ASSMANN, e demais), porém, a avaliação do incremento foi realizada a partir de discos disponibilizados em alturas variadas para cada árvore, de acordo com o aproveitamento comercial. Assim, há uma falha de amostragem, uma vez que não foi possível obter os valores referentes à faixa que vai de 6,5% a 33% da altura total da árvore, sendo essa porção do tronco onde possivelmente poderia se encontrar o valor de mínimo incremento.

Com relação ao incremento em área transversal (Tabela 13) nota-se uma diferença com relação ao incremento diamétrico, sendo que os valores de incremento máximo se encontram na base da árvore, na faixa que varia de 0,4 a 1 % de altura. E para os valores mínimos, observa-se que variam de 5 a 97,1% de altura. Observa-se que ao longo dos anos existe uma variação na dinâmica dos incrementos, conforme pode ser visualizado por representação gráfica (Figura 13).

De acordo com Assmann (1970), a área transversal não depende somente da largura do anel, mas também em grande parte do diâmetro inicial da seção transversal. Entretanto, o autor

observou que em árvores jovens e de meia idade onde há um crescimento vigoroso em altura e volume, grandes quantidades de lenho são adicionadas na parte superior, inferior e logo abaixo da copa, tornando os anéis de crescimento na parte superior do fuste mais largos, resultando em um incremento em área transversal maior na parte superior do fuste. Entretanto esse comportamento é normal para árvores de idade média em classes dominantes em um sítio de boa qualidade, já para árvores em um sítio pobre, o incremento em área transversal irá sempre decrescer a partir do ponto de máximo na base do fuste (ASSMANN, 1970).

Analisando-se o incremento diamétrico ao longo dos anos, nota-se que os máximos valores de incrementos se encontram na parte superior do fuste a partir dos 50 anos até atingir uma idade mais avançada, porém, no incremento em área transversal o máximo incremento se encontra nas porções inferiores do fuste até os 100 anos, indicando, portanto, que a área estudada pode se encontrar em sítio ruim.

Em estudo realizado por Andrade *et al.* (2007), os quais analisaram a variação do incremento em área transversal ao longo do fuste em um povoamento de *Pinus taeda*, concluíram que árvores que cresciam espaçadas apresentaram um maior incremento anual nas porções inferiores do tronco, já nas árvores que cresciam sob efeito da competição, ocorreu o deslocamento dos máximos de incremento para posições mais altas do tronco até, aproximadamente, 50% da altura total da árvore, voltando o incremento a diminuir em alturas superiores. Esse comportamento foi também observado por Curto (2015), onde as árvores mostraram maior evidência de alargamento dos anéis de crescimento, e aumento da sua área transversal em relação ao DAP nas partes mais altas da árvore a partir dos 40 anos, quando aumentou a competição entre elas. Von Guttenberg (1915 apud ASSMANN, 1970), explicou que esse comportamento é decorrente da intensa concorrência entre as árvores, as quais tendem a depositar maiores incrementos na região superior do fuste, conseqüentemente alterando sua forma de cônica para mais cilíndricas.

Apesar dos resultados analisados mostrarem um padrão no crescimento ao longo do fuste, esse comportamento está sujeito às mudanças que venham a ocorrer na dinâmica da floresta, visto que a competição irá interferir na variação do incremento, como a abertura de clareiras, a condição de nutrição do local, a posição sociológica, entre outros.

5.8.1 Influência da dioicia na variação do incremento ao longo do fuste

A fim de verificar possíveis diferenças no padrão do crescimento do fuste levando em conta a dioicia, pode-se observar nas Tabelas 14 e 15 bem como na Figura 14, a variação do

incremento em diâmetro e em área transversal ao longo do fuste para indivíduos masculinos e femininos. Observando os valores de máximo e mínimo incremento ao longo dos anos, pode-se notar que não houve grande diferenciação na dinâmica do incremento para a diócia, visto que o incremento diamétrico (Tabela 14) alcança seus maiores valores nas porções superiores dos fustes a partir dos 50-60 anos para os indivíduos masculinos e aos 60-70 anos para os femininos. Já para os valores mínimos em incremento diamétrico, houve uma variação ao longo dos anos, encontrando-se na faixa que varia desde 5 % da altura total até maiores alturas em 97% da altura total. Esse comportamento foi observado tanto para os indivíduos femininos como para os masculinos.

Tabela 14. Variação do incremento diamétrico (%) para indivíduos masculinos e femininos ao longo do fuste em *Araucaria angustifolia*.

Altura da seção (%)	Incremento periódico em diâmetro indivíduos femininos (%)								
	Anos								
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
0,4-1,0	133,8	114,6	110,2	123,8	132,3	125,1	123,1	114,4	142,9
5,0-6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
33-57	41,4	133,4	103,2	80,8	111,6	94,9	89,6	84,5	120,6
80-88					78,2	216,4	283,2	194,2	209,8
88-93							187,4	352,9	375,1
93-97								72,9	569,4

Altura da seção (%)	Incremento periódico em diâmetro indivíduos masculinos (%)								
	Anos								
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
0,4-1,0	109,0	108,3	107,5	107,3	107,5	107,8	107,5	107,0	107,6
5,0-6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
33-57	100,3	145,5	88,4	75,8	80,8	69,8	69,0	72,3	76,6
80-88					175,1	181,1	151,4	113,5	107,4
88-93					16,8	151,5	188,3	167,1	145,3
93-97						27,7	142,2	221,3	222,5

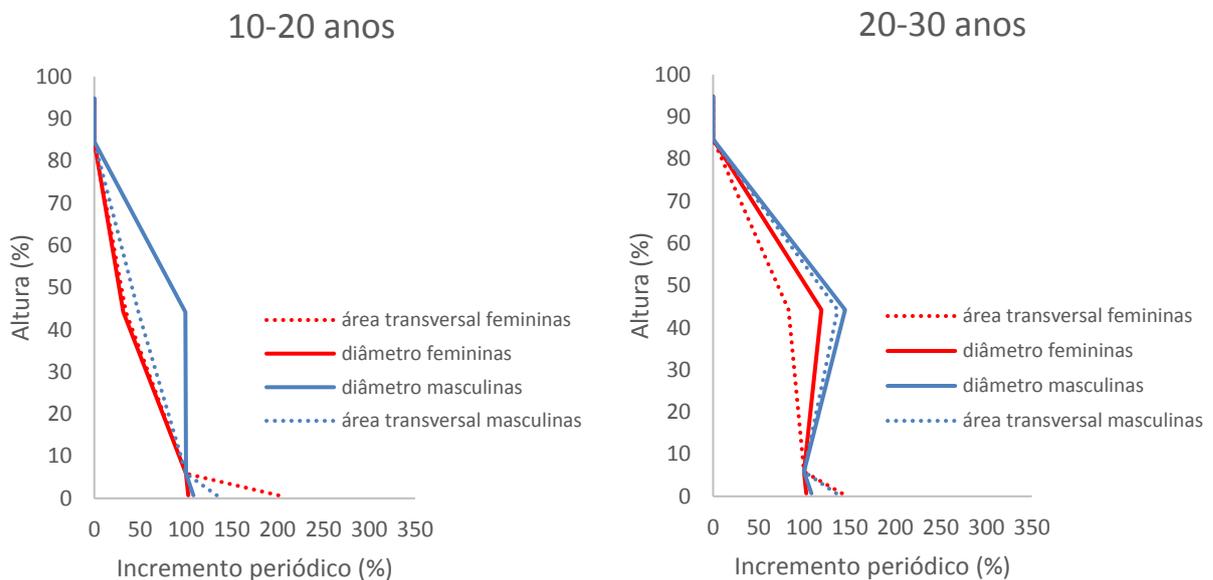
Em verde valores máximos para cada idade. Em azul valores mínimos para cada idade.

Tabela 15. Variação do incremento em área transversal (%) para indivíduos masculinos e femininos ao longo do fuste em *Araucaria angustifolia*.

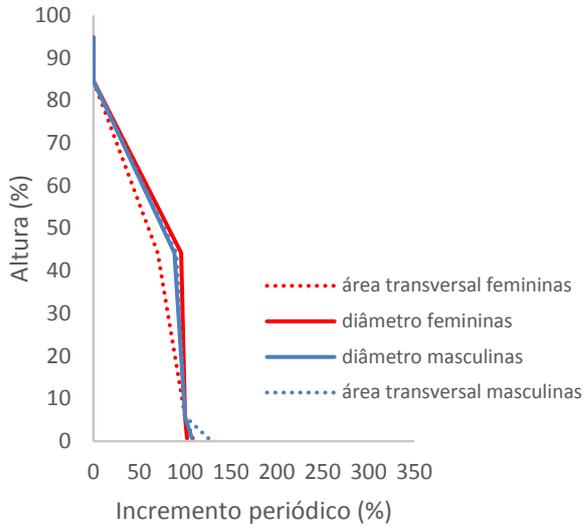
Altura da seção (%)	Incremento periódico em área transversal indivíduos femininos (%)								
	Anos								
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
0,4-1,0	200,7	141,5	108,3	118,7	116,1	118,5	117,8	108,8	128,4
5,0-6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
33-57	34,5	83,0	69,9	55,8	71,1	66,0	62,1	57,8	78,1
80-88					12,4	39,2	94,2	91,1	108,0
88-93							15,1	83,3	140,3
93-97								6,5	82,6

Altura da seção (%)	Incremento periódico em área transversal indivíduos masculinos (%)								
	Anos								
	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	
0,4-1,0	133,6	135,3	125,4	118,8	112,0	127,8	106,8	114,1	125,1
5,0-6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
33-57	48,3	136,7	90,3	70,0	67,9	65,2	53,4	58,5	66,4
80-88					23,0	66,8	68,2	63,8	71,1
88-93					0,8	27,7	47,4	66,1	79,5
93-97						2,3	18,6	49,5	90,5

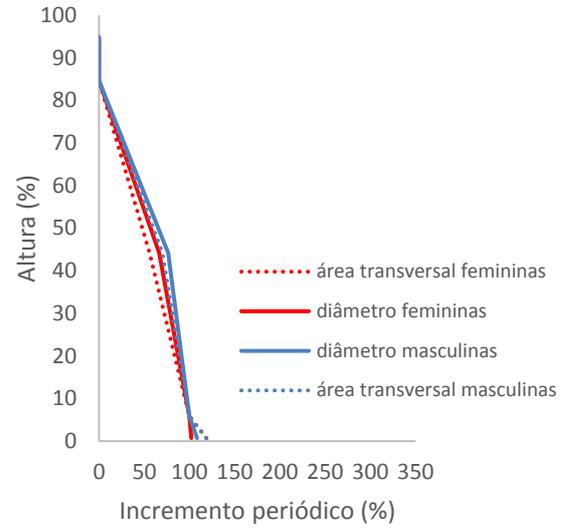
Em verde valores máximos para cada idade. Em azul valores mínimos para cada idade.



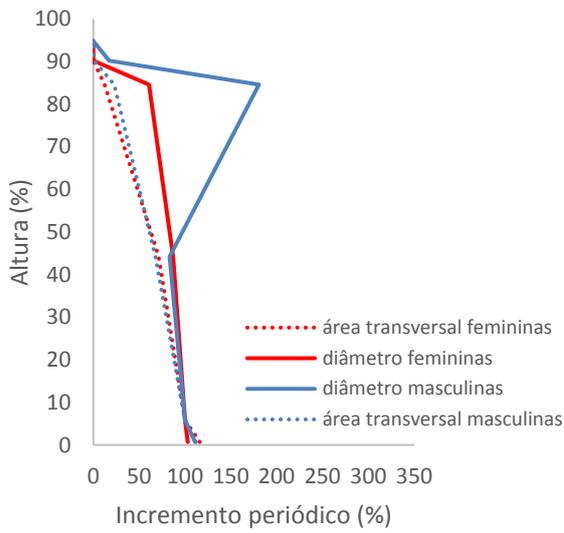
30-40 anos



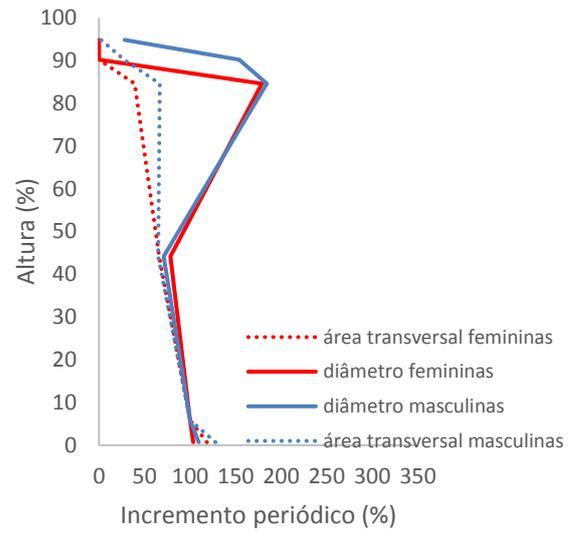
40-50 anos



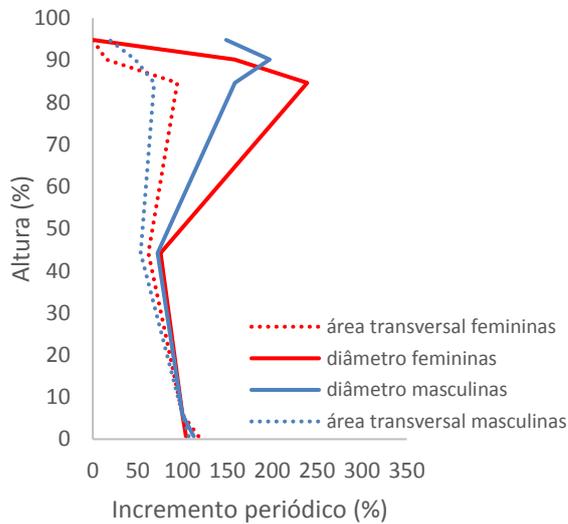
50-60 anos



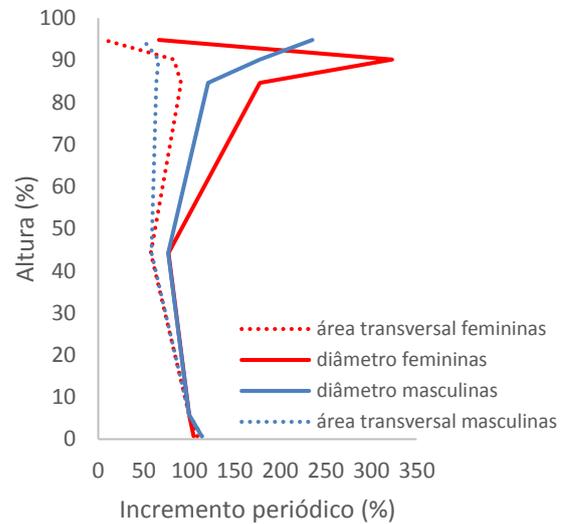
60-70 anos



70-80 anos



80-90 anos



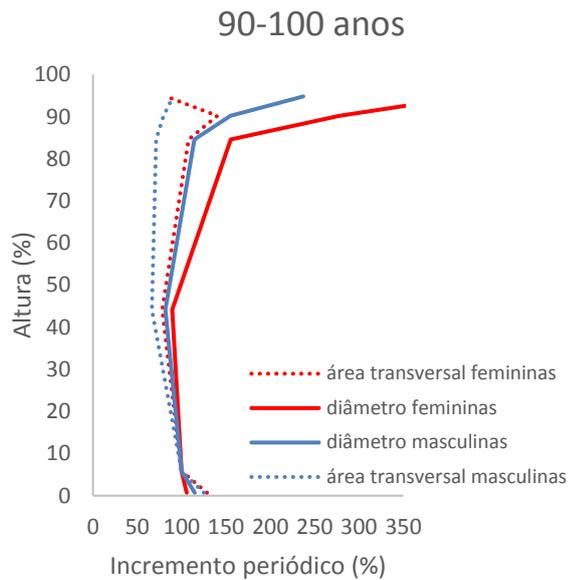


Figura 14. Representação gráfica dos incrementos em diâmetro e em área transversal em diferentes alturas do fuste de indivíduos masculinos e femininos de *Araucaria angustifolia*.

Analisando os valores de máximo e mínimo incremento em área transversal é possível constatar que o comportamento para os indivíduos masculinos e femininos também apresenta o mesmo padrão até os 90 anos, onde os máximos incrementos se encontram na base do fuste. Após essa idade ocorre um aumento do incremento, alterando a dinâmica do crescimento para os indivíduos femininos, onde os máximos valores se movem para as porções superiores do fuste, e os valores mínimos para as porções basais, indicando uma alteração no afilamento do fuste, de uma forma mais cônica para uma mais cilíndrica. Porém, para os indivíduos masculinos, os máximos incrementos permanecem na base do fuste até os 100 anos.

Quando se observa a representação gráfica dos incrementos (Figura 14), nota-se que apesar da dioicéia influenciar na distribuição do incremento ao longo do fuste apenas a partir dos 90 anos, os indivíduos masculinos apresentam valores superiores em incrementos até os 60 anos, a partir daí os indivíduos femininos aumentam seu incremento, e essa dinâmica vai se alterando ao longo dos anos, e então aos 100 anos nota-se que os indivíduos femininos apresentam crescimento superior.

Esse comportamento pode ser explicado pelo ciclo de reprodução dos indivíduos femininos, o que ocasiona um maior gasto de energia, e como consequência disso poderá haver um menor crescimento (HERRERA, 1988). De acordo com Carvalho (2003), a produção de sementes em araucárias que se encontram isoladas inicia-se por volta de 10 a 15 anos idade, já em plantios florestais essa reprodução pode se dar mais tarde, começando aos 20 anos, portanto,

essas idades podem variar amplamente com as condições de crescimento. Com isso, pode-se constatar que o crescimento que apresentou menores valores para os indivíduos femininos até os 30 anos, pode ter sofrido algum efeito da sua reprodução.

Observando-se os valores referentes ao incremento em área transversal, nota-se que não há uma grande diferença no crescimento ao longo dos anos com relação à dioicia, visto que em ambos os valores de máximo incremento se encontram na base do fuste até a idade de 90 anos, então a partir daí esse incremento se desloca para a copa da árvore para os indivíduos femininos (88 a 93 %). Esse comportamento difere do que ocorre quando se observa todo o conjunto de dados (Tabela 13), onde o máximo incremento se encontra nas porções basais até os 100 anos, o que pode indicar que a dioicia influencia no tempo em que as árvores levam para tomarem uma forma mais cilíndrica.

Esse deslocamento do máximo incremento para a parte superior do fuste foi observado também por Assmann (1970), porém, nesse caso, esse comportamento foi observado para algumas árvores de idade média em classes dominantes em um sítio bom, onde os anéis na parte superior do fuste apresentaram-se tão largos, resultando em um incremento em área transversal aumentado na parte superior do fuste.

De acordo com Larson (1963), as árvores dominadas, que se encontram em povoamentos fechados, podem, ao longo do tempo, serem sombreadas pelas árvores dominantes, o que aumenta a competição, e em consequência disso, há uma redução no tamanho de sua copa, resultando no declínio na produção de madeira, assim como em mudanças nessa variação da largura dos anéis ao longo do fuste. Desta forma, pode-se constatar que a variação do incremento que ocorre ao longo do fuste, pode sofrer influências de vários fatores, como a idade, a competição, o sítio, até mesmo pequenas alterações que ocorrem na floresta como a abertura de clareira, quebra de galhos, alterando assim toda a dinâmica da floresta, bem como a forma da árvore.

6. CONCLUSÕES

- A dendrocronologia permitiu recompor o crescimento da espécie *A. angustifolia* na área de estudo, permitindo gerar índices de crescimento e identificar os períodos de maior e menor crescimento.
- O crescimento das árvores amostradas se mostrou mais lento quando comparado a plantios de *A. angustifolia*, devido provavelmente, à competição mais intensa em florestas naturais.
- Houve diferença significativa no crescimento das árvores por classes de crescimento inferior e superior, assim como quanto à dioiccia, para todas as variáveis estudadas (DAP, altura e volume).
- O crescimento dos indivíduos da classe superior se mostrou mais elevado desde os primeiros anos para todas as variáveis (DAP, altura, volume), atingindo o máximo valor de IMA mais rapidamente que para classe de crescimento inferior.
- Os indivíduos masculinos alcançaram sua máxima produtividade mais rapidamente, para a variável diâmetro e volume, já valores de crescimento acumulado se mostraram superiores nos indivíduos femininos.
- O tempo de passagem em classes diamétricas de *A. angustifolia* tende a aumentar conforme aumenta o diâmetro, exceto para a menor classe de diâmetro (0-10 m). Os indivíduos masculinos levaram um maior tempo de passagem entre as classes, e ainda houve uma maior diferença entre indivíduos masculinos e femininos na maior classe de diâmetro.
- Houve diferença na determinação do diâmetro mínimo de corte utilizando-se diferentes métodos, indicando que para se determinar o momento de corte de *A. angustifolia* de forma mais apurada, não se recomenda a utilização de estimativas das alturas e volumes, pois poderá resultar em estimativas divergentes da realidade biológica.
- A variação de incremento em diâmetro ao longo do fuste, tem-se um ponto de máximo incremento na copa da árvore a partir dos 40 anos. O incremento em área transversal, o ponto de máximo incremento varia ao longo dos anos, sendo que até os 90 anos se concentram nas menores alturas das árvores e a partir daí ele se altera para as maiores alturas da árvore. Indicando que as árvores amostradas tendem a atingir uma forma mais cilíndrica aos 90 anos, o que pode ser em decorrência do aumento da competição entre os indivíduos.

- Houve diferença na distribuição do incremento em área transversal ao longo do fuste a partir dos 90 anos, entretanto, os indivíduos masculinos apresentam valores superiores em incrementos (diâmetro e área transversal) até os 60 anos, sugere-se que pode ser causado pelo ciclo de reprodução dos indivíduos femininos, o qual ocasiona um maior gasto de energia e influencia no crescimento da árvore.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para se obter resultados mais apurados com relação ao crescimento de *A. angustifolia* em condições naturais, além da estratificação em classes de crescimento e dioicia, recomenda-se ainda a análise dos fatores de influência no crescimento, como a competição, abertura de clareiras, solo, posição sociológica, condições climáticas. Visto que o crescimento estará sujeito às mudanças que venham a ocorrer na dinâmica da floresta.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do estado do Paraná e elaboração de um sistema de informações geográficas para fins de análise ambiental do estado.** 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2013

ACCIOLY, Y. **Modelagem do Crescimento das variáveis dendrométricas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze.** 2015. 43 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

ANDRADE, V. H. F. **Modelos de crescimento para *Hymenaea courbaril* L. e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.O. Grose em Floresta de terra firme utilizando análise de anéis de crescimento.** 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.2015.

ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru.** 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

ANDRADE, C. M.; FINGER, C. A. G.; THOMAS, C.; SCHNEIDER, P. R. Variação do incremento anual ao longo do fuste de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 239-246, 2007.

ASSMANN, E., **The principles of forest yield study.** New York: Pergamon Press, 1970 506p.

AUSTREGÉSILO, S. L., FERREIRA, R. L. C., SILVA, J. A. A., SOUZA, A. L., MEUNIER, I. M. J., SANTOS, E. S: Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da Estrutura Anatômica e das Propriedades físicas e mecânicas da Madeira de *Corymbia (eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis*.** 2006. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”. Botucatu, 2006.

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 Ecol. Manage.** 226, 256–267. 2006.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo. Livraria Nobel S. A, 154 p. 1991.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFSs nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, ano 143, n. 238, 155-159. 2006.

BRAZ, E.M. **Subsídios para o planejamento do manejo de floresta tropicais da Amazônia.** 2010. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. de; OLIVEIRA, M. F.; BASSO, R. O. Strategies for Achieving Sustainable Logging Rate in the Brazilian Amazon Forest. **Open Journal of Forestry.** 2014.

CAMARGO, R. A.; MATOS, J. L. M. **Avaliação da qualidade da Madeira de *Pinus taeda* a partir dos anéis de crescimento.** 2016. 10 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2016.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Volume 1. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CARVALHO, P.E. Levantamento florístico da região de Irati-PR (1ª aproximação). Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, EMBRAPA-URPFCS. **Circular Técnica**, 3. 1980.

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, June 2011.

CUNHA, T. C. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odatata* L. na floresta amazônica.** 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

CURTO, R. A. **Avaliação do Crescimento e Potencial de Manejo em Plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2015. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lager, SC.** 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

DAL BEM, E. A.; BITTENCOURT, J. V. M.; DE MORAES, M, L. T.; SEBBENN, A. M. Cenários de corte seletivo de árvores na diversidade genética e área basal de populações de *Araucaria angustifolia* com base em modelagem Ecogene. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 43, n. 106, p. 453-466, 2015.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; KOHLER, S. V.; VERUSSA, A. A.; CHIQUETTO, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria angustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná state. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 347- 357. 2010.

FIGUEIREDO A.F.; RETSLAFF; F. S.; KOHLER; S. V.; BRANDES, D. Efeito da Idade no Afilamento e Sortimento em Povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente.** 2015.

FIGUEIREDO A.F.; BRANDES, D.; RETSLAFF; F. S.; BECKER, M.; ROZA, B. L. Dioecy effect on Growth of Planted *Araucaria angustifolia* Bert. O. Kuntze Trees. **CERNE**. v. 21 n. 3 . 2015.

FIGUEIREDO A.F.; RETSLAFF; F. S.; RETSLAFF, F.S.; LONGHI-SANTOS, T.; STEPKA, T. F. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. **Floresta e Ambiente**. 2017.

FRITTS, H.C. **Tree Rings and Climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

GONÇALVES, G. V. Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. **Évora**: Cidehus/Universidade de Évora, 16 p. 2007.

GONÇALVES, G. V. Dendrocronologia no Alto de S. Bento, em Évora: curva de calibração para datações no âmbito da arqueologia. **Évora**: Cidehus/Universidade de Évora, 2008.

GRAYBILL J. **Theory and application of the linear model**. Belmont:Duxbury. 1976.

HERRERA, C. M. Plant size, spacing patterns and host-plant selection in *Osyris quadripartita*, a Hemiparasitic Dioecious Shrub. **The Journal of Ecology**, v.76, n.4, p.995-1006, 1988.

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 Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2006.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três locais do Rio Grande do Sul. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**. 2009.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 2. ed., Rio de Janeiro, 2012, 276 p.

LARSON, P. R. Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties. In: **WORLD CONSULTATION ON FOREST AND TREE IMPROVEMENT**, 1., 1963, Stockholm. Proceedin, Rome: FAO, 1963. p. 1-6.

LORENSI, C. **Resposta dos anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze da região sul do Brasil aos forçantes geofísicos e climáticos**. 2016. 106 f. Tese (Doutorado em Física e Astronomia) – Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos. 2016.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas e nativas do Brasil**, Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. G.; MEDRADO, M. J. S. Avaliação de níveis de Nitrogênio sobre a Produção de Erva mate (*Ilex Paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em Latossolo vermelho escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p. 75-98, jan. /jun. 1997.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O. Influência do clima no crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia*: revisão bibliográfica. **Applied Research & Agrotechnology** v. 8 n. 2 may/aug. 2015.

MARTINKOSKI, L. **Relações climáticas com o crescimento de *Araucaria angustifolia* e atributos físicos do solo sob Sistema Silvopastoril e Floresta Secundária**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-oeste, Guarapuava. 2015.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. A dendrocronologia e o Manejo florestal sustentável em florestas tropicais. **Embrapa florestas**, Colombo-PR, 2011.

MATTOS P.P.; BRAZ E. M. Reunião técnica temática: anéis de crescimento e clima [online]. Colombo: **EMBRAPA**. Florestas. Disponível em: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/brbitstream/handle/123456789/5425/Documentos_236.pdf. Acesso em: 07 mai. 2020.

MORAIS JUNIOR, E. C.; DICKOW, K. M. C.; STEPKA, T. F. Dendrocronologia e Definição de Ciclos de Corte para *Araucaria angustifolia* no Planalto Norte Catarinense. **Anais da I Jornada Estadual de Estudos Científicos em Engenharias (JEECE)**. Curitiba. 2016.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. 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, 2001.

OLIVEIRA, J. M.; PILLAR, V. D.; ROIG, F. A. Padrões de idade e crescimento de *Araucária angustifolia*: reconstruindo históricos de distúrbio e dinâmica vegetacional. In: **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**. Caxambu – MG, 2007. p. 1-2.

OLIVEIRA, M. F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; BASSO, A. C. R. O.; ROSOT, N. C. Padrão de crescimento e diâmetro ótimo de corte de cambará no Município de Santa Carmem, microrregião de Sinop, MT. Comunicado técnico. **Embrapa Florestas**. Colombo, PR. 2015.

OLIVEIRA, J. R.; ADENESKY, E. F. QUADROS, K. E. Avaliação do crescimento do lenho de *Araucaria angustifolia* no Planalto Norte de Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 2, p. 155 - 164, abr. / jun. 2017.

PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva Genética Florestal de Caçador, Estado de Santa Catarina. **Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.6, p.1109-1121, 2009.

PINTO, S. A. **A Influência da dioicia no diâmetro e na altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. e suas implicações na formação de áreas de produção de sementes na região de Quedas do Iguaçu – Estado do Paraná.** 1979. 40f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba. 1979

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Empirical Botany**, v. 10, p.290-300, 1959.

RODE, R.; FIGUEIREDO, A. F.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F. Grupos florísticos e espécies discriminantes em povoamento de *Araucaria angustifolia* em uma Floresta Ombrófila. **Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.319-327, 2011.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. O.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 78-118, 2002.

RONDON NETO, R. M. **Análise do Histórico Silvicultural de Quatro Espécies de uma Floresta Ombrófila Mista com Auxílio da Dendrocronologia.** 2003. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em Remanescente de Floresta Ombrófila Mista.** 2016. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2016.

ROSA, T. S.; HILLIG, E.; VIANA, L. C. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (BERT.) o. Kuntze e sua relação com os anéis de crescimento. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 04, n. 01, p. 01-14, maio de 2013.

ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M.; RIVERA, H.; CRUZ, P.; MATTOS, P. P. Desarrollo de un modelo de plan de manejo para áreas protegidas en bosques con araucaria en el sur de Brasil. **In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO**, 2. 2006, La Serena. Proceedings... Santiago: INFOR/FAO, 2006.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, 2006.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das Propriedades físicas e mecânicas da Madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, 2000.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; MOGNON, F.; MAAS, G. C. B.; RODRIGUES, A. L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2014.

SANQUETTA, C. R.; DOLCI, M.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, M. N. I.; PELISSARI, A. L. Estimação de volumes de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze por fatores de forma em classes diamétricas e modelos de regressão. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13 n.23; p. 2016.

SANQUETTA, C. R. **Perspectivas da recuperação e do manejo sustentável das florestas de araucária**. Data de publicação, 10 de agosto de 2005. <<http://www.comciencia.br/reportagens/2005/08/09.shtml>>, acessado dia 05 de janeiro de 2018.

SCHEEREN, L. W.; FINGER, C. A. G.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J. Crescimento em altura de *Araucaria Angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em três sítios naturais, na Região de Canela – Rs. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 2, p. 23-40, Santa Maria, 1999.

SCHONS, C. T. **Índices de Competição, Fatores Climáticos e Razão de Movimento do Crescimento de espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista**. 2016. 112 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2016.

SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F.; WORBES, M.; PIEDADE, M. T. F.; KRAMBECK, H. J.; JUNK, W. J. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. **EDO Sciences**, v. 64, p. 657–664, 2007.

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

SPATHELF, P.; BERGER, R.; VACCARO, S.; TONINI, H.; BORSOI, G. A; Crescimento de espécies nativas de uma Floresta Estacional Decidual/Ombrófila Mista do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, 2001. p. 103-119.

SPURR, S. H. e HSIUNG, W. (1954). **Growth rate and specific gravity in conifers**. J. Forestry 52 (3): 191-200.

STEPKA, T. F. **Modelagem da dinâmica e prognose da estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista por meio de matriz de transição e razão de movimentação**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati. 2008.

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) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

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

WEHR, N. J.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, n. 58, p. 161-170, 2000.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Capítulo 1 - Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. Embrapa, Brasília, DF, 2017.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioicéia**. 2007.110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS. 2007.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**. Vol. 20, No. 3, July-Sept, 2010, pp. 467-476. 2010.