

LUCIANO LAMBERT

**CRESCIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE *Pinus* spp. NA REGIÃO
SERRANA DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti

Lages, SC

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

LAMBERT, LUCIANO
CRESCIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE PINUS spp.
NA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA / LUCIANO
LAMBERT. - Lages , 2018.
108 p.

Orientador: PHILIPPE RICARDO CASEMIRO SOARES
Co-orientador: MARCOS FELIPE NICOLETTI
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2018.

1. ESPÉCIES FLORESTAIS ALTERNATIVAS. 2. ANÁLISE
DE TRONCO. 3. INCREMENTO. I. RICARDO CASEMIRO
SOARES, PHILIPPE. II. FELIPE NICOLETTI, MARCOS. ,
.III. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

LUCIANO LAMBERT

**CRESCIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE *Pinus* spp. NA REGIÃO
SERRANA DE SANTA CATARINA**

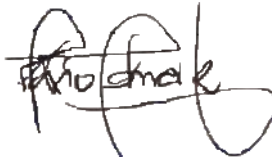
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora



Orientador: _____

Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares
Universidade do Estado de Santa Catarina



Membro externo: _____

Prof. Dr. Mário Dobner Júnior
Universidade Federal de Santa Catarina



Membro externo: _____

Prof. Drª. Andrea Nogueira Dias
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Lages, 28 de fevereiro de 2018

Aos meus pais, Leocir e Cesira
pelo amor absoluto, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar força, sabedoria e tranquilidade para concluir esta etapa;

À Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC/CAV, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho;

Ao meu orientador Prof. Dr. Philipe Ricardo Casemiro Soares, pela valiosa orientação, amizade, apoio e confiança no desenvolvimento e conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti, pela confiança e paciência como professor e co-orientador, transformando nosso convívio em uma amizade;

Aos demais professores do Departamento Florestal pelos conselhos e sugestões construtivas na execução do projeto e elaboração da dissertação.

Aos acadêmicos e mestrandos do grupo de pesquisa pelo auxílio na coleta e nas análises dos dados;

À empresa Madepar Indústria e Comércio de Madeiras LTDA em especial Cristiane Jahn e José Marciano Branco por permitir a realização da pesquisa nas áreas da empresa e aos seus colaboradores pela ajuda proporcionada;

Aos pais Cesira e Leocir pela educação e apoio mesmo nas horas mais difíceis, por me ensinar a correr atrás dos sonhos, e que não mediram esforços para que pudesse continuar estudando;

Ao meu irmão Gustavo, que mesmo estando longe me ensinou que somos fortes e capazes de alcançar tudo o que desejamos;

À minha namorada Laís, pelo apoio incondicional, paciência, por estar sempre ao meu lado mesmo nas horas mais difíceis, e proporcionar forças para concluir mais esta etapa tão importante em minha vida;

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“A dúvida é o princípio da sabedoria”.

(Aristóteles)

RESUMO

As florestas plantadas no Brasil constituem uma importante fonte de matéria prima para as indústrias de base florestal, sendo o gênero *Pinus* amplamente empregado nos mais diversos processos industriais. *Pinus taeda* é a espécie mais utilizada industrialmente, no entanto, torna-se necessário a introdução de outras espécies deste gênero para uma possível substituição. A introdução de novas espécies traz consigo a necessidade de avaliações do crescimento e produtividade, importante para indicação correta daquelas que serão utilizadas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento de quatro espécies do gênero *Pinus* submetidos ao primeiro desbaste, na região serrana de Santa Catarina. Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se as seguintes espécies: *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus greggii* e *Pinus patula* todas implantadas e conduzidas sobre o mesmo plano de manejo florestal. O povoamento está localizado no município de Correia Pinto – Santa Catarina, com 14 anos de idade. Para as análises foram ajustados modelos matemáticos com base em censo florestal e técnica de análise de tronco completa (ANATRO). Para isso, árvores compreendendo todas as classes diamétricas foram selecionadas pelo método de Sturges, derrubadas e cubadas. Seis discos por árvore foram coletados nas alturas absolutas de 0,1 e 1,3 m e, também, nas alturas relativas de 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (diâmetro igual a 8 cm). A medição dos anéis de crescimento foi realizada no aplicativo computacional de análise de imagem *Image Pro Plus*® e o processamento dos dados foi feito por meio do programa *FlorExcel*®. Após o processamento dos dados, comparou-se, para as diferentes espécies, o diâmetro médio quadrático e superior, área transversal, altura total e dominante, relação h/d, área basal, volume individual, volume total por hectare e incremento médio anual. Para quantificar e avaliar o primeiro desbaste os valores da largura dos anéis das espécies foram divididos pelos valores do *P. taeda*. Em ambas as análises os resultados foram submetidos a análise estatística, efetuando o teste F e de comparação de médias Tukey (5%) por meio do software R Studio. Aos 14 anos, o diâmetro médio quadrático *P. elliottii* e *P. patula* apresentaram valores superiores ao comparar com *P. taeda*. No entanto, considerando diâmetro médio e área transversal, *P. elliottii*, *P. taeda* e *P. patula* não apresentaram diferenças significativas entre elas. Em altura dominante e relação h/d, *P. greggii* e *P. patula* apresentaram valores superiores. No desenvolvimento da área basal, *P. greggii* apresentou o maior valor aos 7 anos, *P. taeda* e *P. patula* aos 11 anos e aos 14 anos *P. elliottii* e *P. taeda*. *P. greggii* e *P. patula* apresentaram os maiores valores em volume individual aos 8 anos e aos 14 anos ambas as espécies não apresentaram diferenças significativas. Em incremento médio anual e volume total *P. greggii* e *P. patula* apresentaram os maiores valores. Constatou diferenças significativas entre as espécies no crescimento em largura de anel após dois anos do primeiro desbaste. *P. elliottii* apresentou o maior crescimento após o primeiro desbaste quando comparado ao *P. taeda*. Conclui-se que as espécies alternativas possuem potencial de crescimento ao comparar à espécie tradicional.

Palavras-chave: Espécies florestais alternativas, Análise de tronco, Incremento.

ABSTRACT

The forests planted in Brazil constitute an important source of raw material for forest-based industries, the *Pinus* genus being widely used in the most diverse industrial processes. *Pinus taeda* is a species most used industrially, however, it is necessary an introduction of other species of this genus for a possible substitution. The introduction of new species brings with it a need to evaluate growth and productivity, important for the correct indication of what it can be. In this context, the objective of this work was to evaluate the growth of four species of the genus *Pinus* submitted to the first roughing, in the mountainous region of Santa Catarina. For the development of this study, use the following species: *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus greggii* and *Pinus patula* all implants and manufactures on the same forest management plan. The village is located in the municipality of Correia Pinto - Santa Catarina, with 14 years of age. Paragraph as analyzes were adjusted mathematical models based on the forest census and technique of analysis of full trunk (ANATRO). For this, trees comprising all as diametric classes were selected by Sturges methodology, felled and cubed. Six discometers per fuel area at absolute heights of 0.1 and 1.3 m and also at related heights of 25%, 50%, 75% and 100% of commercial height (diameter to 8 cm). Growth ring measurements were performed without Image Pro Plus® image analysis and data and media processing from the FlorExel® program. After the data processing, the mean square and upper diameter, cross-sectional area, total height and relation, h/d ratio, basal area, individual volume, total volume per hectare and average annual increment were compared for different species. To quantify and evaluate the first thinning of the ring width values of the species, divided by *P. taeda* values. In all analyzes of the results and submitted to statistical analysis, the F test and Tukey averages (5%) were compared using the R Studio software. At age 14, the mean square diameter *P. elliottii* and *P. patula* presented values higher than the price with *P. taeda*. However, considering mean diameter and cross-sectional area, *P. elliottii*, *P. taeda* and *P. patula* did not present significant differences between them. At key height and h / d ratio, *P. greggii* and *P. patula* presented higher values. In the development of the basal area, *P. greggii* presented the highest value at 7 years, *P. taeda* and *P. patula* at 11 years and at 14 years. *P. elliottii* and *P. taeda*. *P. greggii* and *P. patula* presented the highest values in individual volume at 8 years and at 14 years, both species had no significant residues. In mean annual increment and total volume *P. greggii* and *P. patula* presented the highest values. It found significant residues among species as growth in ring width after two years of the first roughing. *P. elliottii* presented the highest growth after the first thinning when compared to *P. taeda*. It is concluded that as alternative species it has growth potential at the traditional offer price.

Keywords: Alternative species, Growth assessment, Trunk anatomy, Diametric classes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da Fazenda Bandeirinhas no estado de Santa Catarina - Brasil.	37
Figura 2 - (a) Cubagem das árvores amostra; (b) local de armazenamento dos discos; (c) discos sendo lixados; (d) disco pronto para digitalização.....	40
Figura 3 - Frequências por classes diamétricas das árvores contidas no povoamento aos 14 anos de idade.	49
Figura 4 - Desenvolvimento do diâmetro (dap) sem casca em densidade aos 4, 6, 8, 10, 12 e 14 anos de idade para cada espécie.....	54
Figura 5 - Modelagem do diâmetro (dap) de acordo com a idade, para as diferentes espécies. Curvas ajustadas pelo modelo de Chapman-Richards.	55
Figura 6 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos Chapman-Richards para diâmetro.	56
Figura 7 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos de relação hipsométrica testados.	58
Figura 8 - Desenvolvimento da altura (h_t) em densidade aos 4, 6, 8, 10, 12 e 14 anos de idade para cada espécie.	60
Figura 9 - Desenvolvimento da altura de acordo com a idade, para as diferentes espécies. Modelos ajustados de Chapman-Richards, mostrados abaixo:	61
Figura 10 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos Chapman-Richards para altura.	62
Figura 11 - Desenvolvimento da área basal dos 3 aos 14 anos considerando primeiro desbaste aos 12 anos para ambas as espécies.	64
Figura 12 - Relação diâmetro-altura para as árvores cubadas nas diferentes espécies.	64
Figura 13 - Volume individual observado com curva de regressão (linha) para o melhor modelo em cada espécie e resíduos estimados. Equação ajustada apresentada abaixo.....	66
Figura 14 - Desenvolvimento do volume individual de acordo com a idade, para as diferentes espécies. Curvas ajustadas pelo modelo de crescimento Chapman-Richard, mostrados abaixo:	68
Figura 15 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos Chapman-Richards para volume individual.....	69
Figura 16 – d_i x d_{ap} observados (círculos) e afilamento estimado da espécie (linha) para equação Hradetzky aos 14 anos (A). Gráfico de resíduos para equação (B).	70
Figura 17 - Largura do anel anual (mm) por espécie na altura absoluta de 0,1 m.	73
Figura 18 - Largura do anel anual (mm) por espécie na altura absoluta de 1,3m.	75
Figura 19 - Largura do anel anual (mm) por espécie em 25% da altura comercial.....	76
Figura 20 - Largura do anel anual (mm) por espécie em 50% da altura comercial.....	77
Figura 21 - Largura do anel (mm) por espécie em 75% da altura comercial.	78
Figura 22 - Largura do anel (mm) por espécie em 100% da altura comercial durante período analisado.....	79
Figura 23 - Taxa de crescimento da largura do anel em percentual para diferentes espécies quando comparado ao <i>Pinus taeda</i> nas alturas relativas e absolutas.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de relação hipsométrica.	43
Tabela 2 - Modelos volumétricos.	43
Tabela 3 - Modelos testados para estimar o crescimento do diâmetro, altura e volume.	44
Tabela 4 - Modelos ajustados para função de afilamento.	45
Tabela 5 - Estatística descritiva do censo florestal para <i>Pinus taeda</i> , <i>Pinus elliottii</i> , <i>Pinus greggii</i> e <i>Pinus patula</i> aos 14 anos.	48
Tabela 6 - Resultados do teste de Shapiro-Wilk sobre os diâmetros das árvores no povoamento aos 14 anos de idade, por espécie.	50
Tabela 7 - Diâmetro médio, máximo e mínimo das diferentes classes de diâmetro das espécies.	50
Tabela 8 - Altura da amostra onde os discos foram retirados por altura relativa e espécies.	51
Tabela 9 - Diâmetro médio quadrático (d_g), diâmetro de árvores dominantes (d_{100}), coeficiente de variação para d_{100} (CV_{100}), área transversal (g) e área transversal superior (g_{100}) para as diferentes espécies aos 14 anos.	51
Tabela 10 - Diâmetro à altura do peito sem casca aos 4, 6, 8, 10 e 12 anos.	53
Tabela 11 - Altura total (h), altura dominante (h_{100}) para as diferentes espécies aos 14 anos.	57
Tabela 12 – Coeficientes das equações ajustadas e resultados das estatísticas de ajuste para relação hipsométrica do melhor modelo para cada espécie.	57
Tabela 13 - Altura total (h_t) em metros durante os 14 anos de desenvolvimento das espécies.	59
Tabela 14 - Relação h/d por espécie aos 14 anos.	62
Tabela 15 - Área basal aos 7, 11 e 14 anos de idade para as diferentes espécies.	63
Tabela 16 - Melhores modelos e estatísticas para relações volumétricas de cada espécie.	65
Tabela 17 - Média do volume individual e percentual respectivo em relação ao <i>Pinus taeda</i>	66
Tabela 18 - Melhores modelos e estatísticas para afilamento de cada espécie.	70
Tabela 19 – Volume extraído no primeiro desbaste aos 11 anos, volume aos 14 anos, volume total por espécie e incremento médio anual (IMA) aos 14 anos para as espécies.	71
Tabela 20 - Largura dos anéis em altura absoluta de 0,1m por espécie nas idades.	73
Tabela 21 - Largura dos anéis em altura absoluta de 1,3 m por espécie nas idades.	74
Tabela 22 - Largura dos anéis em 25% da altura comercial por espécie nas idades.	75
Tabela 23 - Largura dos anéis em 50% da altura comercial por espécie nas idades.	77
Tabela 24 - Largura dos anéis em 75% da altura comercial por espécie nas idades.	78
Tabela 25 - Largura dos anéis em 100% da altura comercial por espécie nas idades.	79

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
2. OBJETIVOS	24
2.1. OBJETIVO GERAL	24
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3. HIPÓTESES	24
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
4.1. SETOR FLORESTAL BRASILEIRO	25
4.2. CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES DE <i>Pinus</i> UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO	26
4.2.1. <i>Pinus taeda</i> L.	26
4.2.2. <i>Pinus elliottii</i> Engelm var. <i>elliottii</i>	27
4.2.3. <i>Pinus patula</i> Schlechtd. & Cham.	28
4.2.4. <i>Pinus greggii</i> Engelm	29
4.3. MANEJO FLORESTAL	31
4.3.1. Desbaste	31
4.4. MÉTODOS DE ESTUDOS DE CRESCIMENTO FLORESTAL	32
4.4.1. Análise dos anéis de crescimento	33
4.5. MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO	33
4.5.1. Crescimento e produção	33
4.5.2. Modelos de crescimento e produção	34
4.5.3. Análise de tronco na modelagem do crescimento e produção	36
5. MATERIAL E MÉTODOS	36
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
5.1.1. Localização	37
5.1.2. Clima e solo	37
5.1.3. Preparação e plantio do povoamento	38
5.2. COLETA DE DADOS	38
5.2.1. Censo florestal e cubagem	38
5.2.2. Análise de tronco completa	39
5.3. ANÁLISE DE DADOS	41
5.3.1. Teste de normalidade	41
5.3.2. Variáveis dendrométricas	41
5.3.3. Análise de tronco completa	42
5.3.4. Relação Hipsométrica	42
5.3.5. Volume	43
5.3.6. Modelagem do crescimento	44
5.3.7. Afilamento	45
5.3.8. Critérios de avaliação e escolha dos modelos	45
5.3.9. Resposta ao desbaste	47
5.3.10. Análise de variância e comparações de médias	48
5.3.11. Processamento dos dados	48
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6.1. Estatística descritiva aos 14 anos	48
6.2. Teste de normalidade	49

6.3.	Caracterização das classes diamétricas	50
6.4.	Diâmetro	51
6.4.1.	Diâmetro aos 14 anos	51
6.4.2.	Desenvolvimento do diâmetro.....	52
6.4.3.	Modelagem do diâmetro	54
6.5.	Altura	56
6.5.1.	Altura aos 14 anos	56
6.5.2.	Desenvolvimento da altura.....	59
6.5.3.	Modelagem da altura	60
6.6.	Relação h/d	62
6.7.	Área basal	63
6.8.	Volume	64
6.8.1.	Volume individual	65
6.8.2.	Modelagem do volume individual	68
6.8.3.	Volume ha ⁻¹	69
6.9.	LARGURA DO ANEL AFETADO PELO DESBASTE	72
6.9.1.	Diâmetro altura do colo: 0,1m.....	72
6.9.2.	Diâmetro à altura do peito: 1,3 m.....	74
6.9.3.	Altura relativa: 25%	75
6.9.4.	Altura relativa: 50%	76
6.9.5.	Altura relativa: 75%	77
6.9.6.	Altura relativa: 100%	78
6.10.	RESPOSTA AO DESBASTE: VALORES RELATIVOS	79
6.10.1.	Primeiro desbaste (11 anos)	79
6.10.1.1.	Pré-desbaste.....	80
6.10.1.2.	Pós-desbaste	81
7.	CONCLUSÃO	82
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
9.	APÊNDICE	91
	APÊNDICE A - Modelos ajustados de crescimento para diâmetro, coeficientes e estatísticas.	91
	APÊNDICE B - Distribuição dos resíduos para os modelos de crescimento em diâmetro.	92
	APÊNDICE C - Modelos hipsométricos, coeficientes e estatísticas para as espécies.....	94
	APÊNDICE D - Distribuição dos resíduos para os cinco melhores ajustes de modelos hipsométricos para cada espécie.	96
	APÊNDICE E - Modelos ajustados de crescimento para altura, coeficientes e estatísticas. ...	98
	APÊNDICE G - Modelos volumétricos, coeficientes e estatísticas para as espécies.	101
	APÊNDICE H - Distribuição dos resíduos para os cinco melhores ajustes de modelos volumétricos para cada espécie.	103
	APÊNDICE I - Modelos de crescimento para volume, coeficientes e estatísticas para as espécies.....	105
	APÊNDICE J - Modelos de afilamento, coeficientes e estatísticas para as espécies.	106
	APÊNDICE K - Distribuição dos resíduos para ajustes de modelos de afilamento para cada espécie.	107

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de elevado potencial florestal tendo sua cobertura composta por florestas naturais e plantadas, as quais somadas abrangem aproximadamente 463 milhões de hectares, o que equivale a dois terços do território nacional (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2016). A introdução de espécies florestais exóticas no Brasil trouxe grandes benefícios para o aumento da oferta de matéria-prima e, principalmente, para a diminuição das intervenções em florestas nativas. A partir de 1966, com o surgimento dos incentivos fiscais para plantios florestais, as áreas de florestas plantadas no Brasil foram ampliadas e, atualmente, fornecem madeira para diversos segmentos (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2011).

Ao longo dos anos, com a redução da disponibilidade de madeira das florestas tropicais e com as restrições impostas à utilização indiscriminada destas florestas para fornecimento de madeira para uso industrial, novas espécies passaram a ser plantadas e utilizadas, constituindo assim, uma alternativa de suprimento de matéria prima para as indústrias madeireiras. Atualmente, as áreas de florestas plantadas somam cerca de 7,84 milhões de hectares (IBÁ, 2017).

Dessa maneira, nos últimos anos a silvicultura brasileira está voltada, principalmente, à produção de matéria-prima destinada a suprir as necessidades da indústria de base florestal, por meio de florestas de rápido crescimento, especialmente dos gêneros: *Pinus* e *Eucalyptus*.

No estado de Santa Catarina, a área total é de 660,7 mil hectares de florestas plantadas, representando o sexto estado com maior área plantada no Brasil, sendo que, a grande maioria, 82% ou equivalente a 541,2 mil ha, é com o gênero *Pinus*, 17% (112,9 mil ha) com *Eucalyptus* e apenas 1% (6,6 mil ha) com outras espécies (Associação Catarinense de Empresas Florestais - ACR, 2016).

Entre as diversas espécies de *Pinus* introduzidas, as de clima tropical e subtropical demonstraram boa adaptação, merecendo atenção especial e desenvolvimento de pesquisas relacionadas à sua silvicultura, crescimento e propriedades da madeira, a fim de estabelecer usos finais adequados a cada espécie.

Esse gênero apresenta mais de 100 espécies, dentre essas, muitas apresentam grande potencial a ser explorado (MIROV, 1967). As espécies mais plantadas no Brasil são *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm.

No entanto, a falta de informações sobre o crescimento e a produção de outras espécies do gênero *Pinus* tem sido um dos fatores que restringem a silvicultura em escala comercial, há

um pequeno número de espécies do gênero, sendo que muitas delas são plantadas apenas em nível experimental. Desta forma, é fundamental o conhecimento dos parâmetros que expressam o crescimento, os quais irão permitir a avaliação do potencial de produção dessas espécies.

Além disso, o monitoramento ou estudo do crescimento de árvores é extremamente importante, pois permite conhecer diversas variáveis, entre elas, a taxa de crescimento, sendo que, principalmente, em coníferas as diferentes taxas originam incrementos diferenciados, muitas vezes, com a formação de anéis de crescimento irregulares ao longo do tronco.

Dentro deste contexto, torna-se necessário avaliar espécies alternativas no gênero *Pinus*, com base em estudos de crescimento, afim de validar potenciais espécies a serem utilizadas para o manejo florestal no Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento de quatro espécies do gênero *Pinus* submetidos ao primeiro desbaste na região serrana de Santa Catarina.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do estudo foram:

- ✓ Caracterização dendrométrica do povoamento aos 14 anos de idade para as diferentes espécies.
- ✓ Avaliar e comparar o crescimento das variáveis dendrométricas das diferentes espécies.
- ✓ Modelar o crescimento do povoamento em função da idade para cada espécie.
- ✓ Quantificar e comparar a resposta do primeiro desbaste em relação as variáveis dendrométricas das diferentes espécies.

3. HIPÓTESES

Neste contexto, as seguintes hipóteses de pesquisa:

- I. Espécies alternativas do gênero *Pinus* podem apresentar taxas de crescimento compatíveis ao *Pinus taeda*, tradicionalmente utilizado nos plantios comerciais.
- II. Espécies do gênero *Pinus* respondem ao desbaste de forma positiva.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. SETOR FLORESTAL BRASILEIRO

No Brasil, a área de florestas plantadas para fins industriais totalizou 7,8 milhões de hectares em 2016, o que corresponde a 0,9% do território brasileiro. Destes, os plantios com espécies do gênero *Eucalyptus* ocupam 5,7 milhões de hectares (72,3% do total) distribuídos na sua maioria no sudeste do país. Já os plantios de *Pinus* representam 1,6 milhão de hectares (20,5% do total) e concentram-se, principalmente, no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%) (IBÁ, 2017).

As áreas de florestas plantadas geram cerca de 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país, restando 9% para as florestas nativas manejadas. O setor é responsável por atrair empresas, empreendedores e investidores em diferentes escalas com o aprovisionamento de matéria-prima e máquinas específicas destinadas à colheita e manutenção dos processos que envolve a madeira. A prestação de serviços florestais engloba diversos segmentos, tais como: a produção e plantio de mudas, colheita de árvores e transporte de madeira até sua transformação (IBÁ, 2016).

Sabe-se também que os plantios florestais desempenham importante papel na prestação de serviços socioambientais, tais como: evitam o desmatamento de habitats naturais, protegendo a biodiversidade; preservam o solo e as nascentes de rios; recuperam áreas degradadas; são fontes de energia renovável e contribuem para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa por serem estoques naturais de carbono na atmosfera (IBÁ, 2016).

Com relação aos aspectos econômicos, o Produto Interno Bruto (PIB) do setor brasileiro de florestas plantadas cresceu 3,0% em 2015. Embora modesta, se comparada ao crescimento histórico do setor (3,8% a.a.), a expansão do PIB do setor florestal brasileiro em 2015 foi excepcional quando confrontada com o desempenho da agropecuária (1,8%), indústria (-6,2%) e do setor de serviços (-2,7%) (IBÁ, 2016).

O Brasil é líder no ranking global de produtividade florestal das principais espécies cultivadas no país. Enquanto no país o incremento médio anual (IMA) volumétrico é de 39 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para *Eucalyptus* e 31 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para *Pinus*, ambos em termos médios, os outros cinco principais países com tradição florestal (EUA, África do Sul, Chile, Austrália e China) apresentam um IMA de 19,6 e 17,6 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para as duas espécies. Entretanto, a produtividade no estado de Santa Catarina é superior a nacional, sendo de 44 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para o *Eucalyptus* spp. e 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para o *Pinus* spp. (ACR, 2016). A

combinação de inúmeros fatores contribui para a produtividade anual do Brasil, sendo um fator relevante foi o investimento das empresas em pesquisas e desenvolvimento florestal, priorizando a melhoria da genética dos plantios e das técnicas de manejo florestal (IBÁ, 2016).

Dentre os gêneros mais plantados, o *Pinus* veio como uma alternativa ao esgotamento da madeira de araucária, espécie nativa do Sul do país. O uso do *Pinus* representa, também, uma forma de minimizar a exploração de florestas nativas, constituindo-se em uma alternativa para gerar matéria prima florestal de forma renovável e sustentável (COELHO, 2010).

O emprego de ferramentas para atividades no planejamento florestal se torna de grande interesse ao setor florestal, assim alcançando informações pressentível relativo a quantificação e a previsão de suas florestas. Com a confiabilidade do crescimento e da produção das florestas, administradores ligados a gestão florestal possuem subsídio suficiente para a tomada de decisões cabíveis (ABREU, 2000).

4.2. CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES DE *Pinus* UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO

4.2.1. *Pinus taeda* L.

Pinus taeda é a conífera de maior utilização no Brasil com florestas concentradas na região sul do país. O uso da madeira compreende a produção em geral, desde celulose e papel, construção civil, indústria moveleira e serrados. A maior ocorrência se deve ao alto potencial de crescimento, adaptação às condições adversas relativas ao clima, além, de características específicas de sua madeira. (ALCÂNTARA et al. 2007).

P. taeda ocorre de forma natural nas regiões fisiogeográficas nos Estados Unidos nos estados do sul e sudeste do país, concentrado nas latitudes 29° N a 38° N e longitudes 75° W a 95° W sob ampla variação de condições ambientais (BARRICHELO et al. 1977). As árvores possuem altura média de 25 a 35 metros, podendo alcançar 50 metros. Em diâmetro médio, entre 90 e 120 cm, chegando a 140 cm. As procedências do sul da região natural apresentam valores superiores de crescimento em altura e diâmetro quando comparado ao desenvolvimento as procedências da região norte (HARTMAN, 1982).

A primeira procedência utilizada no Brasil teve como origem o Estados Unidos. Contudo, desconhecida a região da procedência destes materiais, dessa forma, o desenvolvimento em crescimento altura, diâmetro e forma do fuste eram variáveis. Em meados de 1970, iniciou os testes experimentais de procedências e progênies com *P. taeda*,

principalmente na região Sul do Brasil, com a finalidade de identificar as melhores procedências as condições edafoclimáticas do país (EMBRAPA, 2011).

Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, sobretudo onde ocorre geadas moderadas, as progênes com maior produtividade são procedentes da Carolina do Sul. Para os locais onde a geada é severa, especificamente na região serrana gaúcha e planalto catarinense as procedências da Carolina do Norte se tornam as recomendadas (SHIMIZU, 2006).

Em geral, *P. taeda* se desenvolve bem em regiões de clima frio e úmido, considerados temperado, e para solo com boa drenagem sem ocorrência de deficiência hídrica (SHIMIZU; SEBBENN, 2008). Empresas florestais na região sul do Brasil vêm alcançado uma produtividade média de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, chegando a $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com tecnologia de clonagem via embriogênese e enraizamento de ministaquias. A praga de maior incidência no *P. taeda* é a vespa-da-madeira, essa facilmente controlada, após avanço das pesquisas com o uso do controle biológico e manejo florestal (EMBRAPA, 2011).

Grande quantidade de pesquisas vem sendo realizadas com o *P. taeda*, por exemplo, o estudo de Matos (1997), utilizando árvores provenientes de Santa Catarina, com 21 anos, as quais possuíam altura média de 19,4 m e dap de 32,3 cm. Klock (2000) e Mendes (2001), avaliando diferentes espécies de *Pinus* spp. provenientes do sítio de crescimento em Ventania – PR, obtiveram altura total 14,9 m e 15,2 m, diâmetro médio iguais a 28,0 e 28,7 cm e volume médio sem casca de $0,334 \text{ m}^3$ e $0,340 \text{ m}^3$, para povoamento de *P. taeda* com 10 e 11 anos, respectivamente.

Dobner Jr. (2015) em estudo de impacto do manejo de povoamento na produtividade e qualidade de *P. taeda* em plantios de 10, 15, 20 e 30 anos, na região de Campo Belo do Sul em Santa Catarina, obteve diâmetro dominante de 30,0 cm, 35,6 cm, 40,3cm e 47,6 cm e altura média de 15,1 m, 21,1 m, 26,2 m e 34,4 m, respectivamente.

4.2.2. *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*

A espécie *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* é a segunda conífera mais plantada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Essa espécie é de origem das regiões Sul e Sudeste dos Estados Unidos, ocorrendo da Carolina do Sul em 33° N até a Flórida e Sudoeste da Louisiana em 30° N (DORMAN; SQUILLACE, 1974). Em geral, apresenta menor produtividade que *P. taeda*, relativos a volume de madeira, porém, possui características importantes para uso devido sua madeira ter qualidade física e mecânica usada para produção de embalagens e construção civil

em geral. Possui boa aptidão a diversas condições ambientais, podendo citar, solos rasos e pedregosos, áreas baixas propícias a alagamentos periódicos e geadas (EMBRAPA, 2011).

Segundo Lamprecht (1990) apud Tonini et al. (2000), o *P. elliottii*, como espécie heliófila de crescimento rápido, possui alta competitividade em relação a arbustos lenhosos, atingindo alturas de 20 a 30 metros, podendo alcançar no máximo 40 metros, e dap de 60 a 90 cm. O sistema radicular pode penetrar no solo até uma profundidade maior que 5 metros.

O incremento volumétrico de *P. elliottii* quando comparado ao *P. taeda* tende a ser menor. Contudo, a produção de madeira adulta inicia aos cinco a seis anos, ocorrendo dos 12 a 15 anos para *P. taeda*. Assim, a espécie detém um diferencial importante para produção de madeira destinada ao processamento mecânico. Significando que, *P. elliottii* possui maior proporção de madeira adulta ao comparar com a idade iguais de toras para *P. taeda*, portanto, terá melhor qualidade física e mecânica da madeira (SHIMIZU, 2006).

Tem a capacidade de produzir número reduzido de ramos aumentando a eficiência no rendimento de madeira livre de nós. Além disso, produz quantidades expressivas de resina, explorada comercialmente, contudo, para o processamento mecânico, pode-se tornar um impedimento. Diferente do *P. taeda*, a espécie não tem problemas com ataques da vespa-da-madeira (SHIMIZU, 2007).

Shimizu et al. (2008) relata que *P. elliottii* apresenta alta capacidade de crescer em solos úmidos, tolerando, alagamentos temporários, deficiências hídricas e geadas. Ao comparar, seu desenvolvimento com *P. taeda* em ambientes mais frios, seu crescimento é menor, como ocorre no Planalto Sulino.

Em relação ao crescimento Tonini et al. (2000) ao estudar índice de sitio em três municípios do Rio Grande do Sul, em povoamento de *P. elliottii* com idades de 18 e 21 anos. O autor encontrou valores médios em dap de 24,6 cm, 23,7 cm e 19,0 cm e altura dominante de 28,0 m, 23,7m e 19,2 m, incremento periódico em altura para os últimos 7 anos de 5,05m, 7,06m e 6,02m, respectivamente.

4.2.3. *Pinus patula* Schlechtd. & Cham.

O *Pinus patula* é uma espécie originária do México considerada uma das mais importantes para as plantações comerciais intensivas no mundo, devido a sua taxa de crescimento, pela boa forma de seu tronco e ainda pelas características favoráveis da madeira para celulose (DVORAK et al. 2000).

Esta espécie tem sido amplamente plantada fora de sua faixa, pelos trópicos e zonas temperadas, desde o início da década de 1940, incluindo África do Sul, Índia, América do Sul e Austrália. Em 1990 foi plantado mais de 1 milhão de hectares entre o Sul e o Oeste da África e no oeste da América do Sul (BIRKS; BARNES, 1990). Apesar de seu alto potencial de cultivo intensivo no México (MARTINEZ et al. 2004; RODRIGUEZ et al. 2005), onde é endêmica (PERRY, 1991; FARJON e STYLES, 1997), esta espécie não foi amplamente cultivada (MARTINEZ et al. 2004).

No Brasil, essa espécie ainda não tem povoamentos expressivos como *P. taeda* e *P. elliottii*, porém, está sendo plantada em nível experimental, com o intuito de acompanhamento do crescimento, produção, adaptação e qualidade da madeira (SILVA e NETO, 1979).

P. patula cresce com sucesso em uma variedade de solos, porém, tem preferência por ácidos profundos e úmidos. Ele se desenvolve melhor em desfiladeiros e planícies com solo úmido, argiloso e profundo. Cultivada em solos vulcânicos jovens, enquanto em solos antigos, lixiviados não apresenta um bom desenvolvimento. Pode tolerar altitude entre 1.000 e 3.000 m, temperatura anual de -10 a 28°C e precipitação anual de 1.000 a 2.000 mm (LOOCK, 1977; WEBB, 1984; WORMALD, 1975).

Devido as características apresentadas de condições da tolerância para a espécie de *P. patula*, essa foi plantada para satisfazer as indústrias na África do Sul, pois se trata de uma espécie de rápido crescimento e de alto desempenho. A madeira tem uma menor densidade quando comparada a outras coníferas plantadas em áreas temperadas, sendo mais adequado para construção em geral. A madeira pode ser facilmente tratada, apresentando baixa quantidade de resina e ainda sem odor, sendo adequada tanto para painéis de partículas como pasta de papel (CHUDNOFF, 1984; WORMALD, 1975).

Quanto ao crescimento, estudos realizados por Nicoletti et al. (2014) em povoamento de *P. patula* aos 9 anos com primeiro desbaste aos 8 anos, na região de Ponte Alta do Norte em Santa Catarina, obtiveram valores de 21,3 cm de diâmetro altura do peito, 21,6 cm de diâmetro médio quadrático, 32,6 m² ha⁻¹ de área basal e altura total média de 14,9 cm em povoamento com densidade de 893 indivíduos por hectare.

4.2.4. *Pinus greggii* Engelm

Pinus greggii é uma espécie endêmica do México e ocorre em distintas regiões: na parte norte do país em latitude 24° N a 25° N, em altitude de 2.300 a 2.700 metros, e na região central nas latitudes 20° N e 21° N, em altitude 1.200 a 1.800 metros, conforme citam os autores

Ramirez Herrera (1993), Donahue e Onahue, Lopez-Upton (1996). Shimizu e Sebbenn (2008) enfatizam que as procedências da região central apresentam maior adaptabilidade e desenvolvimento quando implantadas no Sul do Brasil. As procedências da região Norte, tem apresentado baixa adaptabilidade, com árvores de baixo vigor, acículas curtas e rígidas quando comparado, apresentando deformações no fuste e ramos.

A espécie apresenta, como particularidade, a resistência em geadas severas e o florescimento precoce. Entre o primeiro e segundo ano, podem ser visualizados o princípio de estróbilos femininos. Além disso, exibe potencial na geração de híbridos interespecíficos, podendo combinar características favoráveis com outras espécies comerciais plantadas (SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

Alguns autores descrevem o desempenho da espécie em ensaios de campo em muitos países. Nesses estudos, a espécie tem apresentado rápido crescimento em altura e diâmetro (NEIL, 1990; DWIVEDI; THAPAR, 1990; ALBA-LANDA et al. 1998; LOPEZ et al. 1999; SALAZAR et al. 1999; AZAMAR et. al., 2000), potencial para adaptar a condições secas e baixa temperatura (VARGAS-HERNÁNDEZ; MUÑOZ, 1988, 1991; LOPEZ-UPTON; MUÑOZ, 1991; KIETZKA, 1997, apud DVORAK, 2002), além de alta taxa de sobrevivência, entre 96,2% e 97,4% (DVORAK et al. 1996; ALBA-LANDA et al. 1998) apud EMBRAPA (2011).

No país de origem, devido suas características a resistir baixas temperaturas e deficiência hídrica, a espécie é promissora para ocupar as regiões com altitude variadas, nos trópicos e subtropicais, sendo alternativa ao plantio de *P. patula*, *P. elliotii* e *P. taeda* (DVORAK et al. 1996). Segundo Dvorak et al. (1996) estudando *P. greggii* no estado do Paraná, obteve crescimento em diâmetro e altura superior quando comparado com *P. taeda* e *P. elliotii*, porém, o fuste não instituiu forma satisfatória.

Borsato (2000) estudando experimento implantado em Santa Catarina e Paraná e com diferentes procedências de *P. greggii*, verificou baixo crescimento das procedências de Las Placetas, Los Lirios e Jame da região Norte do México. O dap, aos três anos de idade, da procedência da região Norte foi de 4,2 cm, e das procedências de Laguna Atezca, El Madronõ e Laguna Seca do centro do México obtiveram valores a 9,5 cm. No município de Ponta Grossa – PR observou valor maiores de dap que em outros locais, mesmo quando comparado as testemunhas de *P. taeda* e *P. elliotii* com a mesma idade.

4.3. MANEJO FLORESTAL

Segundo Schneider e Finger (1999) e Selle *et al.* (1994), diversos fatores influenciam a árvore em um povoamento, como aspectos ambientais, genéticos e de competição inter e intraespecífica. Assim, a qualidade do sítio é expressada pela interação destes fatores sobre a planta, afetando o seu crescimento. A diferença na taxa de crescimento pode ser causada pelos fatores já mencionados, bem como pelas diferenças no estabelecimento do plantio e do manejo florestal (NILSSON e ALBREKTSON, 1994).

Para Trevisan *et al.* (2009), o manejo da floresta atendendo aos fatores que a regulamentam pode contribuir para a melhoria da sua qualidade e produtividade. Nesse sentido, o desbaste é um dos mais importantes tratamentos que controla a competição e a interação com os demais elementos que intervêm na vida do povoamento. Estes fatores indicam quais são as árvores que permanecem no povoamento e quais deverão ser removidas (RIBEIRO *et al.* 2002).

4.3.1. Desbaste

O desbaste é um tratamento de manejo florestal que consiste na eliminação intencional, planejada, racional e criteriosa de parte das árvores que crescem em determinado povoamento florestal (DAVEL, 2009; RIBEIRO *et al.* 2002), sendo que a remoção é realizada para a gestão ou regulação da competição (OLIVEIRA *et al.* 2009; FINGER e SCHNEIDER, 1999), com isso, obtém-se redução da competição para uma determinada quantidade de recursos disponíveis em uma superfície ao longo do período de desenvolvimento da floresta (MULLER e ANGELI, 2006).

O desbaste, sobretudo no caso do gênero *Pinus*, é uma das mais importantes operações silviculturais, influenciando o crescimento e a produção por meio do vigor, da qualidade e do tamanho das árvores, associado com a regulação da densidade.

Conforme Assmann (1970) apud Padoin (2007), o efeito do desbaste, especialmente sobre a qualidade do tronco e desenvolvimento da copa, depende também do início e da frequência das intervenções subsequentes. Além disso, o desbaste inicial pode interferir no incremento de forma positiva. Desse modo, a idade na qual os desbastes começam e de grande importância.

Para Scolforo *et al.* (1997), existem vários objetivos para a execução de desbastes, dentre eles: aumentar o espaço entre as árvores diminuindo a competição e evitando a ocorrência da mortalidade com consequente retomada no crescimento; atenuar o estresse das

árvores, como forma de proteção ao ataque de pragas e doenças; obter uma produção intermediária ao longo da rotação; e, aprimorar o padrão das árvores remanescentes com a retirada daquelas de menor porte e defeituosas.

Maiores influências são evidenciadas no crescimento e na produção quando executado um desbaste pesado em povoamentos jovens, caso contrário ocorre em povoamentos mais velhos. Contudo, o maior rendimento é obtido se a intensidade do desbaste for maior em povoamentos jovens do que em povoamentos com maior idade (ALVES, 1982).

Dobner Jr. et al. (2012), ao estudar manejo de *P. taeda*, relatam que indivíduos de maiores diâmetros quando intensamente e precocemente liberados de concorrência, possuem um potencial de crescimento diamétrico 50% superior a árvores crescendo em povoamento totalmente estocado. A disponibilização de espaço resulta também em rendimentos financeiros superiores aos povoamentos não desbastados, sendo que o valor médio do metro cúbico durante todo o ciclo de produção é de até 63% superior nesses povoamentos.

Sanquetta et. al. (2003) avaliando o crescimento de *Pinus taeda* aos 12 anos de idade, submetido a diversos tratamentos de desbaste, ressalta que o método mais usual é a redução do número de árvores por hectare de forma seletiva ou sistemática por baixo ou, frequentemente, utilizada a união dos métodos.

O principal objetivo do desbaste é manipular a competição entre as árvores de um povoamento, propiciando o bom desenvolvimento das árvores remanescentes e conduzir o potencial produtivo do sítio a maior valor comercial (SCHNEIDER, 2002; OLIVEIRA, 2009), sendo, portanto, que a produção será concentrada nas árvores mais promissoras do povoamento (DIAS, 2000).

A diminuição da competição existente entre as árvores remanescentes permitirá maiores taxas de crescimento, aumentando o volume de madeira e uma melhor distribuição com menores quantidades de árvores (SCHNEIDER et al. 2008; MULLER e ANGELI, 2006).

Segundo Brooks & Bailey (2002) estudando os efeitos do desbaste em *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* concluem que o manejo do desbaste influencia no crescimento das variáveis dendrométricas e alguma tentativa de modelar o crescimento de florestas desbastadas deve incluir o tipo de desbaste realizado.

4.4. MÉTODOS DE ESTUDOS DE CRESCIMENTO FLORESTAL

Duas metodologias podem ser utilizadas para o estudo do crescimento das árvores. A primeira é por meio de medições periódicas, fazendo uso de inventários contínuos, em que

exige a instalação parcelas permanentes, onde as árvores são numeradas e, em intervalos constantes, as variáveis são medidas, geralmente altura e diâmetro (PELLICO NETTO; BRENA, 1997). A segunda metodologia por meio da análise de tronco, considerada para espécies que possuem anéis de crescimento visível, caso esse das espécies de *Pinus* spp. (DANIEL e YARED, 1987).

4.4.1. Análise dos anéis de crescimento

A análise de tronco denominada ANATRO é uma técnica que permite o resgate do registro do crescimento passado da árvore. Assim, sendo possível, a mensuração e contagem dos anéis de crescimento de diferentes seções transversais tomadas a diversas alturas no tronco (HUSCH, 1982).

Os pesquisadores Nagel e Athari (1982) consideraram a análise de tronco uma importante fonte de dados para estudos do crescimento em relação a fatores bióticos e abióticos. Nos fatores abióticos, caso do manejo, é possível avaliar as alterações de forma das árvores, sincronização das medidas dos anéis de crescimento e determinação do número de anéis ausentes como grau de danos sofridos e modelagem para produção florestal.

A técnica aprovisiona informações como: determinação da idade, classificação de sítio, estudo da forma, cálculo dos incrementos, rotação e resposta ao desbaste, elaboração de tabelas de produção (DANIEL; YARED, 1987). No Brasil, citam-se trabalhos desenvolvidos para estudar a influência do ritmo de crescimento na qualidade da madeira de *P. elliottii* Engelm var. *elliottii*, os efeitos do desbaste na madeira de *P. elliottii* e *P. taeda*, assim como o efeito da desrama artificial em *P. taeda* (ROSOT et al. 2001).

Com a reconstituição do crescimento das árvores ao longo do tempo, é possível avaliar uma série de características capazes de fornecer informações sobre a qualidade da madeira. Entre elas, citam-se a forma da seção transversal e a conicidade, a largura dos anéis de crescimento, a proporção entre lenhos inicial e tardio e de alburno e cerne. Sendo possível ainda, estimar, também, as proporções de madeira juvenil e adulta (ROSOT, 2003).

4.5. MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO

4.5.1. Crescimento e produção

Para Scolforo (1993) o crescimento é o mais importante fenômeno na floresta, e consiste no direcionamento e engrossamento das raízes, troncos e galhos das árvores, influenciando diretamente seu peso, volume e forma.

Os termos crescimento, incremento e produção florestal definem diferentes aspectos da dinâmica de desenvolvimento de uma árvore ou de uma floresta. O crescimento refere-se à alteração dimensional da variável de interesse de um indivíduo, sendo, diferença numérica entre estas medições. O incremento refere-se quanto cresce uma árvore em um determinado período sucessivo de tempo. Assim, medidas sucessivas são necessárias para obter-se tal valor, considerando a mudança de tamanho no início e no fim do período analisado. Em contrapartida, produção de uma floresta é o resultado do crescimento em tamanho, peso e volume da árvore (KOEHLER, 2009).

O crescimento de uma árvore ou povoamento é usualmente expresso em unidades de volume, sendo padronizado, simples de mensurar e as mais demandadas. Contudo, o manejo com o simples objetivo de produção em volume, algumas vezes, não é satisfatório, pois a forma de manejo do povoamento poderá afetar as propriedades físicas e químicas da madeira em consequência, a sua utilização para diferentes usos (DAVIS, 1966).

Segundo Campos e Leite (2009) os termos com maior utilização em relação ao crescimento florestal é o incremento corrente anual, incremento médio anual, incremento periódico e incremento periódico anual. Esses também citam que ao se derivar a função de produção obtém-se a função de crescimento, e para gerar a função de produção com a integração da função de crescimento. A curva de crescimento e produção possui quatro premissas básicas: origem igual a zero, um ponto de inflexão, um ponto de máxima tangência e uma assíntota, descrevendo assim, uma forma sigmoide com os quatro elementos (HOSOKAWA et al. 1998).

4.5.2. Modelos de crescimento e produção

Toda compreensão e predição do crescimento das árvores vêm sendo tema de grande interesse para a pesquisa e na gestão dos recursos florestais. Sendo, a modelagem, responsável cada vez mais, uma ferramenta de grande aporte para sintetizar conhecimentos e identificar gargalos. Nos dias de hoje, as decisões relativas ao planejamento florestal são tomadas com base em modelos matemáticos (MAESTRI et al. 2003).

A produção total é concebida pelo acúmulo de produção dos desbastes, quando realizado, somada a produção do povoamento em idade determinada. Essa produção pode ser

ajustada em função da idade, altura dominante ou altura da árvore de área basal média, como utilizaram outros autores (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Em mensuração florestal, modelo de crescimento e produção pode ser constituinte por um ou mais modelos estatísticos, uma ou mais equações, uma ou mais tabelas ou gráficos, ou, ainda, um conjunto de equações, tabelas e gráficos (CAMPOS e LEITE, 2009)

Um modelo de crescimento é considerado, uma abstração da dinâmica natural da floresta, podendo assim, abranger: crescimento, mortalidade e mudanças na composição da estrutura do povoamento (VANCLAY, 1999). A definição de modelos de crescimento, segundo Vanclay (1999), refere-se a um sistema de equações que podem predizer o crescimento e a produção do povoamento total sob uma grande variedade de condições. Assim, o modelo de crescimento abrange um conjunto de equações matemáticas.

Uma metodologia para construir um modelo de crescimento e produção envolve a acepção do problema, a obtenção de dados, a construção do modelo matemático, testes de validação do modelo e sua aplicação (OLIVEIRA, 2007). Este autor ainda cita que os modelos de crescimento e produção ajustados a partir da década de 1980 foram modelos compatíveis, do tipo povoamento total e de densidade variável, até meados de 2007.

Uma relação de derivação-integração entre as funções de crescimento e funções de produção para área basal e volume do povoamento é uma premissa que se baseia os modelos compatíveis (SULIVAN e CLUTTER, 1972).

Os modelos de crescimento e produção em nível de povoamento podem ser divididos em modelos do tipo normal, os mais aplicados a povoamentos estocados e são baseados unicamente em função da idade, e modelos de densidade variável, incluindo a variável densidade como uma parte dinâmica do sistema de equações (CAMPOS e LEITE, 2009).

Determinados trabalhos utilizaram modelos do tipo global, citando: Dias et al. (2005) que aplicaram o modelo de Clutter avaliando economicamente uma diversidade de cenários com variações em: idade e intensidades de desbaste, índice de local, taxas de juros, preços de madeira e idades de corte final. Rodrigues (1997) em estudo, utilizando o modelo, obteve as estimativas de coeficientes para modelo de planejamento florestal. Brito et al. (2007) avaliaram adaptações do modelo de Chapman-Richards para avaliar a produção de *Leucaena leucocephala* Lam.

O modelo desenvolvido por Clutter (1963) tem como características principais ser do tipo povoamento total, de densidade variável, explícito, e com características de compatibilidade e consistência (CAMPOS e LEITE, 2009). Segundo Dias (2005), o sistema de

equações simultâneas detém como variáveis endógenas o volume e a área basal, e como variáveis exógenas a idade e o índice de local, além das variáveis transformadas.

4.5.3. Análise de tronco na modelagem do crescimento e produção

A análise de tronco, parcial ou completa, vem sendo empregada em muitos estudos de modelagem do crescimento e produção, especialmente, na determinação da capacidade produtiva do local e em sítios florestais para várias espécies florestais, conforme Dacosta (2008), Novaes (2009), Coelho (2010) e Santos (2006).

Os seguintes autores, demonstram, o real potencial da utilização da análise de tronco para estudos de modelagem. Drescher (2004) utilizou dados para estudar o crescimento das variáveis dendrométricas de povoamentos jovens *Tectona grandis* nas regiões do estado de Mato Grosso do Sul. Sanquetta et al. (2010) construíram curvas de crescimento para a espécie *Nectandra grandiflora* no município de São João do Triunfo, no estado do Paraná. Novaes (2009) utilizou dados da análise de tronco completa em *Tectona grandis* para a classificação da capacidade produtiva, e a modelagem do crescimento e da produção. Munhoz (2011) para a caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *P. taeda*. Hess (2010) trabalhou com *Araucaria angustifolia* em regiões do estado do Rio Grande do Sul, conhecendo o crescimento em volume em função da idade.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

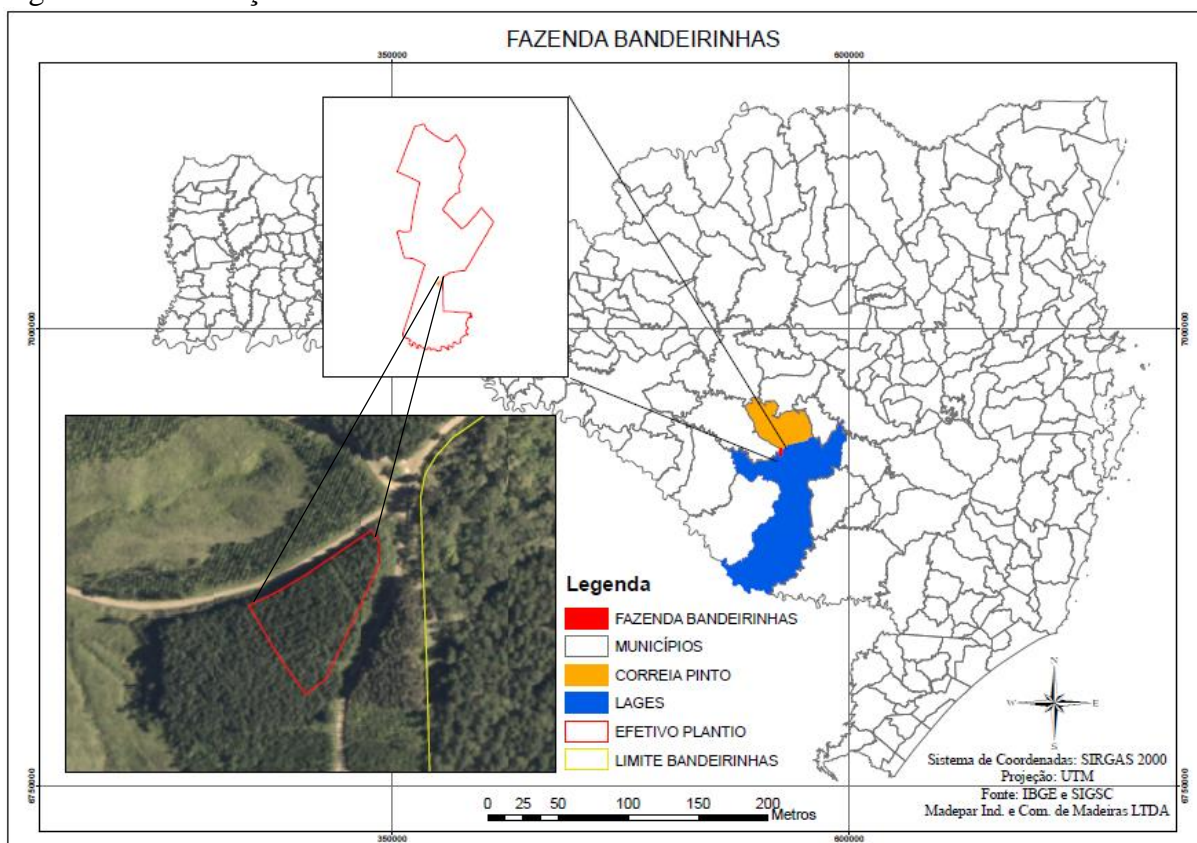
A pesquisa foi realizada na área florestal da Empresa Madepar Indústria e Comércio de Madeiras LTDA, cuja sede está localizada no município de Lages, planalto serrano do estado de Santa Catarina. A empresa é atuante no segmento de portas de madeira para os mercados externo e interno. Na área florestal, a empresa possui aproximadamente 4.000 ha de florestas plantadas nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Deste total, 90% das áreas com *Pinus* spp. e 10% de *Eucalyptus* spp. ambos com ciclos de corte de 25 anos.

A empresa detém um povoamento conexo com quatro espécies do gênero *Pinus* com o objetivo de estudar o desenvolvimento e o crescimento das espécies na região de maior atuação.

5.1.1. Localização

O estudo foi desenvolvido no município de Correia Pinto, estado de Santa Catarina (SC), no sul do Brasil, a cerca de 950 metros de altitude média (Lat. 27° 44,126" S, Log. 50° 21,873" W) (Figura 1). A propriedade denominada de Fazenda Bandeirinhas, essa denominação devido a localidade em que está inserida.

Figura 1 - Localização da Fazenda Bandeirinhas no estado de Santa Catarina - Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

5.1.2. Clima e solo

Conforme a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é do tipo Cfb, mesotérmico, subtropical úmido, com invernos frios e verões quentes e úmidos. A precipitação anual média de 1.516 mm e a temperatura média anual de 16,4 °C (ALVARES et al, 2014).

O solo de maior representatividade do local é o Cambissolo Húmico, com associações de Cambissolo Háplicos e Neossolo Litólico nas áreas mais declivosas da região (EMBRAPA, 2011).

5.1.3. Preparação e plantio do povoamento

O preparo da em estudo compreendeu as seguintes etapas:

- (1) Corte raso de um reflorestamento de *P. taeda*.
- (2) Limpeza da área de forma manual nas linhas de plantio.
- (3) Plantio de mudas das espécies de *P. elliottii*, *P. greggii*, *P. patula* e *P. taeda* no inverno de 2003, com densidade de 2.000 árvores ha⁻¹ (espaçamento: 2,0 x 2,5 m).
- (4) Combate a formigas: pré-plantio com 30 dias e pós plantio com 30, 60 e 90 dias.
- (5) Replantio com 30, 60 e 90 dias.
- (6) Controle das plantas daninhas por meio de roçada total da área nos dois primeiros anos.
- (7) Realização de três podas: 1,5 m, 3,0 m e 4,5 m de altura total em ambas as espécies.
- (8) Primeiro desbaste com 11 anos, semi-mecanizado no sistema *cut-to-length*, removendo a 5ª linha de forma sistemática e 40% por meio de desbaste seletivo para todas as espécies, remanescendo aproximadamente 900 árvores por hectare.

Foram destinados aproximadamente 0,8 hectares (etapa 3) para a implantação do povoamento com as quatro espécies, ou seja, aproximadamente 0,2 hectares para cada espécie. O critério de seleção para manutenção dos indivíduos no desbaste (etapa 8) foi a qualidade das árvores: fuste reto, galhos finos, boa sanidade, boa formação, etc.

5.2. COLETA DE DADOS

5.2.1. Censo florestal e cubagem

No censo florestal da área, as seguintes variáveis para ambas as espécies foram coletadas:

- Diâmetro altura do peito (dap) com utilização de suta; e
- Altura total (h_t) dos indivíduos com Hipsômetro *Blume Leiss*.

As alturas foram mensuradas na primeira linha de plantio e 20% das árvores de diâmetro dominante para cada espécie. Segundo Finger (2006), também conhecida como altura dominante h_{100} . O seu uso justifica-se por ser pouco influenciada pelos desbastes por baixo e por possuir alta correlação com a produção total do povoamento.

Na sequência, realizou-se a cubagem rigorosa das árvores selecionadas para análise de tronco (Item 5.2.2) para cada espécie considerando o método de *Smalian* (1, 2 e 3), conforme proposta por Machado e Figueiredo Filho (2006). Foram medidos diâmetros a 0,1 m, 0,3 m, 0,7 m, 1,3 m, 2,0 m e assim sucessivamente de 2,0 em 2,0 m até a última secção do fuste de cada árvore:

$$v_t = \sum_{i=1}^n v_i + v_c \quad (1)$$

$$v_i = \frac{(g_i + g_{i+1})}{2} \cdot l_i = \text{volume das secções intermediárias} \quad (2)$$

$$v_c = \frac{1}{3} \cdot g_n \cdot l_n = \text{volume do cone} \quad (3)$$

Em que: v_t = volume total (m^3); v_i = volume da secção; l_i = comprimento da secção; g_n = área transversal do cone; l_n = comprimento do cone.

Os volumes individuais (m^3) das árvores em pé foram estimados por meio do ajuste de equações volumétricas descritos no item 5.3.3.

5.2.2. Análise de tronco completa

Os dados provenientes do censo florestal foram a base para definir quais árvores seriam selecionadas para realização da análise de tronco. Para isso, considerou-se a árvore como sendo uma unidade de amostra, devendo esta ser representativa da população. Árvores foram escolhidas para entendimento do crescimento nas diferentes classes de diâmetro, sendo empregado o método de Sturges para selecioná-las (Expressão 4).

$$NC = 1 + 3,3 * \log(n) \quad (4)$$

Em que: nc = número de classes; \log = logaritmo decimal; n = número de observações

Tendo-se a distribuição diamétrica para as espécies, selecionou-se em campo as árvores que seriam amostradas. Após identificada cada árvore, diâmetro para cada secção, altura total (h_t) e altura comercial (h_c) foram mensurados. Na sequência, discos nas alturas absolutas de 0,1 e 1,3 m e nas alturas relativas a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, diâmetro mínimo igual a 8 cm foram amostrados (Figura 2).

Os discos foram coletados com aproximadamente 5 cm de espessura, para minimizar a possibilidade do surgimento de rachaduras durante a secagem, e identificados contendo o número da árvore, inicial do epíteto específico e identificação da seção da fatia.

Figura 2 - (a) Cubagem das árvores amostra; (b) local de armazenamento dos discos; (c) discos sendo lixados; (d) disco pronto para digitalização.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Quando o ponto de corte do disco coincidia com a formação de nós, estas foram cortadas imediatamente abaixo ou acima desta situação, para evitar as interferências destes na medição dos anéis (FINGER, 1992).

Após a secagem, todos os discos foram lixados em diferentes granulometrias, variando de 100 a 320, em uma única face. Na sequência foram marcados quatro raios em cada um dos discos, com um ângulo de 90° um do outro, começando 45° do maior conforme método utilizado por Prodan (1997) (Figura 2-d).

Os discos foram digitalizados em scanner SHARP MX-M363N com resolução 600 *dpi*. As mensurações das larguras dos anéis de crescimento foram determinadas com auxílio do

software *Image Pro Plus*® versão 4.5.0 para Windows com acurácia de 0,01 milímetros, e os dados obtidos foram exportados para Microsoft Excel®.

5.3. ANÁLISE DE DADOS

5.3.1. Teste de normalidade

Uma das pressuposições para aplicação dos testes F e de médias na análise de variância é que os dados possuam distribuição normal. Assim, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk sobre a distribuição de diâmetros das árvores existentes no povoamento aos 14 anos de idade.

A estatística W de Shapiro-Wilk (IU, 2004) é a razão entre o melhor estimador da variância e a soma dos quadrados corrigidos do estimador da variância dos dados coletados. O valor é positivo e menor do que 1, sendo tanto mais próximo da normalidade quanto mais próximo de 1. A estatística W requer valores entre 7 e 2000 unidades, sendo o padrão para pequenas amostras (<2000). Um valor significativo para o valor de W indica falta de normalidade para a variável analisada (ANJOS, 2003). O valor de W é calculado como segue Expressão 9 (IU, 2004):

$$W = \frac{\sum (a_i x_{(i)})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Em que: $a_i = (a_1, a_2, \dots, a_n) = m' \cdot V^{-1} [m' \cdot V^{-1} \cdot V^{-1} \cdot m]^{-1/2}$; $m' = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ é o vetor de valores esperados da estatística de ordem normal; V é a matriz de covariância n por n; $x' = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ é uma amostra aleatória e $x_{(1)} < x_{(2)} < \dots < x_{(n)}$.

5.3.2. Variáveis dendrométricas

Os valores encontrados, direta ou indiretamente, das variáveis dendrométricas foram analisadas, e posteriormente comparados entre espécies:

- Diâmetro médio quadrático (dg): área transversal média convertida em diâmetro; essa abordagem é comumente usada porque seu valor médio é menos sensível às observações extremas do que simplesmente o valor médio do diâmetro na altura do peito,
- Diâmetro dominante (d_{100}): diâmetro médio das 100 árvores de maior dap ha^{-1} ,
- Coeficiente de variação para d_{100} (CV_{100}): mostra a dispersão das observações em relação ao valor médio,
- Área transversal (g): obtida dividindo a área basal pelo número de árvores ha^{-1} ,
- Altura total (ht),
- Altura dominante (h_{100}): a altura das 100 árvores de maior dap ha^{-1} ,

- Relação h/d: altura de uma árvore dividida pelo seu diâmetro na altura do peito, como indicador da estabilidade da árvore.
- Área basal: soma das áreas transversais da árvore dentro de um hectare,
- Volume de árvore individual (v_i) estimado a partir de modelos,
- Volume total (V): volume total produzido por ha,
- Incremento médio anual (IMA): volume total produzido dividido pelo número de anos.

5.3.3. Análise de tronco completa

Os dados foram armazenados em planilhas eletrônicas Excel® e posteriormente analisados pelo suplemento FlorExcel®. O conjunto de dados consiste em medições anuais de anel durante o período 2003-2016 (14 anos). No total, aproximadamente 18.000 medições de largura de anel foram realizadas.

Julho foi adotado como o mês em que terminou um ano completo. Os respectivos anéis foram nomeados de acordo com o ano em que seu crescimento começou: o anel de crescimento anual chamado '2008' foi formado entre início de junho de 2008 e final de maio de 2009.

O número de anéis de crescimento anual nas diferentes alturas variou entre indivíduos e começou a partir do ano em que o primeiro anel foi formado:

- 0,1 m: 14 anéis (2003 - 2016).
- 1,3 m: 13 anéis (2004 - 2016).
- 25 %: 12 anéis (2005 - 2016).
- 50 %: 10 anéis (2007 - 2016).
- 75 %: 8 anéis (2009 - 2016).
- 100 %: 5 anéis (2012 - 2016).

5.3.4. Relação Hipsométrica

Para o ajuste da relação hipsométrica, utilizaram-se dados de altura total (h_t) e diâmetro à altura do peito (dap) obtidos no censo florestal e na cubagem. Os modelos matemáticos ajustados neste trabalho foram selecionados na literatura e estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos de relação hipsométrica.

Nº	MODELO	AUTOR
1	$\ln(h_t) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap} + \varepsilon_i$	Curtis
2	$\ln(h_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln(dap) + \varepsilon_i$	Stoffels
3	$\frac{1}{h_t - 1,3} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap} + \varepsilon_i$	Petterson
4	$h_t - 1,3 = \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 dap^2} + \varepsilon_i$	Naslund
5	$\frac{d^2}{h_t} = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon_i$	Prodan
6	$h_t = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \varepsilon_i$	Henricksen
7	$h_t = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap} + \varepsilon_i$	Assmann
8	$h_t = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon_i$	Trorey
9	$h_t = \beta_0 + \beta_1 dap + \varepsilon_i$	Linear Simples
10	$h_t - 1,3 = \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 dap + \beta_1 dap^2} + \varepsilon_i$	Prodan 2
11	$\ln h_t = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon_i$	AD1
12	$\ln h_t = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \varepsilon_i$	AD2

Em que: \ln = logaritmo neperiano; dap = diâmetro medido à 1,3 m do solo (cm); ht = altura total (m); β_0 , β_1 , β_2 , β_3 e β_4 = parâmetros a serem estimados e ε_i = erro aleatório.

5.3.5. Volume

Com os dados obtidos na cubagem, os volumes individuais para cada uma das árvores-amostra foram calculados. Os dados destas árvores serviram de base para ajuste dos modelos de volume relacionados na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos volumétricos.

Nº	MODELO	AUTOR
1	$v_i = \beta_0 + \beta_1 (dap^2 h_t) + \varepsilon_i$	Spurr I
2	$v_i = \beta_0 + \beta_1 dap + \varepsilon_i$	Burkhault I
3	$v_i = \beta_0 + \beta_1 (dap h_t) + \varepsilon_i$	Spurr II
4	$v_i = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 \varepsilon_i$	Honenald-Krenn
5	$v_i = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{dap} \right) + \beta_2 \left(\frac{1}{dap} \right)^2 + \varepsilon_i$	Bonetes I

Continuação...

Continuação...

Nº	MODELO	AUTOR
6	$v_i = \beta_0 + \beta_1(\text{dap}^2 h_t) + \beta_2 \left(\frac{1}{\sqrt{\text{dap}}} \right) + \varepsilon_i$	Omerod MII
7	$v_i = \beta_0 + \beta_1(\text{dap}^2) + \beta_2(\text{dap}^2 h_t) + \beta_3(h_t) + \varepsilon_i$	Naslund
8	$v_i = \beta_0 + \beta_1(\text{dap}^2) + \beta_2 \ln(\text{dap}^2 h_t) + \beta_3(\text{dap} h_t^2) + \beta_4 h^2 \varepsilon_i$	Naslund Modificado
9	$\ln(v_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{dap}) + \varepsilon_i$	Husch
10	$\ln(v_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{dap}^2 h_t) + \varepsilon_i$	Spurr III
11	$\ln(v_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{dap}) + \beta_2 \ln(h_t) + \varepsilon_i$	Schumacher-Hall
12	$\ln(v_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{dap}) + \beta_2 \ln^2(\text{dap}) + \beta_3 \ln(h_t) + \beta_4 \ln^2(\text{dap}) + \varepsilon_i$	Prodan

Em que: \ln = logaritmo neperiano; \log = logaritmo; dap = diâmetro medido a 1,3 m do solo (cm); h_t = altura do fuste (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = parâmetros a serem estimados e ε_i = erro aleatório.

O estudo dos modelos volumétricos possibilitou, por meio de métodos estatísticos, definiu o modelo que melhor estime o volume para cada espécie do plantio estudado.

5.3.6. Modelagem do crescimento

Com os dados de diâmetro, altura e volume individual por idade, obtidos pela análise de tronco, tornou-se possível ajustar os modelos matemáticos de crescimento acumulado para cada uma das variáveis. Os modelos testados foram selecionados na literatura aplicada ao estudo de crescimento tendo-se como variável independente a idade da árvore. Cinco modelos matemáticos não lineares e um modelo linear foram ajustados (Tabela 3).

Tabela 3 - Modelos testados para estimar o crescimento do diâmetro, altura e volume.

Nº	MODELO	AUTOR
1	$y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2}$	Chapman-Richards
2	$y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^3$	Bertalanffy
3	$y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}}$	Gompertz
4	$y = \beta_0 / (1 - \beta_1 * e^{-\beta_2 t})$	Logística
5	$y = \beta_0(1 - e^{-\beta_2 t})$	Monomolecular
6	$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * t^{-1}$	Schumacher

Em que: y = variável dependente (diâmetro, altura, volume); t = variável independente (idade); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, = coeficientes a serem estimados, e = base do logaritmo natural. Fonte: Zeide (1993).

Os modelos permitiram a projeção para as idades futuras das variáveis desejadas. O ciclo completo de rotação, conforme plano de manejo do empreendimento, atual de 25 anos.

5.3.7. Afilamento

O ajuste dos modelos não-segmentados foi feito para cada espécie aos 14 anos, com a finalidade de obter equações ajustadas e quantificar o volume total por hectare para cada espécie. Os modelos não-segmentados testados são descritos na Tabela 4.

As potências usadas para o ajuste do modelo de potências inteiras e fracionárias foram selecionadas pelo método *Stepwise*, sendo testadas as seguintes potências: 0,005; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20, e 25.

Tabela 4 - Modelos ajustados para função de afilamento.

Nº	MODELO	AUTOR
1	$\frac{d_i}{dap} = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2} + \varepsilon_i$	Kozak et al. (1969)
2	$\frac{d_i}{dap} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^5 + \varepsilon_i$	Schöepfer (1966)
3	$\frac{d_i}{dap} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^{p2} + \beta_n \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^{pn} + \varepsilon_i$	Hradetzky (1976)

Em que: dap = diâmetro medido à 1,3 m do solo (cm); d_i = diâmetro em diferentes alturas (cm) medido em altura h_i; h_t = altura do fuste (m); h_i = altura ao longo do fuste β₀, β₁, β₂, β₃, β₄ e β₅ = parâmetros a serem estimados; pn = potência selecionada para modelo de Hradetzky e ε_i = erro aleatório.

Para a inclusão ou não de uma variável, níveis críticos para o teste F com α de 0,05 e 0,10 foram utilizados, respectivamente, para a entrada e a saída de uma variável.

5.3.8. Critérios de avaliação e escolha dos modelos

Com o objetivo de selecionar o melhor modelo de regressão, analisou-se o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos definidos pelo: a) coeficiente de determinação ajustado); b) erro padrão da estimativa; c) coeficiente de variação; d) valor de F; e) valor ponderado dos escores estatísticos; e f) distribuição gráfica dos resíduos.

a) Coeficiente de Determinação Ajustado (R²_{aj}):

O coeficiente de determinação (R²) expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão. Como o coeficiente de determinação cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, o coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj}) para número de

coeficientes utilizado, como critério de seleção do modelo, obtido pela Expressão 5, conforme (DRAPER; SMITH, 1998):

$$R_{aj}^2 = 1 - \left\{ (1 - R^2) * \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \right\} \quad (5)$$

Em que: n = número de indivíduos; p = número de coeficientes.

Quanto mais próximo de 1 forem os valores dos coeficientes de determinação melhor será o ajuste da linha de regressão. Sendo assim, por este critério, foi selecionado o modelo matemático que apresentou o maior valor de R_{aj}^2 .

b) Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa indica a precisão do ajuste do modelo matemático e somente deve ser utilizado como comparador quando as variáveis dependentes apresentarem mesma unidade de medida. O Erro Padrão da Estimativa (S_{yx}) é obtido pela Expressão 6:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n-p}} \quad (6)$$

Em que: x_i = valor real; \hat{x} = valor estimado; n = número de casos; p = número de coeficientes.

Quando se utilizou uma transformação de logaritmo do modelo, os valores estimados estão sujeitos à discrepância do logaritmo. Nestes casos, cada valor estimado precisa ser corrigido pelo Fator de Meyer (MF) obtido pela Expressão 7.

$$MF = e^{0,5 S_{yx}^2} \quad (7)$$

Em que: e = 2,718; S_{yx} = erro padrão da estimativa.

Assim, quanto menor for o erro padrão da estimativa, melhor são as estimativas obtidas na equação, portanto deveria ser selecionada.

c) Erro padrão da estimativa em percentual ($S_{yx\%}$)

O erro padrão da estimativa em percentual ($S_{yx\%}$) é obtido pela Expressão 8:

$$S_{yx\%} = \frac{S_{yx}}{y_{med}} * 100 \quad (8)$$

Em que: $S_{yx\%}$: erro padrão da estimativa em percentagem; S_{yx} : erro padrão da estimativa; y: média aritmética da variável dependente.

d) Valor de F

O valor de F calculado na análise de variância das equações foi utilizado como um dos parâmetros estatísticos para a seleção do melhor modelo matemático.

e) Valor ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP)

Esse critério de seleção leva em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas, e por isso sintetiza os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático.

O Valor Ponderado foi determinado atribuindo-se valores ou pesos aos parâmetros estatísticos. As estatísticas foram ordenadas de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente, 2 para a segunda e assim sucessivamente (ranking), conforme metodologia descrita por THIERSCH (1997). Após essa classificação individual, efetuou-se o somatório da pontuação para cada modelo matemático, sendo que a equação de volume que recebeu a menor soma foi recomendada como mais adequada para uso.

f) Distribuição gráfica dos resíduos

Na seleção dos modelos matemáticos, considerou-se também a distribuição gráfica dos resíduos, sendo selecionado o modelo que apresentou a menor variação de resíduos. Neste método, foram plotados os resíduos ($y_{\text{observado}} - y_{\text{estimado}}$) em função da variável dependente, sendo possível examinar melhor a tendência de superestimar ou subestimar os valores.

A análise de resíduos gráficos é um método que, embora visual, é crucial para a escolha do modelo melhor ajustado. Mostra a dispersão dos valores estimados em relação ao medido. Quanto menor e mais uniforme a dispersão de resíduos, melhor é o ajuste.

5.3.9. Resposta ao desbaste

Para avaliação da resposta de crescimento relativo ao desbaste foi tomado como comparação o crescimento do *P. taeda*, dessa forma, utilizou a relação entre a largura do anel de *P. taeda* com as demais espécies, para uma mesma altura de coleta. Procedimento semelhante ao considerado por Peltola et al. (2002). No total 75 árvores das diferentes espécies foram consideradas na análise.

5.3.10. Análise de variância e comparações de médias

As avaliações estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância e teste de média Tukey. Os resultados da ANOVA (Teste F) para cada parâmetro testado são mostrados nas tabelas, enquanto, os seguintes critérios expressaram os níveis significativos:

- n.s. = não significativo;
- * = $p < 5 \%$;
- ** = $p < 1 \%$;
- *** = $p < 0,1 \%$.

Depois de detectar diferenças significativas com ANOVA, os valores foram classificados com letras de acordo com o Teste de Tukey, em que os valores com a mesma letra não diferiram significativamente.

5.3.11. Processamento dos dados

Todas os processamentos e análises dos dados foram realizadas por meio do *Software* RStudio, versão 1.0.143 utilizando diversos pacotes de análise e Microsoft Excel® 2013.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Estatística descritiva aos 14 anos

O número de árvores (n), bem como as estatísticas descritivas das variáveis diâmetro (dap), altura total (h) e fator de forma natural (f) para as quatro espécies aos 14 anos com base nos dados do censo florestal estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Estatística descritiva do censo florestal para *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus greggii* e *Pinus patula* aos 14 anos.

Estatísticas	<i>Pinus taeda</i>		<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus greggii</i>		<i>Pinus patula</i>	
	dap (cm)	h (m)	dap (cm)	h (m)	dap (cm)	h (m)	dap (cm)	h (m)
n	100		64		81		82	
\bar{X}	24,9	20,7	26,2	18,8	25,1	22,1	25,5	22,8
s	3,93	1,29	5,35	1,45	3,80	1,26	4,50	1,33
Mínimo	17	18	16	16	16	18,5	17	20
Máximo	34	22,5	43	22,5	35	24,3	37	24,8
f	0,4819		0,4619		0,4511		0,4447	

N = número de árvores; \bar{X} = média; s = desvio padrão; Mínimo = valor mínimo; Máximo = valor máximo; h = altura total; f = fator de forma natural médio; dap = diâmetro altura do peito.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

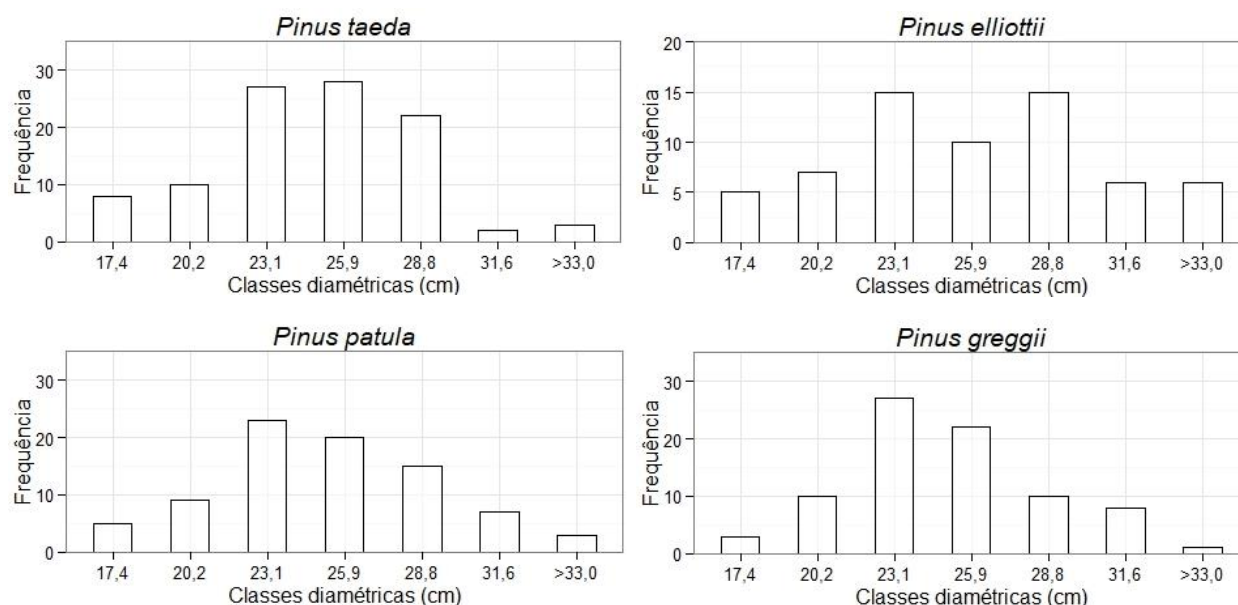
A diferença do número de indivíduos entre as espécies no censo florestal tem duas possíveis variações, sendo: i) na área de implantação, o que ocorre com a espécie de *P. elliottii* e ii) no número de árvores a serem retiradas no primeiro desbaste, observado para as espécies de *P. greggii* e *P. patula* quando comparada a espécie de *P. taeda*.

Contudo as caracterizações das variáveis dendrométricas foram tomadas com base nas classes diamétricas conforme método de Sturges, reduzindo as variações na comparação.

6.2. Teste de normalidade

A única variável medida aos 14 anos, para todas as árvores na área do povoamento, foi o diâmetro à altura do peito (dap), constituindo-se na principal variável de controle. Assim, a análise de normalidade dos dados foi realizada sobre esta variável. Figura 3 observa-se que a distribuição de frequências se aproxima da distribuição normal.

Figura 3 - Frequências por classes diamétricas das árvores contidas no povoamento aos 14 anos de idade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A análise de normalidade dos diâmetros aos 14 anos de idade, pelo teste de Shapiro-Wilk, apresenta valores não significativos e próximos de 1 (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultados do teste de Shapiro-Wilk sobre os diâmetros das árvores no povoamento aos 14 anos de idade, por espécie.

Estatística	Espécie			
	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus greggii</i>	<i>Pinus patula</i>
W : Normal	0,9815	0,9743	0,9820	0,9844
Pr < W	0,1722 ^{ns}	0,2010 ^{ns}	0,3154 ^{ns}	0,4255 ^{ns}

Sendo: W: Normal = Pr<W: probabilidade de significância de W. ^{ns} = não significativo ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Com a comprovação da normalidade dos dados, garantiu-se a aplicabilidade dos testes de significância que se baseiam nesse tipo de distribuição.

6.3. Caracterização das classes diamétricas

Os indivíduos amostrados para cada espécie foram classificados conforme a mesma classe de diâmetro estabelecido pela metodologia de Sturges. A amostragem de árvores considerou toda a distribuição diamétrica para cada uma das espécies.

Os valores médios para cada classe, bem como a amplitude dos diâmetros são apresentados na Tabela 7. Observa-se que os valores do diâmetro apresentaram baixa variação na mesma classe entre as espécies.

Tabela 7 - Diâmetro médio, máximo e mínimo das diferentes classes de diâmetro das espécies.

CLASSES DE DIÂMETRO																		
(cm), em relação as espécies																		
Classes	LI - LS	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus greggii</i>				<i>Pinus patula</i>				
		méd.	máx.	mín.	n	méd.	máx.	mín.	n	méd.	máx.	mín.	n	méd.	máx.	mín.	n	
1	16,0 - 18,7	18,1	18,6	17,7	4	17,0	18,0	16,0	2	17,2	18,0	16,4	2	17,4	18,5	16,8	3	
2	18,8 - 21,6	20,2	20,7	19,7	2	20,0	21,0	19,0	3	20,0	20,5	19,3	3	20,2	21,5	19,5	4	
3	21,7 - 24,4	23,9	24,3	23,6	5	23,5	24,5	22,0	3	23,5	24,4	22,5	3	23,9	24,3	23,5	2	
4	24,5 - 27,3	26,1	26,1	26,1	2	25,2	26,0	24,5	3	26,5	27,6	25,5	3	25,9	27,2	25,0	4	
5	27,4 - 30,1	28,3	31,1	28,1	4	28,2	29,0	27,5	3	28,5	29,1	28,0	3	27,8	28,0	27,5	3	
6	30,2 - 33,0	31,5	32,5	30,5	2	31,1	32,0	30,2	2	31,3	31,9	30,5	3	31,9	32,8	31,0	3	
7	> 33,1	33,9	33,9	33,9	1	35,0	35,0	35,0	1	33,0	33,0	33,0	1	33,2	33,2	33,2	1	
Total (n)		20				17				18				20				

Em que: méd.: média; máx.: máximo; mín.: mínimo; LI: limite inferior; LS: limite superior; n: número de árvores cubadas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As alturas relativas do fuste foram usadas em vez de absolutas para permitir uma comparação adequada entre as espécies. Os valores são apresentados em relação à altura comercial na Tabela 8.

Tabela 8 - Altura da amostra onde os discos foram retirados por altura relativa e espécies.

ESPÉCIE	ALTURA DA AMOSTRA (m), em relação à altura comercial (%)											
	25%			50%			75%			100%		
	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.
<i>Pinus taeda</i>	3,6	4,3	3,0	7,3	8,7	6,0	10,9	13,0	9,0	14,6	17,3	12,0
<i>Pinus elliottii</i>	3,6	4,5	2,8	7,2	8,9	5,6	10,8	13,4	8,3	14,4	17,8	11,1
<i>Pinus greggii</i>	4,4	4,9	3,2	8,8	9,8	6,3	13,2	14,7	9,5	17,6	19,6	12,6
<i>Pinus patula</i>	4,5	5,1	3,6	9,1	10,1	7,3	13,6	15,2	10,9	18,2	20,2	14,5

Em que: méd.: média; máx.: máximo; mín.: mínimo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.4. Diâmetro

6.4.1. Diâmetro aos 14 anos

As comparações de diâmetro à altura do peito (dap) demonstram a resposta de crescimento das diferentes espécies aos 14 anos. O diâmetro da árvore com a área transversal média, ou o diâmetro médio quadrático (dg), o diâmetro médio das 100 árvores mais grossas ha^{-1} (d_{100}), o coeficiente de variação para d_{100} , os valores da área transversal (g) e a área transversal das árvores dominantes (g_{100}) são mostradas na Tabela 9.

Tabela 9 - Diâmetro médio quadrático (dg), diâmetro de árvores dominantes (d_{100}), coeficiente de variação para d_{100} (CV_{100}), área transversal (g) e área transversal superior (g_{100}) para as diferentes espécies aos 14 anos.

ESPÉCIE	dg		d ₁₀₀		CV ₁₀₀		g		g ₁₀₀			
	cm	%	cm	%	%	m ²	%	m ²	%			
<i>Pinus elliottii</i>	26,7	a	105,9	32,3	a	106,4	11,2	0,056	112,5	0,083	a	114,3
<i>Pinus patula</i>	25,8	ab	102,5	31,4	ab	103,5	7,4	0,052	105,1	0,078	ab	107,3
<i>Pinus taeda</i>	25,2	b	100,0	30,4	ab	100,0	5,7	0,050	100,0	0,073	ab	100,0
<i>Pinus greggii</i>	25,4	b	100,7	30,2	b	99,3	6,5	0,051	101,4	0,072	b	98,8
Teste F	**		*		n.s.		n.s.		*			

Em que: (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A análise do diâmetro médio quadrático (dg) entre as espécies demonstrou efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade sobre as espécies pelo Teste F. Pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade no *P. elliottii* e no *P. patula* obtiveram crescimento superior de 5,9% e 2,5%, respectivamente quando comparado ao *P. taeda*. Em valores absolutos o *P. elliottii* obteve um acréscimo de 1,5 cm em diâmetro. A espécie *P. greggii* demonstrou

crescimento em diâmetro médio quadrático semelhante ao *P. taeda* quando comparado ao mesmo teste.

Uma comparação adequada entre as espécies é possível pelo diâmetro superior, que inclui apenas as 100 árvores dominantes ha^{-1} (d_{100}). Constatou-se significância ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F para as espécies em que a tendência foi diferente da descrita para dg, em que *P. taeda* não demonstra diferença em crescimento ao *P. elliottii* ao teste de Tukey a nível de 5% de significância. A espécie de *P. elliottii* apresentou 6,4% superior em diâmetro dominante ao *P. taeda* seguido de *P. patula* com 3,5%. A espécie de *P. greggii* obteve um decréscimo de 0,7% em seu diâmetro superior quando comparado ao *P. taeda*. Em valores absolutos, obteve-se um ganho diamétrico, respectivamente, de 1,9 cm e 1,0 cm para as árvores de *P. elliottii* e *P. patula* aos 14 anos.

Embora fosse esperado um menor coeficiente de variação para as espécies, o que significa distribuição de diâmetro mais homogênea, foram detectadas diferenças significativas para a variável diâmetro aos 14 anos.

Para a área transversal obteve-se resultado não significativo pelo teste F, concluindo que não existe diferença na avaliação entre as espécies. *P. elliottii* obteve 12,5% seguido de *P. patula* com 5,1% quando comparado ao *P. taeda*. Os valores absolutos para ambas as espécies variaram de 0,051 a 0,056 m^2 na média por indivíduo.

Contudo ao considerar apenas as árvores dominantes e sua área transversal (g_{100}), o maior crescimento de árvores foi para *P. elliottii*, 14,3% superior ao do *P. taeda*, porém, não diferente estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5 % de significância das espécies *P. greggii* e *P. taeda*. A espécie de *P. greggii* obteve diferença significativa para as demais com decréscimo de 1,2 % em comparação ao *P. taeda*.

Elesbão e Schneider (2011) avaliaram um povoamento de *P. taeda* de 17 anos na região dos Campos de Cima da Serra no Rio Grande do Sul, submetidos a nenhum, 1 ou 2 desbastes. Os desbastes executados permitiram um ganho significativo em diâmetro, até os 17 anos de idade, com a execução de um desbaste aos 11 anos obteve-se um diâmetro médio de 33,4 cm; com dois desbastes aos 11 e 15 anos, um diâmetro médio de 33,5 cm; e, um diâmetro médio de 24,3 cm na testemunha, sem desbaste.

6.4.2. Desenvolvimento do diâmetro

Os diâmetros em diferentes idades, com base nos dados da ANATRO e a análise estatística são mostrados na Tabela 10. Os valores obtidos foram utilizados nas comparações

estatísticas. As espécies de *P. taeda* e *P. patula* obtiveram, estatisticamente, crescimento semelhantes até os 10 anos. Neste período, a espécie *P. greggii* obteve diâmetro superior. Após os 10 anos, todas as espécies não apresentam diferenças significativas (Tabela 10).

Obteve-se resultado não significativo pelo teste F para as idades 10 e 12 anos, concluindo que não existe diferença no crescimento em diâmetro entre as espécies (Tabela 10 e Figura 4). Conforme mencionado, as diferenças entre as espécies podem ser notadas ao longo dos primeiros anos, sendo assim, aos 8 anos de idade, houve uma tendência de as espécies se igualarem em diâmetro, efeito da competição entre os indivíduos.

Tabela 10 - Diâmetro à altura do peito sem casca aos 4, 6, 8, 10 e 12 anos.

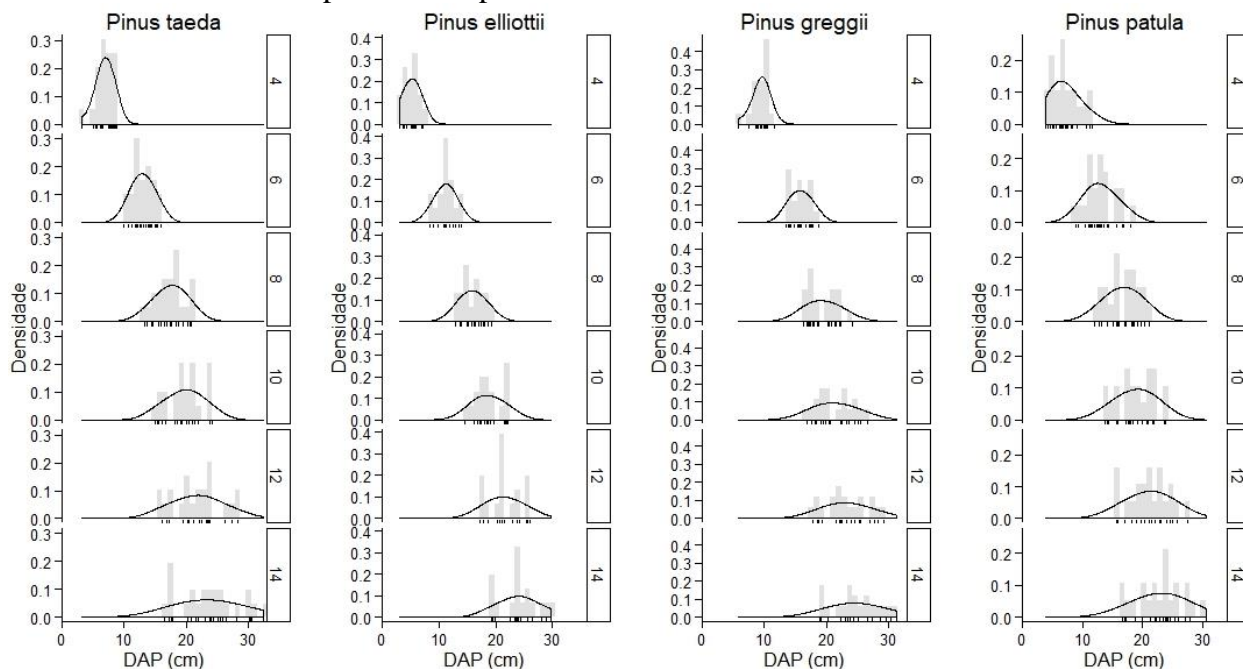
Espécie	Idade (anos):				
	4	6	8	10	12
<i>Pinus greggii</i>	8,9 a	15,4 a	18,9 a	20,7	22,5
<i>Pinus taeda</i>	7,1 b	13,3 b	17,8 ab	20,1	22,1
<i>Pinus patula</i>	7,1 b	13,4 b	17,4 ab	19,6	21,9
<i>Pinus elliottii</i>	5,2 c	11,1 c	15,9 b	18,6	21,3
Teste F	***	***	**	n.s.	n.s.

Em que: (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na Figura 4 são ilustrados o desenvolvimento do diâmetro ao longo dos 14 anos com base nos dados da ANATRO em relação a densidade da classe diamétrica. Identifica-se o deslocamento da curva no sentido do crescimento em dap ao longo dos anos em que o *P. patula* apresenta uma maior amplitude diamétrica aos 4 anos, diferente das demais. Aos 8 e 10 anos o *P. greggii* exibe uma densidade menor para as classes diamétricas. Para os 14 anos a maior amplitude encontrou-se para *P. taeda*.

Figura 4 - Desenvolvimento do diâmetro (dap) sem casca em densidade aos 4, 6, 8, 10, 12 e 14 anos de idade para cada espécie.



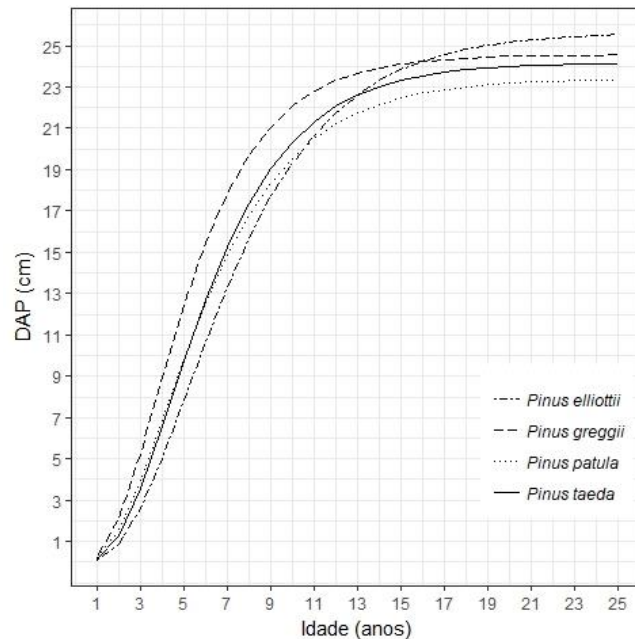
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.4.3. Modelagem do diâmetro

Para estimativa do desenvolvimento dos diâmetros, para as quatro espécies, o modelo de crescimento biológico de Chapman-Richards foi o que melhor se ajustou considerando os valores das árvores selecionadas por meio das classes de diâmetros na análise de tronco. Os demais modelos ajustados (Item 5.3.4) estão contidos nos Apêndice A e B. As curvas de regressão bem como as equações ajustadas são apresentadas na Figura 5.

Na Figura 5, nota-se que o desenvolvimento do diâmetro da espécie *P. greggii* apresenta uma taxa de crescimento notavelmente maior em comparação com as demais, e isso ocorre desde o primeiro ano até ao décimo quinto ano de crescimento. Considerando o mesmo intervalo de tempo, as espécies de *P. taeda* e *P. patula* apresentam curvas ajustadas muito semelhantes. Para *P. elliottii* essa apresentou os menores valores em diâmetro até o décimo primeiro ano, superando todas as demais ao décimo sexto ano de crescimento. Isso pode ser observado por meio da equação ajustada em que o valor assintótico (coeficiente β_0) determina o valor que o organismo pode atingir.

Figura 5 - Modelagem do diâmetro (dap) de acordo com a idade, para as diferentes espécies. Curvas ajustadas pelo modelo de Chapman-Richards.



$$Pinus\ taeda = 24,17 \left(1 - e^{3,85 \cdot I}\right)^{0,31}$$

$$R^2_{aj} = 0,823 \quad S_{yx} = 17,41 \%$$

$$Pinus\ elliottii = 25,69 \left(1 - e^{3,79 \cdot I}\right)^{0,26}$$

$$R^2_{aj} = 0,886 \quad S_{yx} = 14,78 \%$$

$$Pinus\ greggii = 24,56 \left(1 - e^{3,62 \cdot I}\right)^{0,35}$$

$$R^2_{aj} = 0,828 \quad S_{yx} = 14,42 \%$$

$$Pinus\ patula = 23,41 \left(1 - e^{3,36 \cdot I}\right)^{0,29}$$

$$R^2_{aj} = 0,796 \quad S_{yx} = 18,25 \%$$

Em que: I = idade; e = base do logaritmo natural, R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa percentual.

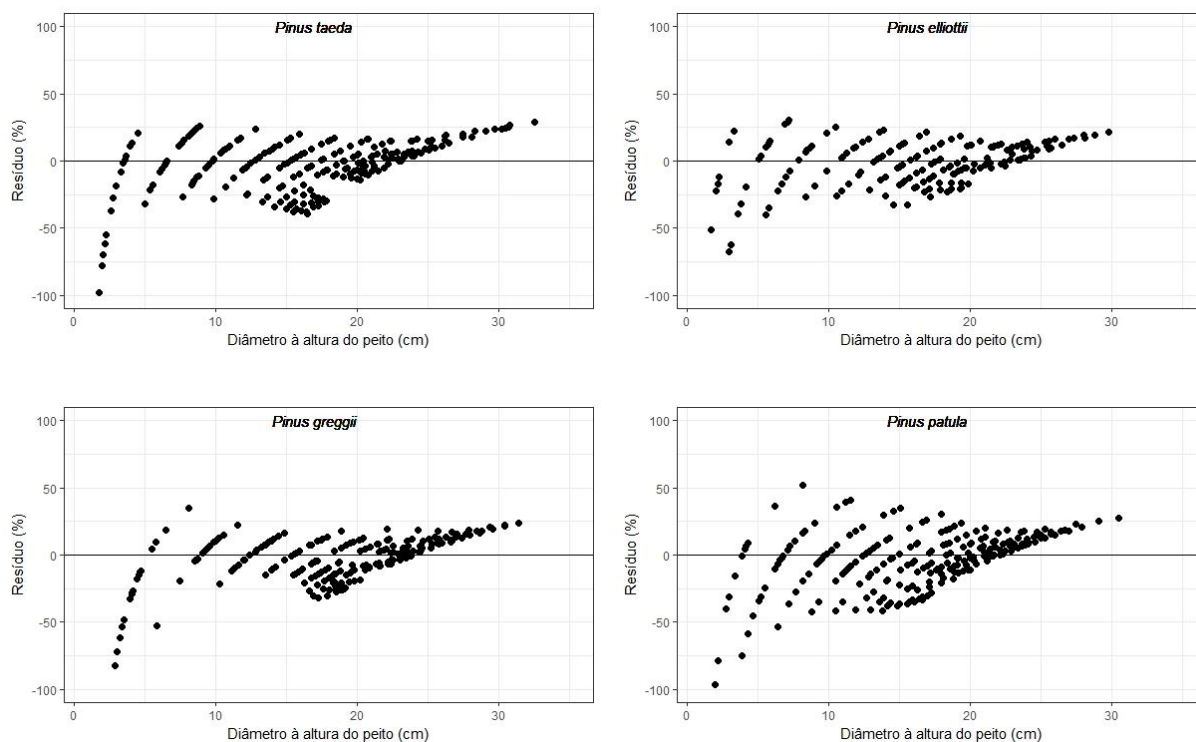
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As prognoses dos valores futuros, utilizando os modelos ajustados, indicam uma projeção do povoamento em estado estocástico visto que as curvas após o décimo quinto ano tendem a estabilizar. Esta característica está atrelada à forma de condução do povoamento, considerando a necessidade de novas intervenções futuras para liberação da competição e assim poder favorecer o crescimento das árvores remanescentes.

O menor coeficiente de determinação (R^2_{aj}) das diferentes equações de Chapman-Richards indicou que houve maior variação dentro dos valores dos diâmetros, evidente para a espécie *P. patula*, contudo os valores variaram entre 0,796 a 0,886. O erro padrão da estimativa para as espécies variaram de 14,42% para *P. greggii* até 18,25% para *P. patula*.

Na Figura 6, pode-se verificar o comportamento da distribuição dos resíduos entre os diâmetros observados e diâmetros estimados (dap) pelo modelo de Chapman-Richards. Observa-se pela análise do gráfico que o modelo apresenta uma tendência a superestimando os valores de diâmetro inferiores a 5 cm.

Figura 6 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos Chapman-Richards para diâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.5. Altura

6.5.1. Altura aos 14 anos

As comparações apresentadas na Tabela 11 demonstram o crescimento das diferentes espécies aos 14 anos para as variáveis altura total (h) e altura dominante das 100 árvores de maior dap ha^{-1} (h_{100}), também conhecida como altura dominante. Além dessas variáveis, são apresentados os percentuais de diferença quando as mesmas são comparadas ao *P. taeda*.

A análise da altura total (h) e altura dominante das 100 árvores de maior dap ha^{-1} (h_{100}) entre as espécies demonstrou efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade para as espécies pelo teste F. Com o Teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade, as espécies de *P. patula* e *P. greggii* obtiveram valores estatisticamente superiores as demais para ambas as variáveis. Em valores absolutos de altura total (h) os mesmos chegaram a superioridade de 2,0 e 1,4 metros, respectivamente, quando comparado ao *P. taeda*.

Quando avaliada a altura total (h) e altura dominante (h_{100}) para espécie *P. elliottii*, a mesma proporcionou o menor crescimento (Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade) em relação as demais espécies. Comparando-se com *P. patula*, a espécie apresentou, para as

variáveis descritas, valores de 4,0 metros, respectivamente, ou seja, cerca de 19,2% e 18,9% de decréscimo no crescimento em altura.

Tabela 11 - Altura total (h), altura dominante (h_{100}) para as diferentes espécies aos 14 anos.

ESPÉCIE	h			h_{100}		
	m		%	m		%
<i>Pinus patula</i>	22,7	a	109,9	23,6	a	110,8
<i>Pinus greggii</i>	22,1	a	106,8	22,9	a	107,8
<i>Pinus taeda</i>	20,7	b	100,0	21,3	b	100,0
<i>Pinus elliottii</i>	18,7	c	90,7	19,5	c	91,9
Teste F	***			***		

Em que: (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com o ajuste das equações matemáticas descritas no subitem 5.3.2, os estimadores dos parâmetros que permitiram selecionar o modelo estatístico que melhor ajusta aos dados para cada espécie foram obtidos. Os valores dos coeficientes (β_0 e β_1), o coeficiente de determinação (R^2_{aj}), o erro padrão de estimativa (S_{yx}), o erro padrão de estimativa percentual ($S_{yx} \%$) e a estatística F são apresentados na Tabela 12 para os melhores modelos.

Tabela 12 – Coeficientes das equações ajustadas e resultados das estatísticas de ajuste para relação hipsométrica do melhor modelo para cada espécie.

Espécie	Nº	Autor	Coeficientes		R^2_{aj}	S_{yx} (m)	S_{yx} %	F
			β_0	β_1				
<i>Pinus taeda</i>	6	Henricksen	0,515	5,915	0,355	1,2	6,40	28,62
<i>Pinus elliottii</i>	9	Linear Simples	15,128	0,145	0,144	1,4	7,67	7,377
<i>Pinus greggii</i>	4	Naslund	2,733	0,045	0,280	1,1	5,20	141,2
<i>Pinus patula</i>	7	Assmann	26,425	-95,177	0,295	1,1	4,86	23,64

Em que: β_0 e β_1 : coeficientes ajustados dos modelos; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx(m)}$: erro padrão de estimativa em metros; $S_{yx(\%)}$: erro padrão da estimativa em percentual; F: Teste F de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Devido a variação observada nas alturas totais (h) das espécies, conforme a Tabela 11, optou por modelo hipsométrico individual para cada espécie para obtenção de melhores ajustes. Embora obtido valores de coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) relativamente baixos, o erro padrão da estimativa (S_{yx}) mostra que as equações estimam adequadamente os valores. Além disso, baixos valores de coeficientes de determinação ajustados são comuns para equações hipsométricas devido à baixa correlação entre altura e diâmetro Barros et al. (2002).

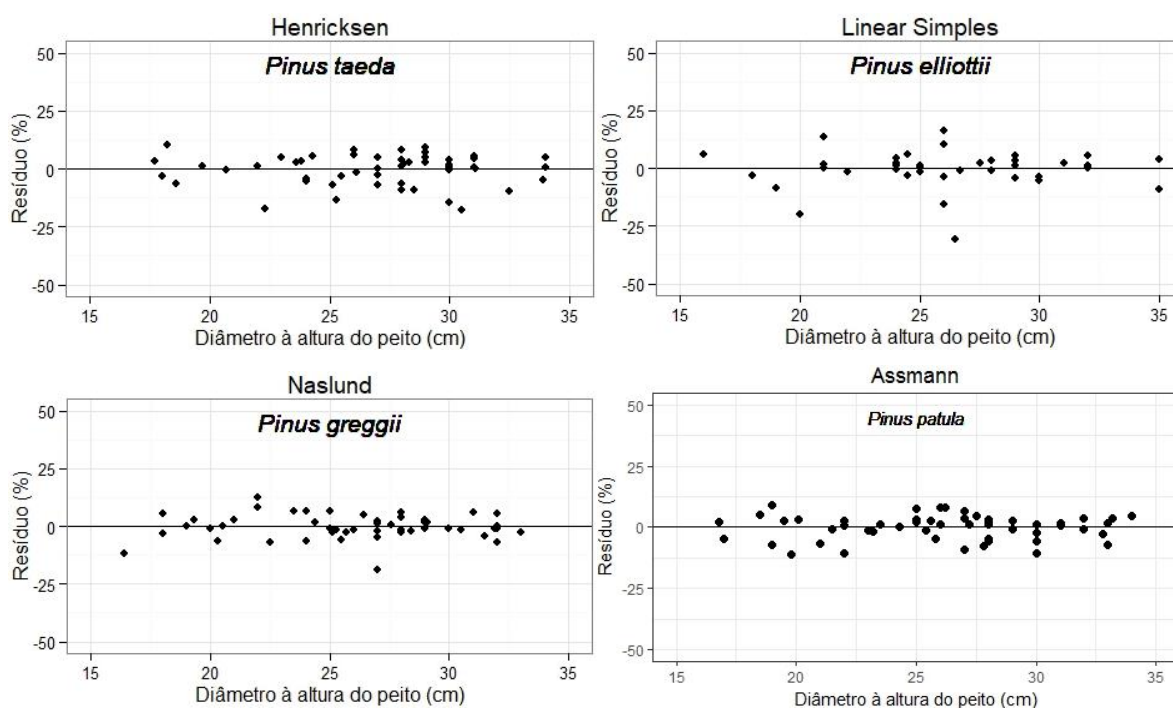
Os valores encontrados para coeficientes de determinação ajustado foram superiores a 0,28, com a exceção do modelo Linear Simples para espécie de *P. elliottii*, que obteve R^2_{aj} igual a 0,14. Os modelos apresentaram erro padrão da estimativa (S_{yx}) variando de 1,1 a 1,4 m, sendo que o modelo de Assmann para *P. patula* apresentou o menor valor; quanto ao coeficiente de variação, o menor valor observado foi nesse modelo e o maior no modelo Linear Simples de *P. elliottii*. Os demais modelos ajustados e seus valores são apresentados no Apêndices C e D.

Quando comparados os resultados do coeficiente de determinação ajustado presente em demais estudos de relação hipsométrica disponibilizados na literatura, nota-se que os valores variam respectivamente de 0,34 a 0,54 (ARAÚJO et al., 2012; DONADONI et al., 2010; DACOSTA, 2008; BARROS, 2002;)

Em relação à estatística F, este parâmetro foi significativo para todos os modelos, destacando-se o modelo Naslund para *P. greggii*, indicando que há evidências que as variáveis independentes explicam a variável dependente.

Na Figura 7, pode-se verificar o comportamento da distribuição dos resíduos entre a altura observada e a altura estimada pelas equações em função do diâmetro à altura do peito. Observa-se pela análise do gráfico que foi verificada a ausência de tendências nas estimativas das alturas e uma dispersão homogênea dos resíduos, com a amplitude de erro de $\pm 25\%$.

Figura 7 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos de relação hipsométrica testados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.5.2. Desenvolvimento da altura

As medidas de altura foram obtidas com os gráficos da extrapolação do perfil da árvore obtido pela análise de tronco ao longo dos períodos, sendo, assim, valores médios podendo levar a alguma imprecisão devido ao método. No entanto, um desenvolvimento de altura média pode ser construído para a altura total (h_t). Os valores por espécie ao longo dos anos são apresentados na Tabela 13.

Observa-se que, em geral, o aumento médio da altura anual foi de aproximadamente 1,5 m ano⁻¹ durante quase todos os anos estudados. Em todos os anos os valores encontrados apresentaram valor significativos a nível de 0,1% de probabilidade pelo Teste F.

As espécies de *P. greggii* e *P. patula* demonstram superioridade ao longo dos 12 anos. Aos 13 e 15 anos *P. patula* obteve os maiores valores considerando o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *P. taeda* em contrapartida demonstra os valores intermediário das quatro espécies ao longo dos 14 anos, diferença encontrada para *P. elliottii* que apresentou os menores valores em altura total.

Tabela 13 - Altura total (h_t) em metros durante os 14 anos de desenvolvimento das espécies.

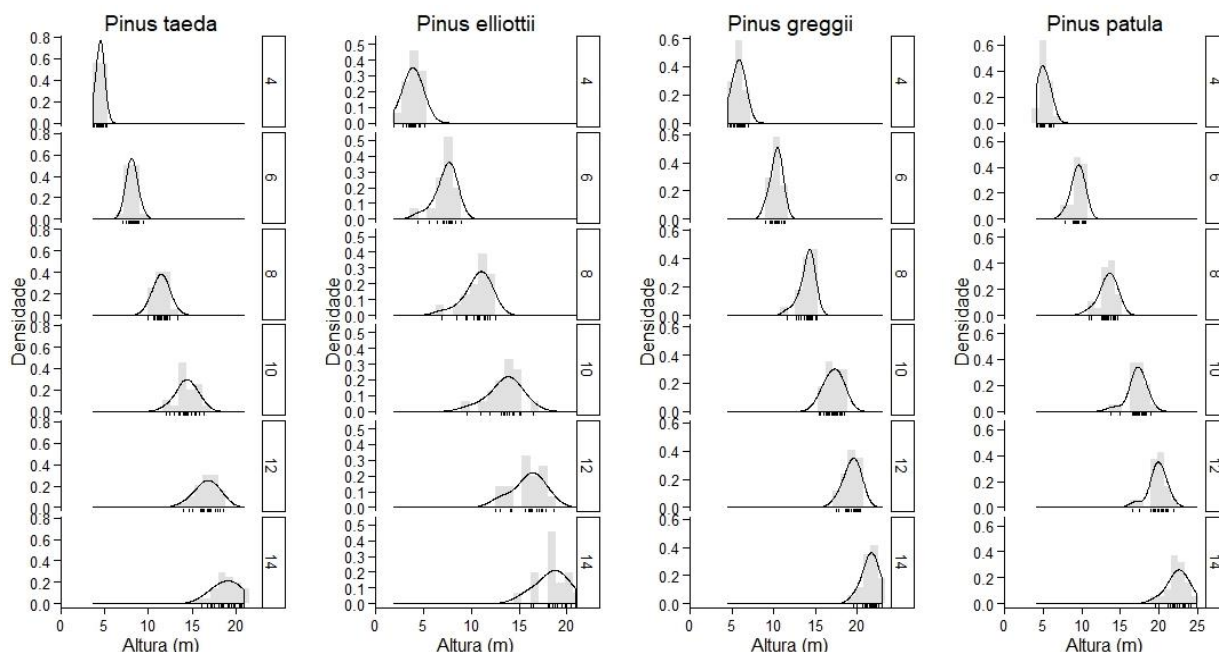
Idade (anos)	h _t (m)								Teste F
	<i>Pinus taeda</i>		<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus greggii</i>		<i>Pinus patula</i>		
3	2,7	bc	2,3	c	3,2	a	2,9	ab	***
4	4,5	b	3,9	c	5,6	a	5,1	a	***
5	6,4	b	5,6	c	7,9	a	7,4	a	***
6	8,1	c	7,3	d	10,1	a	9,5	b	***
7	9,9	b	9,1	c	12,2	a	11,5	a	***
8	11,4	b	10,6	c	13,9	a	13,4	a	***
9	12,9	b	12,1	b	15,5	a	15,4	a	***
10	14,4	b	13,5	b	16,9	a	17,3	a	***
11	15,6	b	14,7	b	18,0	a	18,6	a	***
12	16,7	b	15,9	b	19,1	a	19,9	a	***
13	18,8	c	17,1	c	20,1	b	21,2	a	***
14	20,7	c	18,8	c	22,1	b	22,8	a	***

Em que: (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; a, b, c, d: grupos do Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (linha).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na Figura 8 são ilustrados o desenvolvimento da altura total ao longo dos 14 anos com base nos dados da ANATRO em relação a densidade e a variação de altura. Observa-se que *P. taeda* apresentou os menores valores em altura total quando comparada com *P. greggii* e *P. patula*. A maior amplitude em altura total foi destacada para *P. elliottii*.

Figura 8 - Desenvolvimento da altura (h_t) em densidade aos 4, 6, 8, 10, 12 e 14 anos de idade para cada espécie.



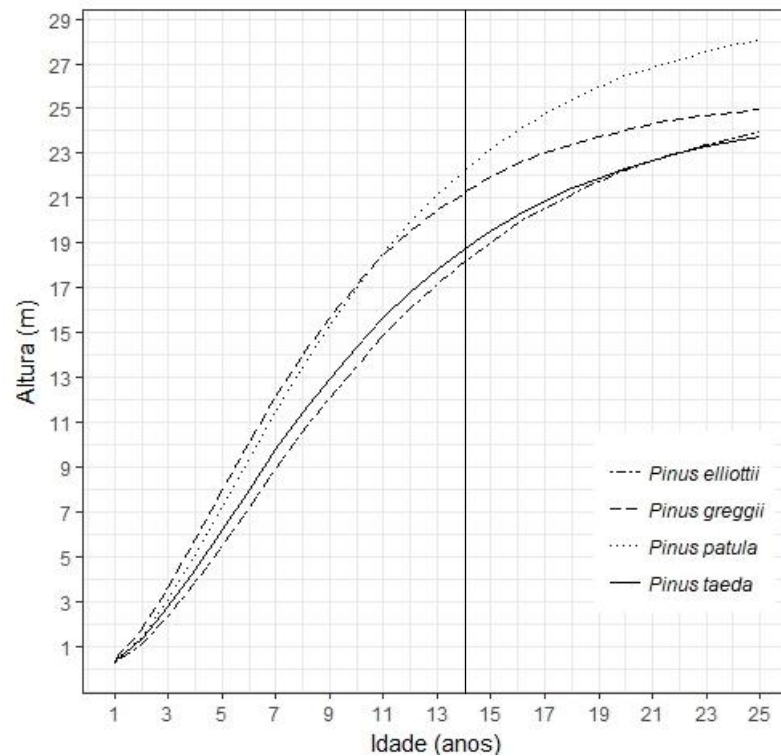
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Os valores encontrados são importantes para discutir e otimizar a entrada com tratamentos silviculturais em povoamentos, não somente em relação à idade em que se encontra, mas se tratando de altura total das espécies, importante para definir idades de poda. Dessa forma, contribuir para o planejamento das atividades em épocas coerentes com o crescimento de cada espécie.

6.5.3. Modelagem da altura

Para estimativa do desenvolvimento da altura, para as quatro espécies, o modelo de crescimento biológico de Chapman-Richards foi ajustado considerando os valores das árvores selecionadas por meio da análise de tronco. Os demais parâmetros ajustados dos modelos do subitem 5.3.4 estão contidos nos Apêndice E e F. As curvas de regressão bem como as equações ajustadas são apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Desenvolvimento da altura de acordo com a idade, para as diferentes espécies. Modelos ajustados de Chapman-Richards, mostrados abaixo:



$$Pinus\ taeda = 25,06 \left(1 - e^{2,132 \cdot I}\right)^{0,15}$$

$$R^2_{aj} = 0,965 \quad S_{yx} = 7,87 \%$$

$$Pinus\ elliottii = 25,73 \left(1 - e^{2,19 \cdot I}\right)^{0,14}$$

$$R^2_{aj} = 0,929 \quad S_{yx} = 12,78 \%$$

$$Pinus\ greggii = 25,54 \left(1 - e^{2,26 \cdot I}\right)^{0,18}$$

$$R^2_{aj} = 0,976 \quad S_{yx} = 4,39 \%$$

$$Pinus\ patula = 29,44 \left(1 - e^{2,26 \cdot I}\right)^{0,15}$$

$$R^2_{aj} = 0,971 \quad S_{yx} = 7,22 \%$$

Em que: I = idade; e = base do logaritmo natural, R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa percentual.

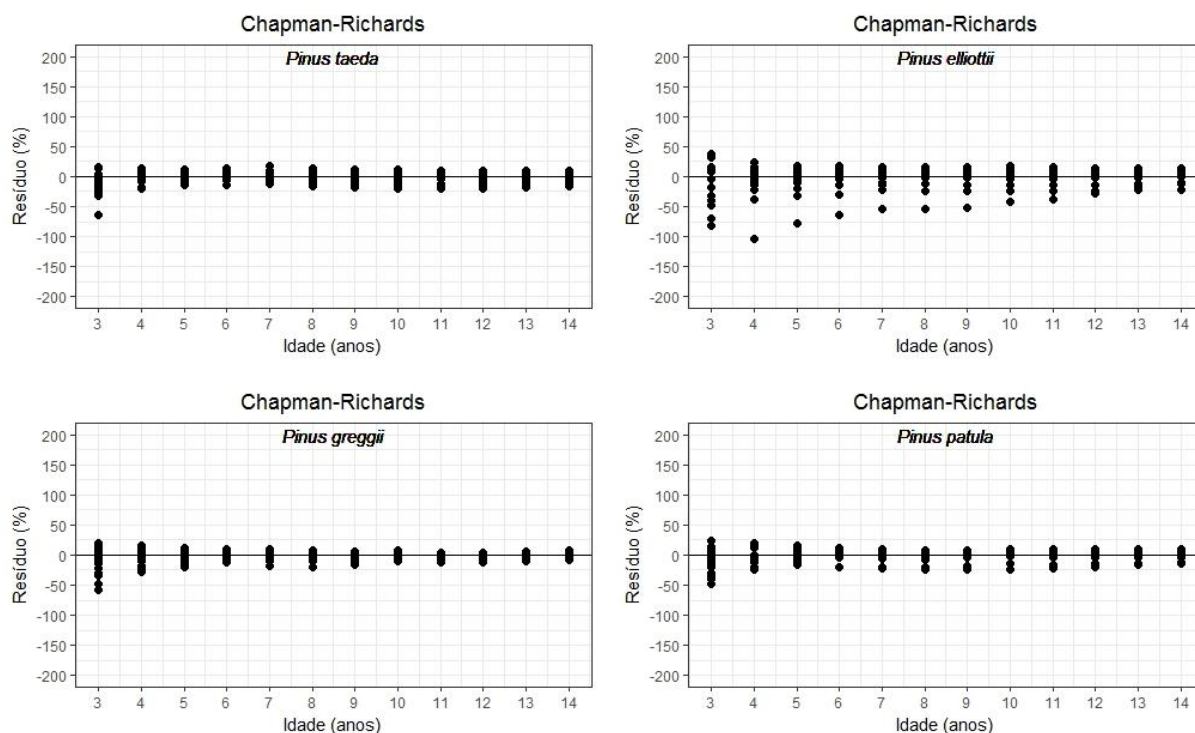
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Nota-se que o desenvolvimento da altura das espécies de *P. greggii* e *P. patula* apresenta uma taxa de crescimento notavelmente maior em comparação com as *P. taeda* e *P. elliottii*, desde os primeiros anos do povoamento.

O alto valor de coeficiente de determinação (R^2_{aj}) das diferentes equações de Chapman-Richards indica que houve menor variação dos valores, evidente para a espécie *P. greggii*, contudo os valores variaram entre 0,929 a 0,976. O erro padrão da estimativa para altura das espécies variaram de 4,39% para *P. greggii* até 12,78% para *P. elliottii*.

Na Figura 10, pode-se verificar o comportamento da distribuição dos resíduos entre a altura observada e a altura estimada pelo modelo de Chapman-Richards. Observa-se da mesma forma como diâmetro, as alturas inferiores a 5 metros correspondentes aos primeiros anos de crescimento os valores são subestimados.

Figura 10 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos Chapman-Richards para altura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Para valores superiores verifica-se a ausência de tendências nas estimativas das alturas e uma dispersão homogênea dos resíduos, com a amplitude de erro de $\pm 25\%$.

6.6. Relação h/d

A relação altura total pelo diâmetro na altura do peito é um indicador importante para conhecer a estabilidade da árvore. A razão média para todas as espécies foi de 88, variando entre 53 – 129 (Tabela 14).

Tabela 14 - Relação h/d por espécie aos 14 anos.

Espécie	h/d	
<i>Pinus greggii</i>	91	a
<i>Pinus patula</i>	97	a
<i>Pinus taeda</i>	82	b
<i>Pinus elliottii</i>	80	b
Teste F		***

Em que: (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Entre as espécies *P. greggii* e *P. patula* não apresentaram diferença significativa para relação h/d pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As espécies *P. taeda* e *P. elliottii* apresentaram valores inferiores pelo mesmo teste, não se diferenciando estatisticamente.

Não foi encontrado dados para fins de comparação na região sul do Brasil. De acordo com Burschel e Huss (2003) e Mead (2013) apud Dobner Jr. (2015), com base em dados da Europa Central, as árvores são estáveis quando relação h/d é inferior a 80. Além disso, valores superiores a 100 são consideradas árvores muito instáveis. Mead relata um limiar de 70 para *P. radiata* na Nova Zelândia, em relação ao valor médio das 200 maiores árvores ha⁻¹. Sendo que, quando a relação h/d é inferior a 70, as árvores são relativamente seguras, embora esta regra não seja absoluta, conforme o autor.

6.7. Área basal

A área basal média das espécies, aos 7 anos de idade, foi de 36,61 m² ha⁻¹, variando entre 29,21 - 38,63 m² ha⁻¹, o que mostra que o houve uma heterogeneidade entre as espécies. A área basal na idade 7, 11 e 14 anos para as diferentes espécies são apresentadas na Tabela 15.

O desenvolvimento da área basal imediatamente após a primeira intervenção de desbaste, aos 12 anos, até o período atual é mostrado na Figura 11. Para ambas as espécies a área basal foi reduzida para aproximadamente 20 m² ha⁻¹.

Tabela 15 - Área basal aos 7,11 e 14 anos de idade para as diferentes espécies.

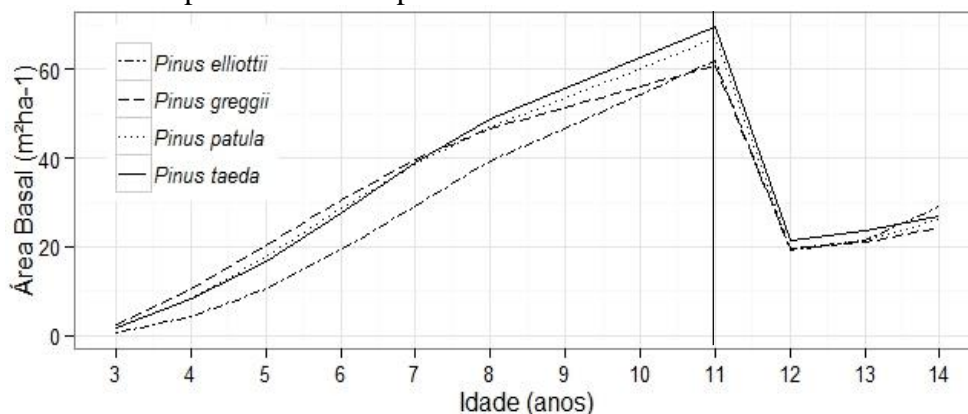
Espécie	Área basal (m ² ha ⁻¹)					
	nas idades:					
	7		11		14	
<i>Pinus greggii</i>	39,81	a	60,93	d	23,28	b
<i>Pinus taeda</i>	38,78	ab	69,55	a	24,82	a
<i>Pinus patula</i>	38,63	b	67,06	ab	22,22	c
<i>Pinus elliottii</i>	29,21	c	61,89	c	23,66	ab
Resultado estatístico	***		***		***	

Em que: (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

De acordo com a Figura 11, a área basal máxima alcançada pelas espécies foi aos 11 anos previamente ao primeiro desbaste em que *P. taeda* atingiu valores próximo a 70 m² ha⁻¹, seguido de *P. patula* com 67 m² ha⁻¹, *P. elliottii* com 62 m² ha⁻¹ e *P. greggii* com 61 m² ha⁻¹.

Figura 11 - Desenvolvimento da área basal dos 3 aos 14 anos considerando primeiro desbaste aos 12 anos para ambas as espécies.



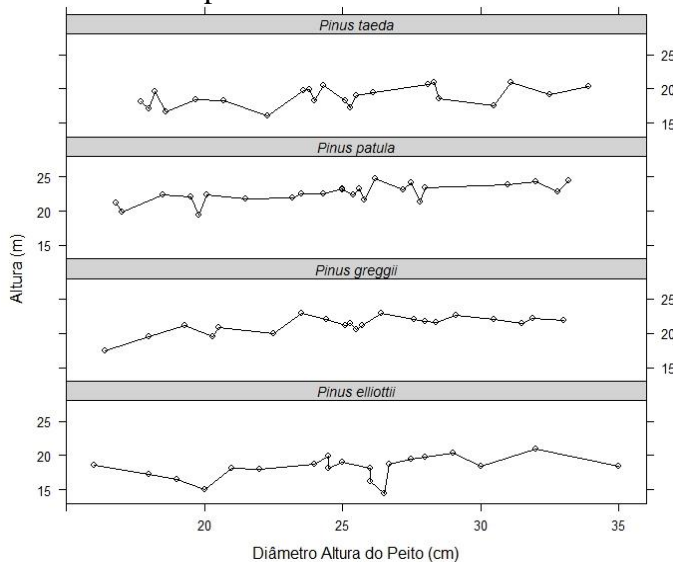
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Dobner Jr. (2015) apresentou em estudo de diferentes intensidades de desbaste com *P. taeda*, valores máximos de área basal atingido aos 22 anos de $71,7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ em tratamento sem desbaste. No entanto, valores semelhantes ao apresentado são encontrados aos 13 anos equivalente a $69,1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, desde então, nenhum aumento substancial foi observado pelo autor algo semelhante ao apresentado na Figura 11. Schneider et al. (2013), estudando autodesbaste em povoamentos de *P. taeda* L., manejado em densidade completa, relata um valor máximo de área basal de $78 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ aos 18 anos.

6.8. Volume

De forma a caracterizar as árvores amostradas na cubagem, que foram utilizadas nos cálculos subsequentes, as quatro espécies foram distribuídas em relação ao diâmetro-altura na Figura 12. A espécie *P. elliottii* possui maior amplitude diamétrica, variando de 16 a 35 cm.

Figura 12 - Relação diâmetro-altura para as árvores cubadas nas diferentes espécies.



6.8.1. Volume individual

Em experimentos ou povoamentos não é possível realizar a cubagem de cada indivíduo para obter seu volume. Para isso, a análise do volume individual e a quantificação de volume total produzido exigem ajuste de modelos matemáticos. O mais usado é o ajuste de modelos que podem estimar, neste caso, volume individual, com a ajuda de variáveis de fácil obtenção: diâmetro à altura do peito e altura total, dessa forma os volumes para as demais árvores podem ser estimados com precisão.

Os modelos de volume individuais foram ajustados com dados de diâmetro (d_p) e altura total (h_t) pareados obtidos na cubagem para cada espécie aos 14 anos. O resultado do melhor modelo ajustado para cada espécie é mostrado na Tabela 16. Os resultados obtidos para os outros modelos são apresentados no Apêndices G e H.

Tabela 16 - Melhores modelos e estatísticas para relações volumétricas de cada espécie.

Nº	Espécie	Autor	$R^2_{aj.}$	S_{yx} (m³)	S_{yx} (%)	F
7	<i>Pinus taeda</i>	Naslund	0,978	0,026	5,60	933,14
1	<i>Pinus elliottii</i>	Spurr I	0,970	0,029	6,83	616,96
8	<i>Pinus greggii</i>	Naslund Modificado	0,971	0,033	6,66	682,17
3	<i>Pinus patula</i>	Spurr II	0,917	0,044	9,58	223,88

Em que: $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} (m³): erro padrão de estimativa em metro cubico; S_{yx} (%): erro padrão da estimativa em percentual; F: Teste F de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na Figura 13, nota-se a forte influência do diâmetro em relação ao volume da árvore. O gráfico residual mostra que a estimativa não apresentou qualquer viés relevante para ambas as espécies ($\pm 20\%$), proporcionando assim uma estimativa satisfatória quando a variável independente é mantida dentro dos intervalos dos dados utilizados para estimar os parâmetros do modelo, sendo, diâmetro à altura do peito de 15 a 35 cm.

O volume médio individual aos 14 anos foi de aproximadamente 0,45 m³ para ambas as espécies, variando de 0,426 para *P. elliottii* a 0,491 m³ para *P. patula* (Tabela 17). Nessa idade, as espécies não demonstraram diferenças significativas pelo teste F. Isso está atrelado ao nível de competição em que as espécies estão condicionadas, promovendo uma desaceleração do crescimento dos indivíduos.

Tabela 17 - Média do volume individual e percentual respectivo em relação ao *Pinus taeda*.

Espécie	<i>v_i</i> 8 anos		<i>v_i</i> 14 anos		
	m³	%	m³	%	
<i>Pinus greggii</i>	0,188	a	135,3	0,477	110,9
<i>Pinus patula</i>	0,158	ab	113,7	0,491	114,2
<i>Pinus taeda</i>	0,139	bc	100	0,430	100
<i>Pinus elliottii</i>	0,111	c	79,9	0,426	99,1
Resultado Estatístico	***		n.s.		

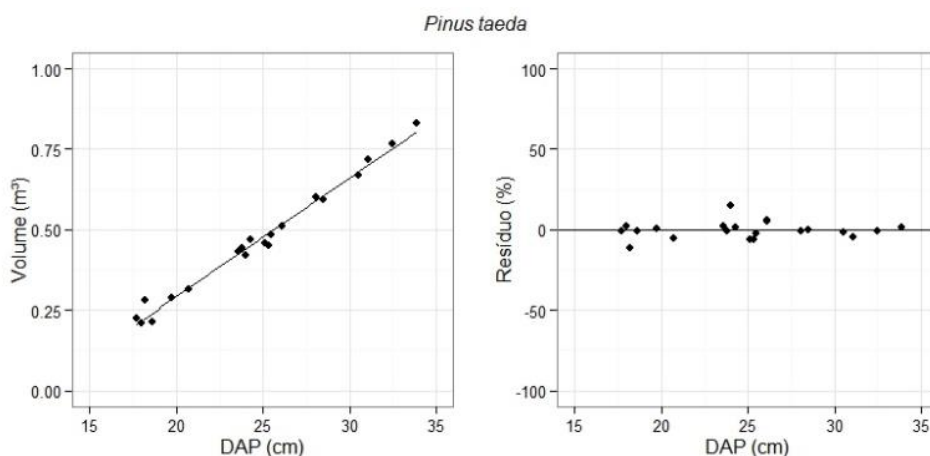
Em que: (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Quando analisado aos 8 anos as espécies apresentaram diferenças significativas pelo teste F. Pelo Teste Tukey, as espécies de *P. greggii* e *P. patula*, alcançaram, valores estatisticamente superiores as demais. Ao comparar com *P. taeda*, essas espécies apresentaram percentuais superiores de 35,3% e 13,7%, respectivamente. A espécie de *P. elliottii* apresentou uma redução 20,1% no volume individual para a mesma idade quando comparado com *P. taeda*.

Resultado semelhante pode ser observado no estudo de Thomas et al. (2006), ao ajustar nove modelos volumétricos para *P. taeda*, contudo o R² ajustado variou de 0,93 e 0,99 e o Syx% de 9,05 a 23,25%. Existe um consenso por parte dos pesquisadores no meio florestal, que ao ajustar modelos para obtenção do volume, valores de Coeficiente de Determinação Ajustados (R²_{aj}) superiores a 0,95 e Erro Padrão da Estimativa em porcentagem inferior (S_{yx}%) a 10%, são considerados adequados, porém quanto maior o R² e menor o S_{yx}% maior a eficiência e a adequabilidade do modelo Thomas et al. (2006).

Figura 13 - Volume individual observado com curva de regressão (linha) para o melhor modelo em cada espécie e resíduos estimados. Equação ajustada apresentada abaixo.

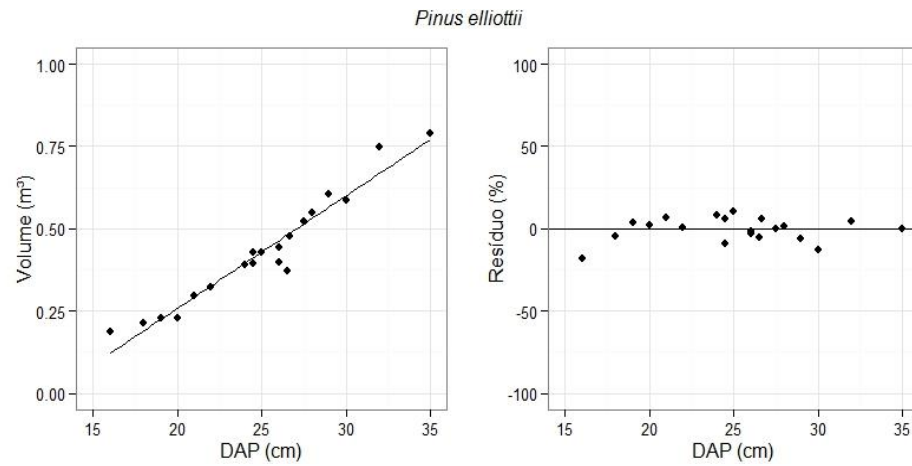


$$v_i = -0,640 + 0,001(d)^2 - 0,00002(d^2 h_t) + \varepsilon_i$$

R²_{aj} = 0,978 S_{yx} = 5,60 %

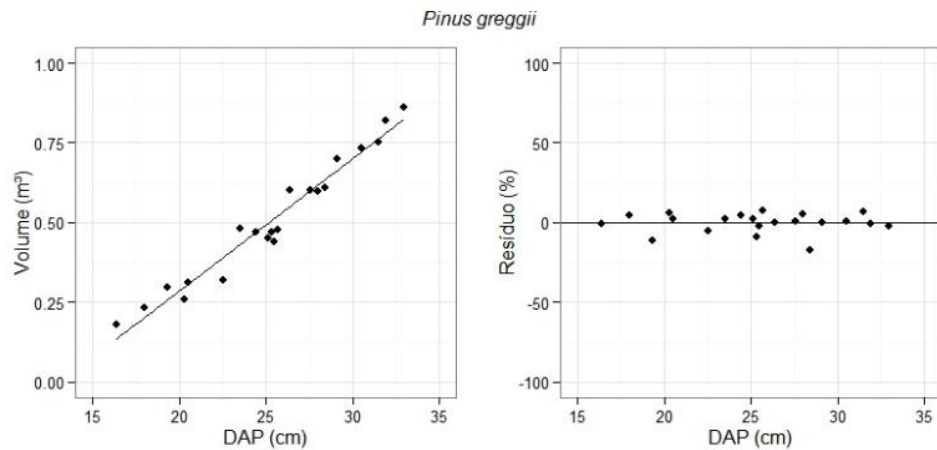
Continuação...

Continuação...



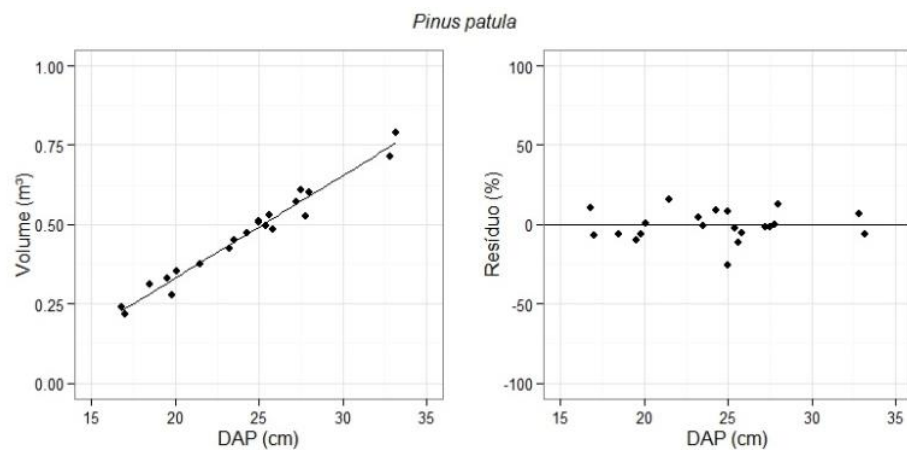
$$v_i = 0,027 + 0,00003 (d^2 h_t) + \varepsilon_i$$

$$R^2_{aj} = 0,970 \quad S_{yx} = 6,83 \%$$



$$v_i = 2,710 + 0,001 (d^2) - 0,365 \ln(d^2 h_t) + 0,00005 (d h_t^2) + 0,0002 h_t + \varepsilon_i$$

$$R^2_{aj} = 0,971 \quad S_{yx} = 6,66 \%$$



$$v_i = -0,191 + 0,001 (d h_t) + \varepsilon_i$$

$$R^2_{aj} = 0,917 \quad S_{yx} = 9,58 \%$$

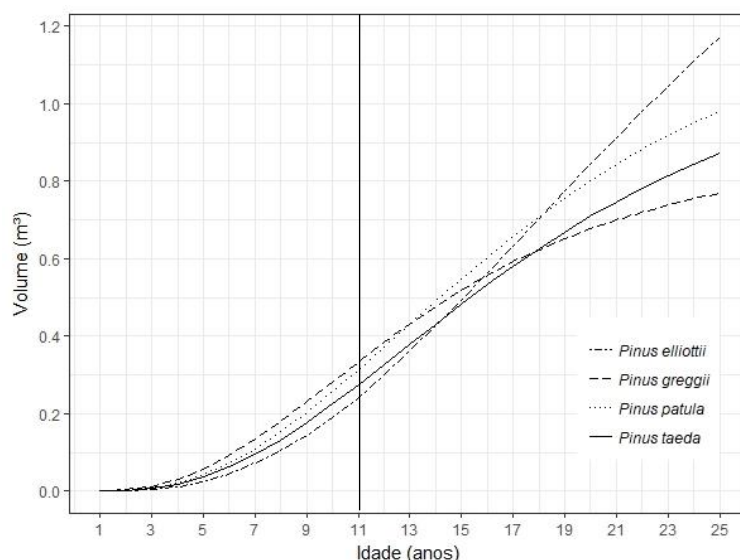
Em que: v_i = volume individual (m³); \ln = logaritmo neperiano; d = diâmetro medido a 1,3 m do solo (cm); h_t = altura do fuste (m); e ε_i = erro aleatório.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.8.2. Modelagem do volume individual

Para estimativa do desenvolvimento do volume individual, para as quatro espécies, o modelo de crescimento biológico de Chapman-Richards foi ajustado considerando os valores obtidos por meio da análise de tronco. Os demais parâmetros ajustados dos modelos do subitem 5.3.4 está contido nos Apêndice I. As curvas de regressão e as equações ajustadas são mostradas na Figura 14, bem como os gráficos dos resíduos são apresentados na Figura 15.

Figura 14 - Desenvolvimento do volume individual de acordo com a idade, para as diferentes espécies. Curvas ajustadas pelo modelo de crescimento Chapman-Richard, mostrados abaixo:



$$Pinus\ taeda = 1,14 \left(1 - e^{3,99 \cdot I}\right)^{0,11}$$

$$R^2_{aj} = 0,730 \quad S_{yx} = 46,90 \%$$

$$Pinus\ elliottii = 2,19 \left(1 - e^{3,88 \cdot I}\right)^{0,08}$$

$$R^2_{aj} = 0,731 \quad S_{yx} = 51,43 \%$$

$$Pinus\ greggii = 0,86 \left(1 - e^{4,03 \cdot I}\right)^{0,14}$$

$$R^2_{aj} = 0,680 \quad S_{yx} = 47,66 \%$$

$$Pinus\ patula = 1,27 \left(1 - e^{3,98 \cdot I}\right)^{0,11}$$

$$R^2_{aj} = 0,734 \quad S_{yx} = 43,15 \%$$

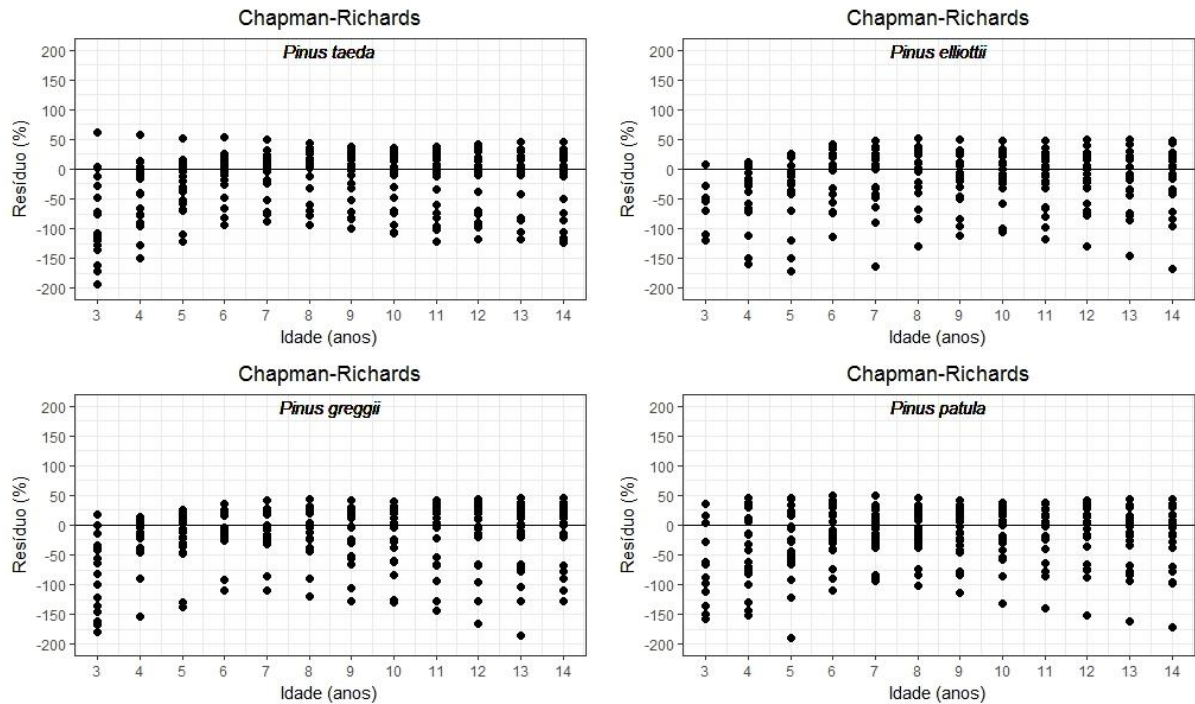
Em que: I = idade; e = base do logaritmo natural, R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = coeficiente de determinação percentual.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na Figura 14, nota-se que o desenvolvimento do volume individual para as espécies apresenta diferenças ao longo da prognose. Aos 8 anos o *P. greggii* demonstra volume superior ao demais chegando a ser o dobro quando comparado ao *P. elliottii*. Contudo, cada espécie assume uma forma de crescimento, sendo, o *P. elliottii* a espécie que nas idades iniciais detinha

os menores volumes, porém, aos 25 anos demonstrou ser a espécie que tem a capacidade de obter o maior ganho em volume seguido de *P. patula*, *P. taeda* e *P. greggii*.

Figura 15 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos Chapman-Richards para volume individual.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.8.3. Volume ha^{-1}

O volume total por ha foi definido a partir da quantificação dos volumes de cada segmento das árvores, considerando toras com comprimento de 2,5 m, que foram obtidos por meio de modelos de afilamento ajustados.

Os modelos ajustados e os gráficos de resíduos são apresentados no Apêndice J e K. A soma de todos os segmentos resultou em volumes de árvores individuais, que foram transformados para hectare de acordo com a área de cada espécie. Método semelhante utilizado por Dobner Jr. (2014).

Os valores de diâmetro em diferentes alturas foram estimados com o modelo de Hradetzky para ambas as espécies, conforme Tabela 18, em que são apresentados os coeficientes e estatísticas.

Na Figura 16, o afilamento foi mais abrupto na base da árvore. Entre 25-50% da altura total da árvore, a tendência tornou-se mais suave. Então, dos 50-100%, o afilamento novamente aumentou isso ocorre para ambas as espécies.

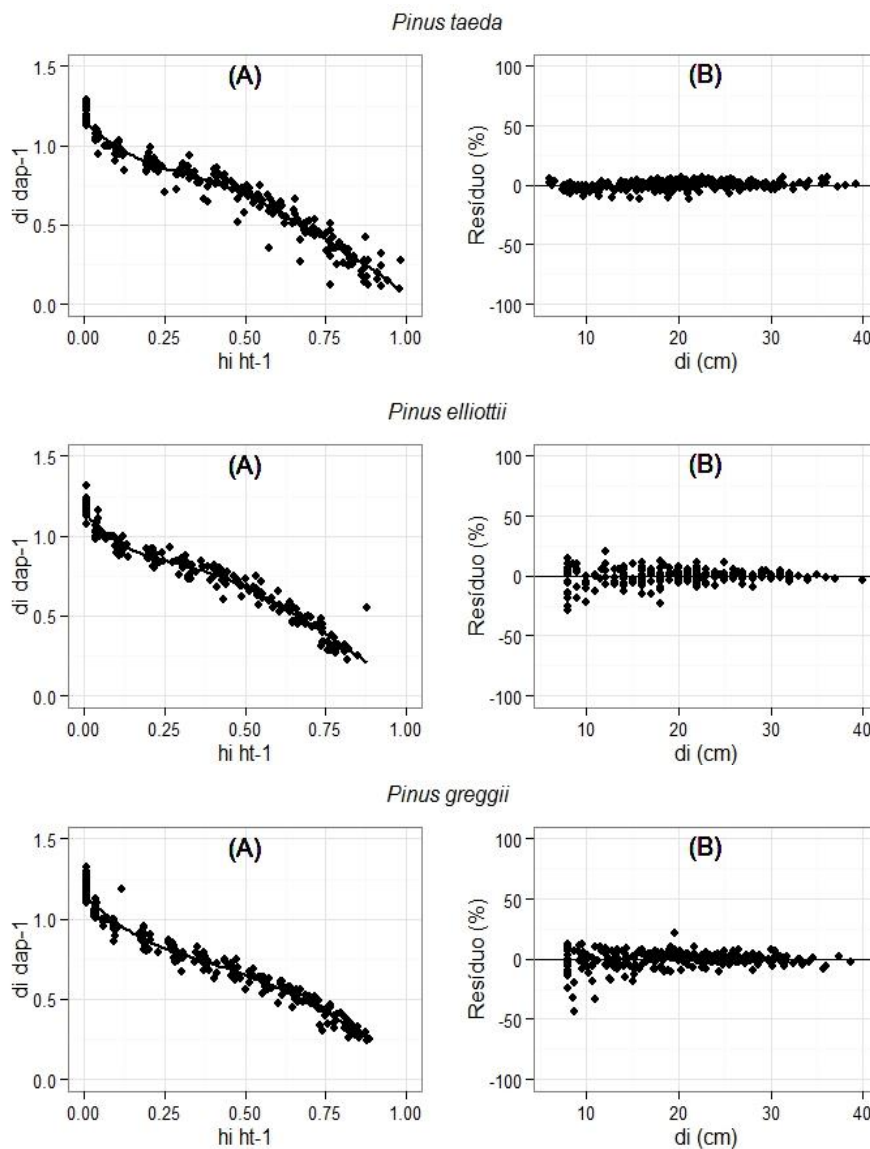
Tabela 18 - Melhores modelos e estatísticas para afilamento de cada espécie.

Espécie	Coeficientes						$R^2_{aj.}$	S_{yx} (cm)	S_{yx} (%)
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
<i>Pinus taeda</i>	1,317	1,942	-1,424	-0,054	-1,843	0,292	0,97	1,47	7,78
	Potências:	0,9	2	3	0,5	25			
<i>Pinus elliottii</i>	15,139	-0,116	-0,450	-4,776	-14,327	10,014	0,98	1,05	5,33
	Potências:	0,9	2	10	0,005	25			
<i>Pinus greggii</i>	1,413	-0,281	-0,603	-3,699	3,312	-0,301	0,98	1,46	7,61
	Potências:	0,9	2	0,4	0,5	25			
<i>Pinus patula</i>	26,364	0,158	-0,564	-1,625	-25,745	2,611	0,96	1,55	8,15
	Potências:	0,9	2	10	0,005	25			

Em que: Potências: Potências utilizadas no modelo ajustado.

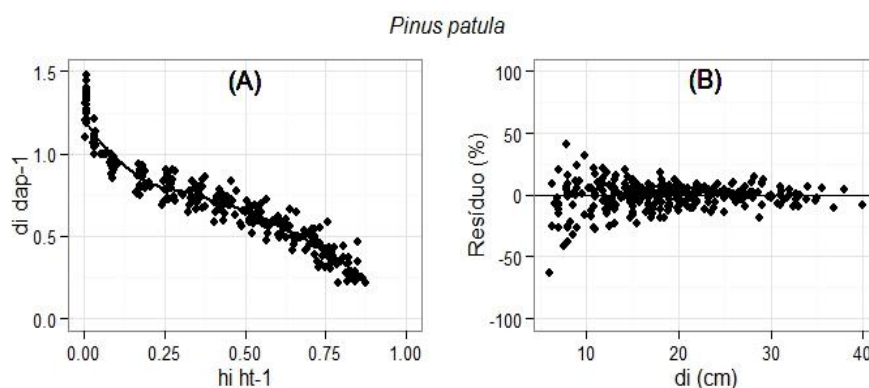
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 16 – di x dap observados (círculos) e afilamento estimado da espécie (linha) para equação Hradetzky aos 14 anos (A). Gráfico de resíduos para equação (B).



Continuação...

Continuação...



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Pode ser visto no gráfico residual (Figura 16), que a equação ajustada confere estimativas precisas acima de 8 cm de diâmetro, enquanto que a valores menores as estimativas atingem erros padrão acima de 50%. Embora o fato possa gerar argumentos para ineficiência da equação, é importante que esses diâmetros são não comerciais, sendo desprezados na análise.

Draper e Smith (1966) relatam que a análise gráfica de resíduos é requisito fundamental na escolha de uma equação de regressão, principalmente na predição florestal, sendo que, erros de tendência podem ocorrer, sem ser detectados pelas estatísticas que medem a exatidão.

Outro motivo pela qual a quantificação dos volumes não considerou diâmetros inferiores a 8 cm, foi a difícil utilização dessa classe de diâmetro, uma vez que operacionalmente pode ser perdido no momento da queda da árvore inviabilizando o corte e transporte desse material.

A produção de volume total durante o período analisado compreende o volume das árvores em pé e o volume colhido no primeiro desbaste. O volume extraído aos 11 anos no primeiro desbaste é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Volume extraído no primeiro desbaste aos 11 anos, volume aos 14 anos, volume total por espécie e incremento médio anual (IMA) aos 14 anos para as espécies.

Espécie	Volume (m ³ ha ⁻¹)		Volume total (m ³ ha ⁻¹)		IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
	11*	%	14**	%	***	%
<i>Pinus taeda</i>	234,7	100,0	337,8	100,0	572,4	100,0
<i>Pinus elliottii</i>	207,4	88,3	340,9	100,9	548,3	95,78
<i>Pinus greggii</i>	287,2	122,4	323,8	95,9	611,0	106,7
<i>Pinus patula</i>	270,0	115,1	352,2	104,3	622,3	108,7

* Volume retirado no primeiro desbaste aos 11 anos;

** Volume remanescente das árvores aos 14 anos;

***: Volume retirado no primeiro desbaste aos 11 anos + volume remanescente das árvores aos 14 anos;

O incremento anual médio (IMA), apresentado na Tabela 19, mostra uma tendência idêntica à verificada para o volume total produzido. Sua avaliação, no entanto, é importante para dar uma ideia sobre o potencial de produção do sítio. As espécies de *P. greggii* e *P. patula* apresentam valores semelhantes, bem como *P. taeda* e *P. elliottii*.

De acordo com ACR (2016), o incremento médio anual no Brasil dispõe de elevados índices de produtividade, comparativamente aos países com ampla tradição florestal, varia entre 30-42 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para o gênero *Pinus*. Em Santa Catarina dispondo de condições de solo e de clima favoráveis aliados ao conhecimento amplo das regiões e tecnologias adequadas a produtividade atinge 44 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em grandes empresas florestais no estado.

6.9. LARGURA DO ANEL AFETADO PELO DESBASTE

Os dados obtidos a partir das medidas dos anéis permitiram uma avaliação detalhada da taxa de crescimento das árvores para as diferentes espécies. Os valores da largura dos anéis estão apresentados conforme altura de coleta das amostras, sendo: a) altura absoluta: diâmetro altura do colo 0,1m e diâmetro à altura do peito (1,3 m); e b) altura relativa: 25, 50, 75 e 100% da altura comercial encontrada aos 14 anos.

6.9.1. Diâmetro altura do colo: 0,1m

As larguras dos anéis em altura absoluta de 0,1 m são apresentadas na Tabela 20. As espécies apresentaram uma taxa de crescimento diferente dos 2-4 anos. Aos 5 anos, os valores da largura do anel foram semelhantes para ambas as espécies, aproximadamente, 14 a 15 mm, o que significa uma taxa de crescimento do diâmetro superior a 3 cm. Após os 5 anos de idade, as espécies apresentam diferenças significativas a nível de 0,1 e 1% de probabilidade.

Um ano após o período de intervenção, a taxa de crescimento entre as espécies diferiu substancialmente. A espécie de *P. elliottii* apresentou, nesse período, o melhor desenvolvimento conforme Figura 17.

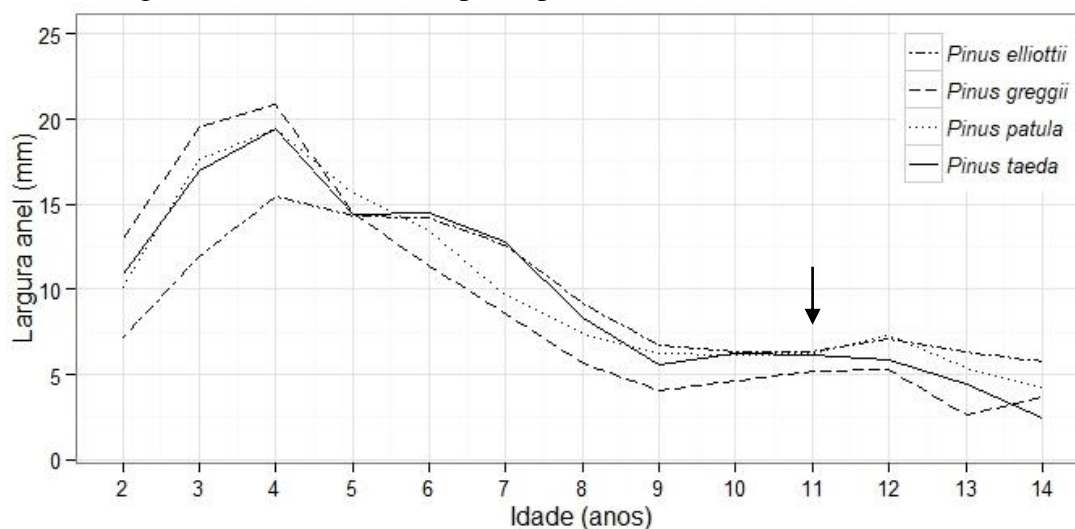
Tabela 20 - Largura dos anéis em altura absoluta de 0,1m por espécie nas idades.

IDADE anos	0,1 m LARGURA DO ANEL (mm)				TESTE F
	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus greggii</i>	
2	10,9 a	7,2 b	10,1 ab	13,0 a	***
3	17,0 a	11,9 b	17,6 a	19,5 a	***
4	19,4 a	15,4 b	19,4 a	20,9 a	**
5	14,4	14,3	15,6	14,5	n.s.
6	14,5 a	14,2 ab	13,5 ab	11,4 b	*
7	12,8 a	12,6 ab	9,7 bc	8,6 c	**
8	8,3 ab	9,2 a	7,4 ab	5,7 b	*
9	5,6 ab	6,7 a	6,2 ab	4,1 b	*
10	6,2	6,3	6,1	4,6	n.s.
11	6,1	6,3	6,2	5,2	n.s.
12	5,9	7,1	7,3	5,3	n.s.
13	4,4 ab	6,3 a	5,4 ab	2,6 b	**
14	2,4 b	5,8 a	4,2 c	3,7 c	***
CASCA	12,9 bc	11,6 c	15,3 ab	17,3 a	***

Em que: (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 17 - Largura do anel anual (mm) por espécie na altura absoluta de 0,1 m.



*A seta indica o ano em que ocorreu desbaste.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

No período que antecede o primeiro desbaste, 10 anos, até um ano após a intervenção, 12 anos, as espécies não obtiveram diferenças significativas, sendo, indicativo da competição entre as árvores.

6.9.2. Diâmetro à altura do peito: 1,3 m

Os valores dos anéis em largura na altura de 1,3m são mostrados na Tabela 21.

Tabela 21 - Largura dos anéis em altura absoluta de 1,3 m por espécie nas idades.

IDADE anos	1,3 m LARGURA DO ANEL (mm)				TESTE F
	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus greggii</i>	
2	5,5	3,3	3,6	4,5	n.s.
3	12,4 a	6,6 b	11,2 a	14,1 a	***
4	19,1 ab	15,5 b	19,6 a	22,5 a	***
5	14,7	14,0	16,0	16,3	n.s.
6	13,7	13,6	14,0	13,1	n.s.
7	11,4	11,9	10,5	9,6	n.s.
8	8,9 ab	10,2 a	7,9 ab	6,5 b	**
9	5,6 ab	6,7 a	5,5 ab	4,1 b	*
10	5,1	5,9	5,0	4,0	n.s.
11	4,9	5,5	5,4	4,0	n.s.
12	4,8	6,2	5,8	4,2	n.s.
13	4,2 ab	5,6 a	4,8 ab	2,8 b	*
14	2,7 b	4,8 a	4,2 a	3,4 b	***
CASCA	8,8 b	9,6 ab	7,5 b	11,4 a	**

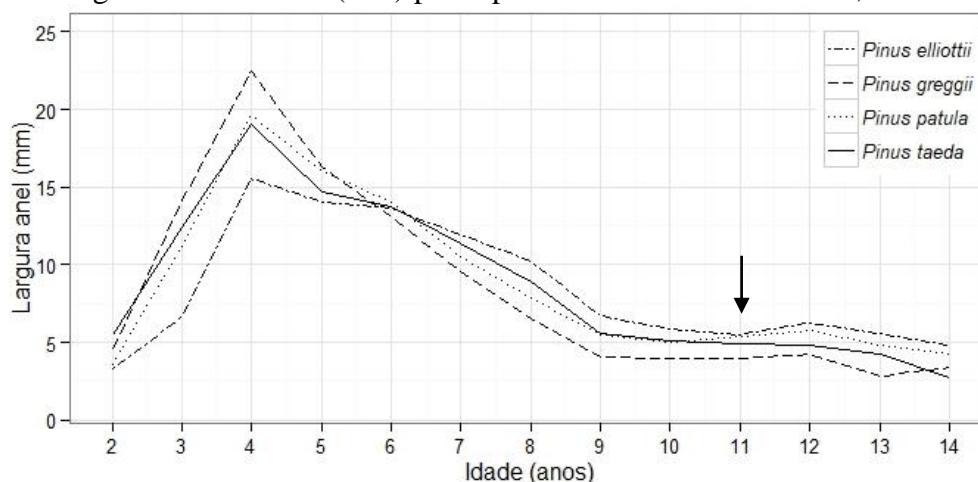
Em que: (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Todas as espécies apresentaram uma taxa de crescimento semelhante até o segundo ano. Aos 3 e 4 anos, o menor valor da largura do anel foi observado para a espécie de *Pinus elliottii* com aproximadamente 6,6 e 15,5 cm, respectivamente. Após os 4 anos de idade, as espécies apresentam uma diminuição da taxa de crescimento, indicando que a competição entre as árvores já havia começado. Contudo, aos 8 e 9 anos de idade, *P. elliottii* apresenta valores superiores, porém, não diferindo estatisticamente de *P. taeda* e *P. Patula*. Aos 10 e 11 anos de idade a competição entre as árvores estabiliza as taxas de crescimento.

Um ano após o período da intervenção do primeiro desbaste, as espécies não apresentaram resposta ao crescimento. As taxas de crescimento retomam após o segundo ano da intervenção, 13 anos, em que *P. elliottii* apresenta os maiores valores. O mesmo ocorre aos 14 anos de idade em que *P. patula* apresenta taxas de crescimento similares conforme apresentado na Tabela 21 e Figura 18.

Figura 18 - Largura do anel anual (mm) por espécie na altura absoluta de 1,3m.



*A seta indica o ano em que ocorreu desbaste.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.9.3. Altura relativa: 25%

Os valores da largura do anel com 25% da altura comercial iniciam aos 4 anos de idade para ambas as espécies e são mostrados na Tabela 22.

Tabela 22 - Largura dos anéis em 25% da altura comercial por espécie nas idades.

IDADE anos	25% LARGURA DO ANEL (mm)				TESTE F
	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus greggii</i>	
4	7,7 ab	5,7 b	7,2 ab	10,7 a	*
5	15,1 bc	12,7 c	16,3 b	19,4 a	***
6	15,9	15,8	17,9	17,0	n.s.
7	13,7	14,9	15,1	13,6	n.s.
8	11,0	11,6	10,4	9,5	n.s.
9	7,4	8,3	7,2	6,2	n.s.
10	6,4	6,9	6,0	5,0	n.s.
11	6,1	6,3	6,1	4,7	n.s.
12	6,2	6,9	6,2	4,5	n.s.
13	5,6 ab	6,1 a	5,0 ab	2,7 b	*
14	4,3 ab	5,5 a	4,5 ab	3,5 b	**
CASCA	6,6 a	7,2 a	3,1 b	5,6 a	***

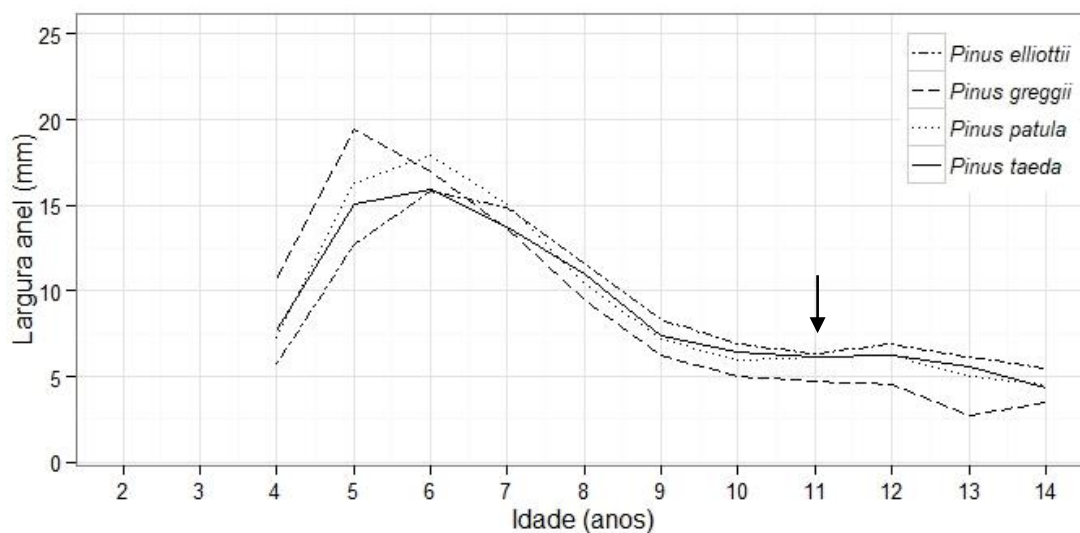
Em que: (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As espécies apresentaram diferentes taxas de crescimento para largura do anel dos 4 aos 5 anos de idade, com 5% e 0,1%, respectivamente, de nível significância pelo Teste F. Dos 6 aos 12 anos de idades, as espécies não apresentaram diferenças significativas, ou seja, a

competição entre as árvores não proporcionou taxas de crescimento superiores entre as espécies a 25% da altura comercial.

Figura 19 - Largura do anel anual (mm) por espécie em 25% da altura comercial.



*A seta indica o ano em que ocorreu desbaste.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Dois anos após o período da intervenção, as espécies apresentaram resposta ao crescimento, podendo ser observado na Figura 19 em que os valores da largura do anel tentem a estabilizar após o período de intervenção.

6.9.4. Altura relativa: 50%

Os valores da largura do anel com 50% da altura comercial iniciam aos 5 anos de idade para ambas as espécies e são mostrados na Tabela 23 e Figura 20. As diferenças entre as espécies para a largura do anel foram observadas em dois intervalos: período que antecede o início da competição entre as espécies, sendo dos 5 aos 7 anos de idade, e logo após ao primeiro desbaste, dos 12 aos 14.

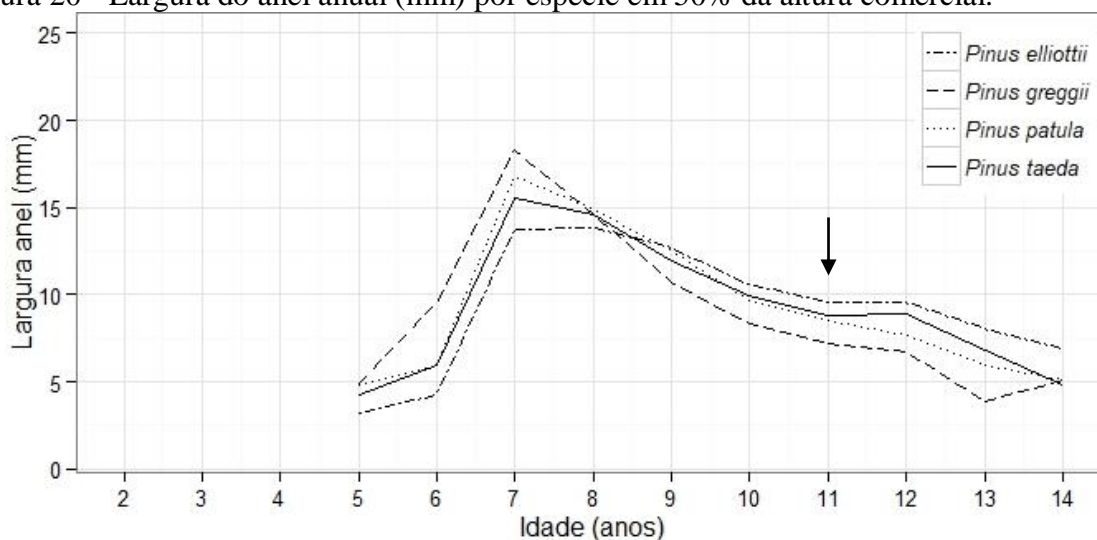
Tabela 23 - Largura dos anéis em 50% da altura comercial por espécie nas idades.

IDADE anos	50% LARGURA DO ANEL (mm)								TESTE F
	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				
5	4,2	a	3,2	b	4,8	a	4,9	a	**
6	6,0	b	4,2	b	6,0	b	9,6	a	***
7	15,5	bc	13,7	c	16,8	ab	18,3	a	***
8	14,6		13,8		14,9		14,6		n.s.
9	11,9		12,7		12,5		10,7		n.s.
10	9,9		10,6		9,7		8,3		n.s.
11	8,8		9,6		8,5		7,2		n.s.
12	8,9	ab	9,6	a	7,7	ab	6,7	b	*
13	6,8	ab	8,0	a	6,0	ab	3,9	b	*
14	4,8	b	6,9	a	5,1	ab	5,1	b	**
CASCA	3,8	b	5,3	a	2,3	c	2,9	bc	***

Em que: (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 20 - Largura do anel anual (mm) por espécie em 50% da altura comercial.



*A seta indica o ano em que ocorreu desbaste.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.9.5. Altura relativa: 75%

Os valores da largura do anel com 75% da altura comercial iniciam aos 7 anos de idade para as espécies e são mostrados na Tabela 24 e Figura 21. As diferenças entre as espécies para a largura do anel foram observadas em dois intervalos: período que antecede o início da competição entre as espécies, sendo dos 7 aos 8 anos de idade, e logo após ao primeiro desbaste, dos 12 aos 14 anos de idade.

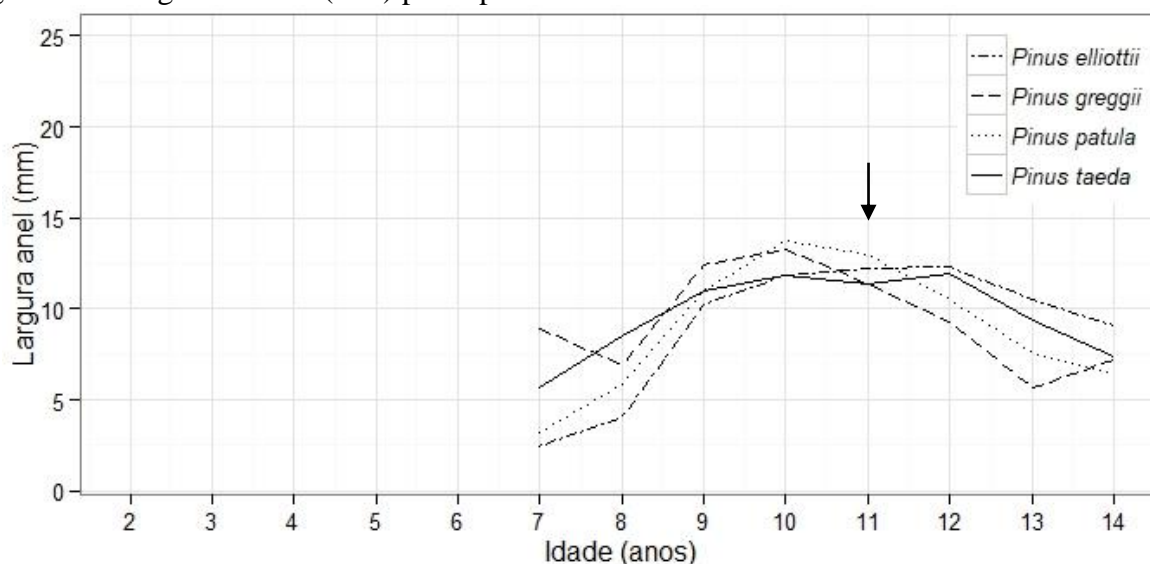
Tabela 24 - Largura dos anéis em 75% da altura comercial por espécie nas idades.

IDADE anos	75% LARGURA DO ANEL (mm)				TESTE F
	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus greggii</i>	
7	5,7 ab	2,4 b	3,2 b	8,9 a	**
8	8,5 a	4,1 b	5,9 ab	6,9 ab	*
9	11,0	10,2	11,0	12,4	n.s.
10	11,8	11,8	13,7	13,3	n.s.
11	11,4	12,2	13,0	11,4	n.s.
12	11,9 ab	12,3 a	10,5 ab	9,3 b	*
13	9,4 ab	10,5 a	7,6 b	5,7 b	**
14	7,4 ab	9,1 a	6,4 b	7,2 b	**
CASCA	2,7 b	5,0 a	1,9 b	2,0 b	***

Em que: (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 21 - Largura do anel (mm) por espécie em 75% da altura comercial.



*A seta indica o ano em que ocorreu desbaste.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.9.6. Altura relativa: 100%

Os valores da largura do anel com 100% da altura comercial iniciam aos 10 anos de idade para as espécies e são apresentados na Tabela 25 e Figura 22. Não foi verificado diferenças significativas entre as espécies para a largura do anel dos 10 aos 11 anos de idade. Aos 12 anos *P. taeda* apresentou o maior valor em largura do anel, porém, não diferindo estatisticamente de *P. patula*. Durante o segundo e terceiro ano após o primeiro desbaste, não foram encontradas diferenças significativas pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

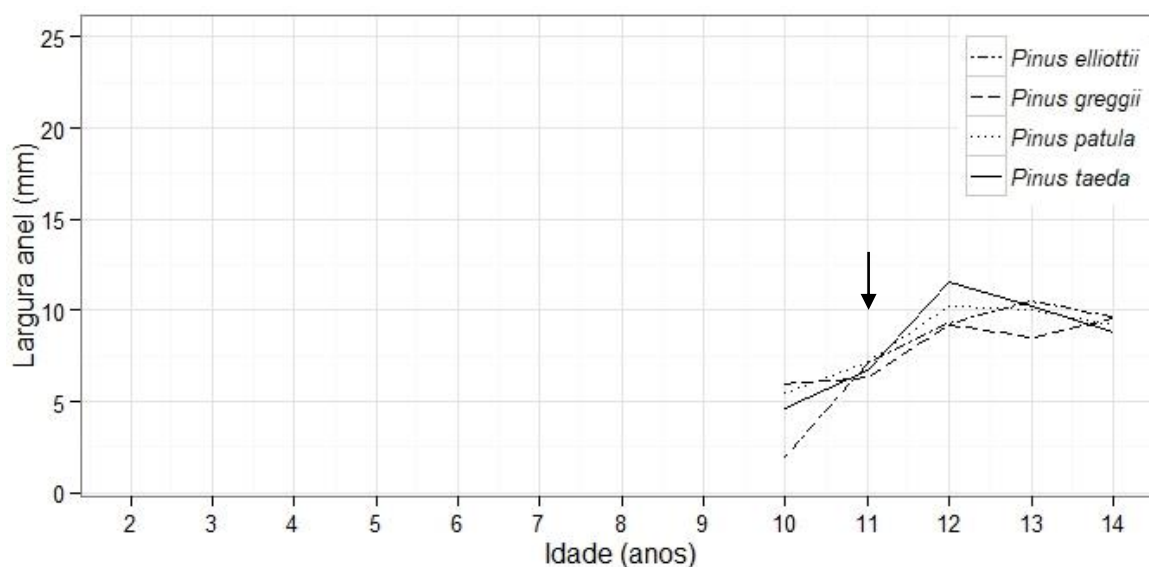
Tabela 25 - Largura dos anéis em 100% da altura comercial por espécie nas idades.

IDADE anos	100% LARGURA DO ANEL (mm)				TESTE F
	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus greggii</i>	
10	4,6	2,0	5,5	6,0	n.s.
11	6,7	7,1	7,2	6,3	n.s.
12	11,6 a	9,3 b	10,2 ab	9,2 b	*
13	10,2	10,5	10,0	8,5	n.s.
14	8,8	9,7	9,2	9,6	n.s.
CASCA	1,7 b	3,6 a	1,4 b	1,4 b	***

Em que: (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (***) significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; (n.s.): não significativo ao nível de 5% de probabilidade; a, b, c: grupos do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 22 - Largura do anel (mm) por espécie em 100% da altura comercial durante período analisado.



*A seta indica o ano em que ocorreu desbaste.

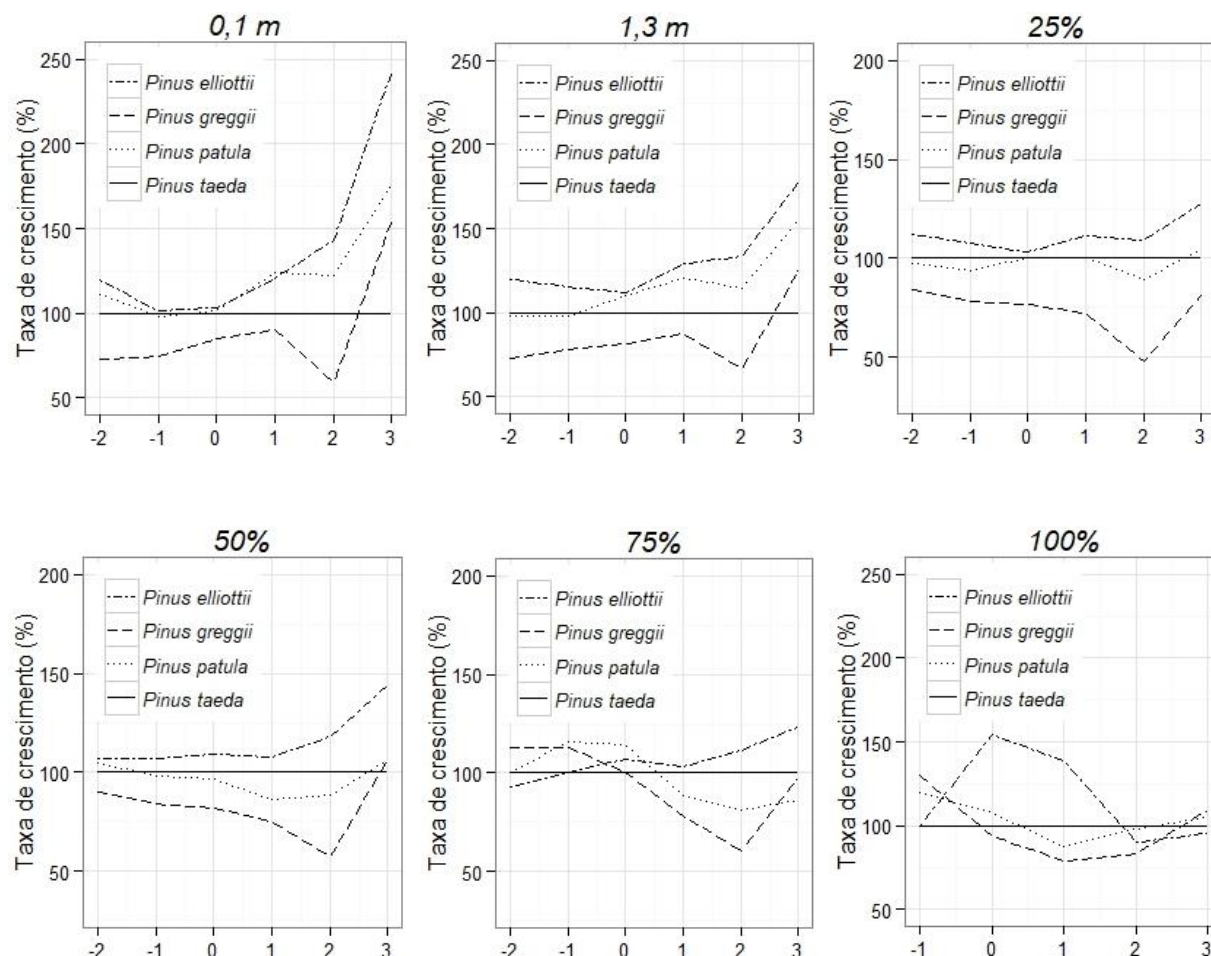
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.10. RESPOSTA AO DESBASTE: VALORES RELATIVOS

6.10.1. Primeiro desbaste (11 anos)

Os valores da largura do anel para as diferentes espécies de *Pinus* spp. foram divididas pelo valor medido na espécie de *P. taeda* e, portanto, expressando uma resposta percentual relativa. Os valores observados na espécie *P. taeda* foram definidos como 100% para fins de comparação. O resultado encontrado no primeiro desbaste nos níveis de 0,1m, 1,3 m, 25%, 50%, 75% e 100% são mostrados na Figura 23.

Figura 23 - Taxa de crescimento da largura do anel em percentual para diferentes espécies quando comparado ao *Pinus taeda* nas alturas relativas e absolutas.



Em que: Eixo “x” indica o ano em relação ao desbaste: -2 e -1: anos antes do desbaste; 0: ano em que o desbaste foi realizado; 1 e 2: anos após o desbaste. Os valores são relativos ao observado em *Pinus taeda*
 Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

6.10.1.1. Pré-desbaste

Ao analisar as taxas de crescimento da largura dos anéis dos dois anos que antecedem o desbaste na Figura 23 é possível afirmar que nas alturas de 0,1m, 1,3m e 25% ocorre uma redução, acontecendo para ambas as espécies.

Na sequência, as alturas de 50% e 75% a taxa de crescimento tende a se estabilizar para o mesmo período, com exceção do *P. elliottii* que apresentou um desenvolvimento superior de $\pm 25\%$ na porção de 75% (aproximadamente 11 metros) quando comparado ao *P. taeda*.

Para o nível de 100% da altura comercial, *P. elliottii* apresentou crescimento em aproximadamente 50% quando comparado ao *P. taeda*. As demais espécies demonstram uma redução para um ano que antecede o desbaste em ± 30 a 40%. A redução das taxas de

crescimento em ambas as espécies está atrelada a competição entre os indivíduos. Efeitos esses do primeiro desbaste tardio realizado no povoamento.

6.10.1.2. Pós-desbaste

Verificando as taxas de crescimento relativos aos pós-desbaste, nota-se que um ano após a intervenção não se obteve valores significativos para nenhuma dos níveis de altura analisados. Os mesmos apresentam estabilidade nas curvas de percentual quando comparado ao *P. taeda*, conforme observado na Figura 23.

O primeiro desbaste favoreceu o crescimento das árvores a partir do segundo ano em ambos os níveis de altura analisados. As taxas de crescimento a contar do segundo ano passam para aproximadamente 30% nas espécies.

Peltola et al. (2002), ao analisar os efeitos do primeiro desbaste na distribuição do crescimento do diâmetro ao longo do fuste de *P. sylvestris* L. em alturas de 1,3, 4, 6 e 8 m. Observaram que durante o período dos primeiros 3 anos após o desbaste, um aumento no crescimento do diâmetro foi detectado apenas na altura de 1,3m da árvore. O mesmo foi possível verificar para as espécies estudadas em que os níveis de altura relativa de 25, 50 e 75% representam, respectivamente, 4, 8 e 12 m.

7. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados demonstram que as espécies apresentam diferenças significativas para as variáveis dendrométricas e diferentes respostas ao primeiro desbaste.

Para as variáveis dendrométricas aos 14 anos:

- Em relação ao diâmetro médio quadrático, *P. elliottii* e *P. patula* apresentaram valor superior ao comparar com *P. taeda*. Em diâmetro médio e área transversal das 100 árvores mais espessas ha^{-1} (d_{100} e g_{100}) *P. elliottii*, *P. taeda* e *P. patula* não apresentaram, entre elas, diferenças significativas. A espécie de *P. greggii* apresentaram o menor valor em diâmetro, quando comparativamente.
- Para altura dominante e relação h/d as espécies de *P. greggii* e *P. Patula* apresentaram valores superiores.
- No desenvolvimento da área basal, *P. greggii* apresentou o maior valor aos 7 anos. *P. taeda* e *P. patula* aos 11 anos e aos 14 anos *P. elliottii* e *P. taeda*.
- *P. greggii* e *P. patula* apresentaram os maiores valores em volume individual, aos 8 anos, contudo, aos 14 anos as espécies não apresentam diferenças significativas. Para volume total as duas espécies apresentaram os maiores valores por hectare bem como incremento médio anual.

Para o primeiro desbaste:

- Ao analisar o crescimento de largura do anel para cada espécie verificou diferenças significativas entre as diferentes espécies. Os maiores resultados de crescimento foram constatados 2 anos após a intervenção.
- *P. elliottii* foi a espécie que apresentou o maior crescimento após o primeiro desbaste quando comparado ao *P. taeda*.

Conclui-se que a competição, efeito do desbaste tardio, entre as árvores teve influência no crescimento para as diferentes espécies estudadas e que todas possuem, para a situação analisada, crescimento compatível ao *P. taeda*.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, E. C. R. **Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; JUNIOR, J.E.P. **Programa de melhoramento de Pinus da Embrapa Florestas**. Embrapa florestas, Paraná, Colombo, 2011.
- ALBA-LANDA, J.; MENDIZABAL-HERNANDEZ, L.; APARICIORENTERIA, A. **Respuesta de un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Coatepec**. Veracruz, México. Forestal Veracruzana, v. 1, n. 1, p. 25-28, 1998.
- ALCÂNTARA, G. B.; RIBAS, L. L. F.; HIGA, A. R.; RIBAS, K. C. Z.; KOEHLER, H. S. **Efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 31 n. 3, p. 399-404, 2007.
- ALVES, A. A. M. **Técnicas de produção florestal: fundamentos, tipificação e métodos**. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica, 1982. 331 p.
- ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; MIRANDA, R. O. V.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. **Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de Pinus em Minas Gerais**. Pesquisa Florestal Brasileira, 2012.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2011: ano base 2010**. Brasília, 2011. 130p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012**. Brasília, 2013. 142 p.
- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS – ACR. **Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2016 (Ano Base 2015)**. Disponível em: <http://www.acr.org.br/download/biblioteca/ACR_2016.pdf>. Acesso em 09/02/2017.
- AZAMAR, O. M.; LÓPEZ-UPTON, J.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; PLANCARTE, A. B. **Evaluación de un ensayo de procedencias progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero**. In: CONGRESO NACIONAL DE REFORESTACIÓN, 1, Montecillo, 2000. México: Programa Nacional de Reforestación-Colegio de Postgraduados, 2000. 7 p
- BARROS, D. A; MACHADO, S. A; ACERBI JÚNIOR, F. W; SCOLFORO, J. R. S. **Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos**. Boletim de Pesquisa Florestal, 2002.
- BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. J.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. **Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial**. IPEF, Piracicaba, SP, n. 15, p. 1-14, 1977.

BIRKS, J.S.; BARNES, R.D. **Provenance variation in *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* ssp. *tecunumannii***. Oxford Forestry Institute-Department of Plant Sciences, University of Oxford, 1990, (Tropical Forestry Papers, 21).

BORSATO, R. **Variação genética em *Pinus greggii* Engelm. e seu potencial para reflorestamento no sul do Brasil**. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. de. **Conhecer a Idade das Árvores: Importância e Aplicação**. Documentos 75. Embrapa. ISSN 1517-536X. 2002.

BROOKS, J.R.; BAILEY, R.L. **A review os thinning for slash and loblolly pine in the South**. Athens, Georgia: University of Georgia, 1992. (Plantation Management Research Cooperative Technical Repost,1).

BURSCHEL, P.; HUSS, J. **Grundriss des Waldbaus**. 3. unveränd. Aufl. Stuttgart: Ulmer, 2003. 487 p.

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

CHUDNOFF, M. 1984. **Tropical timbers of the world. Agric. Handb.** 607. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 466 p.

COELHO, V. C. M. **Avaliação do manejo da produção econômica de madeira de *Pinus taeda* L.com características qualitativas superiores**. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

DACOSTA, L. P. E.; **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes de República Argentina**. UFSM, Santa Maria, 2008. 128 p. Tese (Doutorado em Manejo Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

DANIEL, O.; YARED, J. A. G.; **Procedimentos para análise de tronco de espécies florestais**. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1987. 36 p.

DAVEL, M. **Manejo de plantaciones: Boletín Técnico**. Argentina: Centro de Investigacion y Extension Forestal Andino Patagonico, Universidad Nacional de la Patagonia, 2009. 16 p.

DIAS, A. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. 2000. 64 p. Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, MG.

DOBNER JR, M.; HIGA, A. R.; TOMAZELO FILHO, M. **Manejo de povoamento de *Pinus taeda* L. e de *Eucalyptus dunni* MADEIN para usos múltiplos de madeira**. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4, 2012, Curitiba, 2012.

DONAHUE, J. K.; LÓPEZ-UPTON, J. **Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* Engelm. in native forest**. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 82, p. 145-157, 1996.

DONADONI, A.X; PELISSARI, A.L, DRESCHER, R; ROSA, G. D. **Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia.** Ciência Rural, 2010.

DORMAN, K.W. & SQUILLACE, A.E. – **Genetics of slash pine.** Washington, Forest Service, 1974. 20p. (Research Paper WO – 20).

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: Jonh Willey & Sons.1966. 407p.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 706p.

DVORAK, W. S. *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. In: VOZZO, J. A. **Tropical tree seed manual: part. II: species descriptions.** Washington, D.C.: USDA, Forest Service, [2002]. p. 615-617.

DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K.; HODGE, G. R. **Fifteen years of ex situ gene conservation of Mexican and Central American Forest Species by the Camcore Cooperative.** Forest Genetic Resources, Rome, n. 24, p. 15-21, 1996.

DVORAK, W. S.; HODGE, G. R.; GUTIERREZ, E. A.; OSORIO, L. F.; MALAN, F. S.; STANGER, T. K. *Pinus tecunumanii*. In: CAMCORE COOPERATIVE. **Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative.** Botha Hill, South Africa: Grow Graphics, 2000a. p. 188-210.

DVORAK, W.S. 1986. **Provenance/progeny testing of *Pinus tecunumanii*.** En: **Conference proceedings; a conference of IUFRO working parties concerned with breeding theory, progeny testing, and seed orchards;** 1986 October 13-17; Williamsburg, VA. Raleigh, NC: North Carolina State University: 299-309.

DWIVEDI, A. P.; THAPAR, H. S. **An evaluation of the performance of exotic Pines a New Forest.** Indian Forester, Dehra Dun, v. 16, n. 4, p. 268-277, 1990.

ELESBÃO, L. E. G.; **Crescimento e produção de *Pinus taeda* L. na região dos campos de cima da serra, Rio Grande do Sul.** UFSM, Santa Maria, 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

ELESBÃO, L. E. G.; SCHNEIDER, P. R. **Produção de *Pinus taeda* L. em povoamento desbastado na região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.21, n.1, p. 119-124, jan./mar. 2011.

FARJON, A.; STYLES, B. T. ***Pinus* (Pinaceae).** Flora Neotrópica. Monograph 75. New York Botanical Garden, N.Y. 1997. 291 p.

FINGER, C.A.; SCHNEIDER, P.R. **Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, com base no Índice de Espaçamento Relativo.** Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v.9, n.1, p.79-87, 1999.

GARCÍA, J. G. S.; HERNÁNDEZ, J. J. V.; MATA, J. D. J.; HERRERA, C. R.; e UPTON, J. L.; **Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de Pinus en edades tempranas**. Madera y Bosques 5(2):19-34 p, 1999.

HARTMAN, K. A. **National register of big trees**. American Forests, v. 88, n. 4 p.17- 31/ 34-48, 1982.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; **Crescimento em diâmetro de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul**. Santa Maria, Revista Ciência Florestal, Vol. 19, Núm. 1, 2010, pp. 7- 22.

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

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ - 2015**. São Paulo: IBÁ, 2016.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ - 2016**. São Paulo: IBÁ, 2017.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de Pinus maximinoi H. E. Moore**. 291 f. Tese, (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de Araucaria angustifolia (bert.) Ktze., em Tijucas do Sul, estado do Paraná**. 2009. 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LAMPRECHT, H . **Silvicultura nos trópicos**: Ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. [Tradução de Guilherme de Almeida Sedas e Gilberto Calcagnotto].-Rossdorf: TZ-Verl.-Ges, 1990. 343 p.

LOOCK, E.E.M. 1977. **The pines of Mexico and British Honduras: a report on a reconnaissance of Mexico and British Honduras during 1947**. 2a ed. Bull. 35 (rev.). Pretoria, Republic of South Africa: Department of Forestry. 244 p.

LÓPEZ, J. L. A.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; RÁMIREZHERRERA, C.; LÓPEZ-UPTON, J. **Variación intraespecífica en el patrón de crecimiento del brote terminal de Pinus greggii Engelm**. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Chapingo, v. 5, n. 2, p. 133-140, 1999.

MARTÍNEZ, A. V., PÉREZ, G. A.; LLANDERALOCAMPO, T.; JIMÉNEZ, A.R.R.; e HERNÁNDEZ, V. R. 2004. **Monografía de Pinus patula**. Comisión Nacional Forestal, México. 124 p.

MATOS, J.L.M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de Pinus taeda**. 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MENDES, L.M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MIROV, N. T. **The genus *Pinus***. New York: Ronald Press, 1967. 602 p.

MÜLLER, B. V. **Efeito de sistemas de desdobro na qualidade e rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MULLER, P.; ANGELI, A. **Implantação e manejo de florestas comerciais, Documentos Florestais No 18**. Piracicaba: IPEF, 2006. 14 p

MUNHOZ, J. S. B.; **Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco**. ESALQ, Piracicaba, 2011. 117 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

NAGEL, J.; ATHARI, S, Stammanalyse und ihre Durchführung, Allgemeine Forst-und Jagdzeitung, Frankfurt am Main, v. 153, n. 9/10, p. 179-182, 1982.

NEIL, P. E. **Estimative of volume and biomass from *Pinus greggii* in Nepal**. Banko Janakari, Nepal, v. 2 , n. 4, p. 395-398, 1990.

NICOLETTI, M. F. et al., **Ajuste de modelos hipsometricos para povoamentos de *Pinus patula* Schlechtd. & Cham. em Ponte Alto do Norte, SC**. Atualidades em mensuração florestal, Paraná, Curitiba. p. 6-9, 2014.

NILSSON, U.; ALBREKTSSON, A. **Productivity of needles and allocation of growth in young Scots pine trees of different competitive status**. Forest Ecology and Management. 1993. 173–187 p.

NOVAES, D. M. **Modelagem do crescimento e produção de povoamentos de *Tectona grandis* L.f. a partir de análise de tronco**. UFV, Viçosa, 2009. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

OLIVEIRA, D; LOPES, E; FIEDLER, N. **Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de toras de *Pinus***. Revista Scientia Forestalis, Piracicaba, v.37, n.84, p.525-533, 2009.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. **Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora**. Revista do Instituto Florestal, v. 18, p. 59-70, 2006.

OPTIMBER. **FlorExel – Forestry Functions for Microsoft Excel**, version 3.11. OpTimber Otimização e Informática. Curitiba, Paraná, Brazil, 2013. Download: www.optimber.com.br.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.

PERRY, J. P. **The Pines of Mexico and Central America**. Timber Press, Portland, Oregon. 1991. 231 p.

PELTOLA, H.; MIINA, J.; ROUVINEN, I.; KELLOMÄKI, S. **Effect of Early Thinning on the Diameter Growth Distribution along the Stem of Scots Pine**. *Silva Fennica*. v. 36, n. 4, p. 813-825, 2002.

RAMIREZ HERRERA, C. **Evaluación de la diversidad genética en poblaciones naturales de *Pinus greggii***. 1993. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Universidad Autónoma Chapingo, México.

RIBEIRO, N.; SITOE, A.; GUEDES, B.; STAISS, C. **Manual de silvicultura tropical. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane**, 2002. 123 p.

RODRÍGUEZ, M. L.; UPTON J. L.; e ANDREU, L. G. I. 2005. **Morphometric and molecular (RAPD) variability in a plantation of *Pinus patula***. In Veracruz, México. *Agrociencia* 39:231-235.

ROSOT, M.A.D. ; DISPERATI, A.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Medição da área de anéis de crescimento usando imagens digitais**. *Revista Árvore*, Viçosa, v.25, n.1, p.79-88, 2001.

ROSOT, M.A.D.; FILHO, A.F.; DISPERATI, A.A.; EMERENCIANO, D.B. **Análise de tronco digital: uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento**. *Revista Floresta*, Curitiba, v.33, n.3, p.235-255. 2003.

SALAZAR, G. G. J.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; MATA, J. J.; MOLINA, J. D. G.; RÁMIREZ-HERRERA, C.; H.; LÓPEZ-UPTON, J. **Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas**. *Madera y Bosques*, v. 5, n. 2, p. 19-34, 1999.

SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MELLO, A. A. de.; SILVA, E. Q. da.; BARTH FILHO, N.; MATOSKI, S. L. S. **Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio**. *Revista Cerne*, Lavras – MG, v. 9, n. 2, p. 129-140, 2003.

SANQUETTA, C. R.; WEBER, S. H.; FRMAGINI, F.; BARBEIRO, L. S.; VIEIRA, G.; **Equações individuais e determinação de classes de crescimento para *Nectandra grandiflora* Nees a partir de dados de análise de tronco**, Curitiba, PR: *Revista Scientia Agraria*, vol. 11, num. 1, 2010, p. 01-08.

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

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal: Planejamento da Produção Florestal**. Santa Maria: UFSM, 2002. 492 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. S. P. **Implantação de povoamentos de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. com mudas e semeadura direta**. *Ciências da Floresta*, Santa Maria, v.9, n.1, p.29-33, 1999.

SCHNEIDER, P. S. P.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. **Relação do quociente do diâmetro pela área basal com o autodesbaste em povoamento equiâneo de *Pinus taeda* L.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.23, n.1, p. 175-181, jan./mar. 2013.

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

SCOLFORO, J. R. S.; MAESTRI, R.; MACHADO, S. A. **Um modelo de crescimento e produção como suporte para manejo florestal.** In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTAVEL, 1997, Colombo. Anais... Colombo: EMBRAPA 1997. p. 1 – 31.

SHIMIZU, J. Y. **Melhoramento genético de coníferas florestais para produção de madeira e resina. Macroprograma.** Competividade e sustentabilidade. 2007.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. **Espécies de Pinus na silvicultura brasileira.** In: SHIMIZU, J. Y. (Ed.). Pinus na silvicultura brasileira. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49- 74.

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de pinus na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira.** Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.

SILVA, J.A. **Seleção de parcelas amostrais aplicadas em povoamentos de *Pinus taeda* L. para fins biométricos em Santa Maria – RS.** Santa Maria: UFSM, 1974. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) – Universidade Federal de Santa Maria, 1974.

SILVA, J. A. A; NETO, F. P. **Princípios Básicos de Dendrometria.** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, 1979. 198 p.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.16, n.3, p.319-327, 2006.

THIERSCH, A. **A eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*.** Lavras, 1997. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

TREVISAN, R. **Estudo do balanço hídrico e da dinâmica do nitrogênio em uma microbacia com plantação florestal de eucalipto no litoral norte do estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

TONINI, H., FINGER, C.A.G., SCHNEIDER, P.R. & SPATHELF, P. **Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** Ciência Florestal, Vol. 12, No. 2. S. 61-73, 2002.

VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; MUÑOZ, O. **Crecimiento y supervivencia en plantulas de cuatro especies de Pinus.** Agrociencia, México, v. 72, p. 197-208, 1988.

VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; MUÑOZ, O. **Potencial hídrico, transpiración y resistencia estomacal en plántulas de cuatro especies de Pinus**. Agrocienia: Serie Recursos Naturales Renovables, v. 1, n. 3, p. 25-38, 1991.

WEBB, D. B.; WOOD, P. J.; SMITH, J. P.; HENMEN, G. S. 1984. **A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations**. 2a ed. Tropical Forestry Pap. 15 (rev.). Oxford, UK: Department of Forestry, Commonwealth Forestry Institute. 342 p.

WORMALD, T.J. 1975. *Pinus patula*. **Tropical Forestry**. Oxford, UK: Department of Forestry, Commonwealth Forestry Institute. 212 p.

PELTOLA, H.; MIINA, J.; ROUVINEN, I.; KELLOMÄKI, S. **Effect of early thinning on the diameter growth distribution along the stem of Scots pine**. Silva Fennica, Helsinki, v. 36, n. 4, p. 813-825, 2002.

PADOIN, V; FINGER, C. A. G; FLEIG, F. D; MUNARETO, F. F; SILVA, L. T. M. **Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante**. Ciências Florestal, Santa Maria, v.23, n.1, p. 193-201. 2013.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose: IICA, 1997. 561p. (Investigacion y educacion en desarrollo sostenible, 1).

ZEIDE, B. **Analysis of Growth Equations**. Forest Science, v. 39, n. 3, p. 594-616. 1993.

9. APÊNDICE

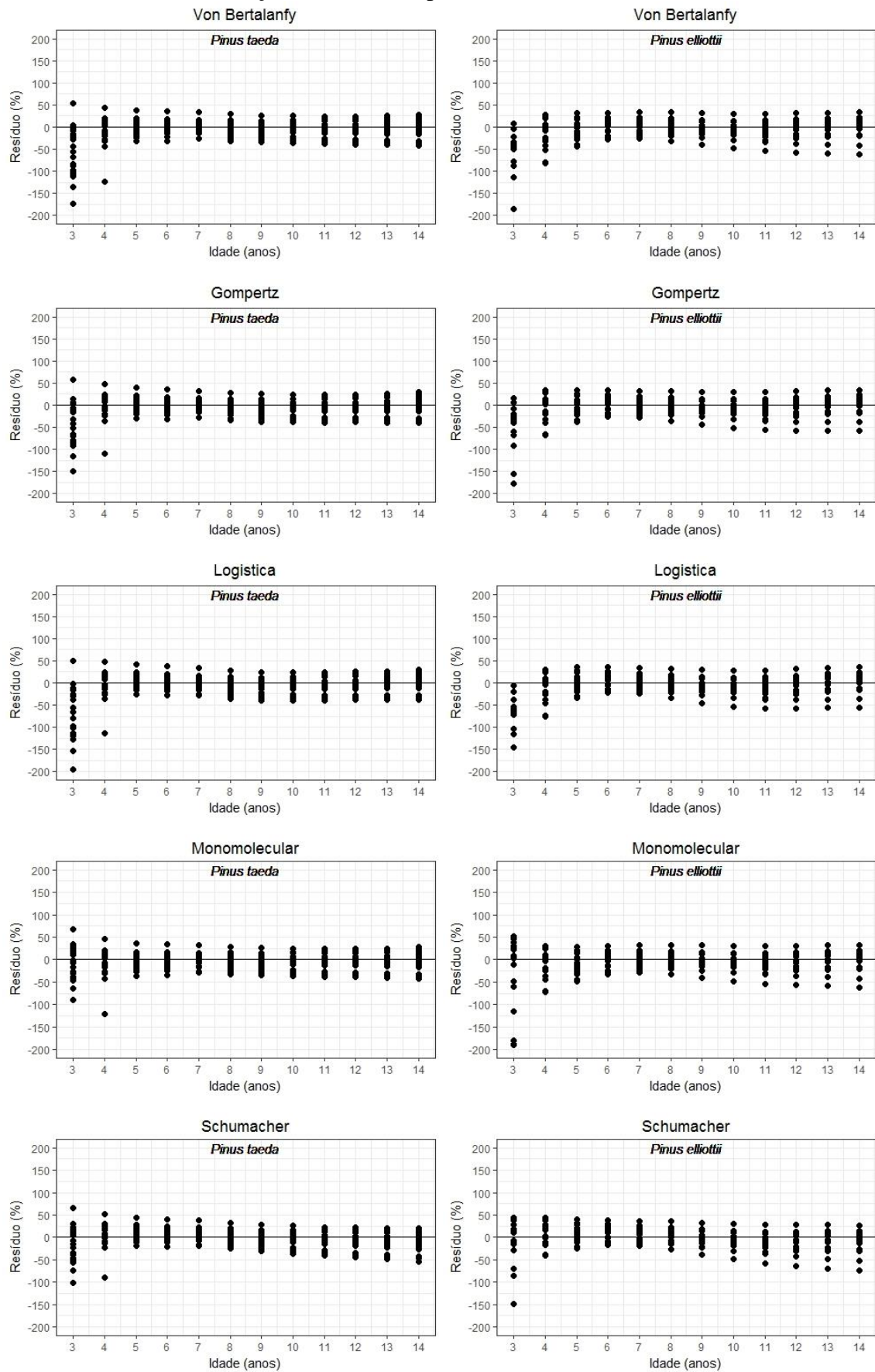
APÊNDICE A - Modelos ajustados de crescimento para diâmetro, coeficientes e estatísticas.

<i>Pinus taeda</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² _{aj}	Syx (%)
Chapman-Richards	24,175	0,314	3,853	0,824	0,823	17,41
Von Bertalanfy	25,251	0,269	-	0,811	0,811	18,81
Gompertz	23,838	5,413	0,345	0,811	0,810	18,85
Logística	23,001	0,530	19,597	0,805	0,803	19,18
Monomolecular	26,265	0,196	1,596	0,815	0,813	18,67
Schumacher	3,809	-7,985	-	0,851	0,851	19,80
<i>Pinus elliottii</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² _{aj}	Syx (%)
Chapman-Richards	25,693	0,262	3,792	0,888	0,886	14,78
Von Bertalanfy	26,732	0,2230	-	0,831	0,830	20,55
Gompertz	24,324	5,6872	0,3213	0,830	0,829	20,62
Logística	23,004	24,026	0,494	0,823	0,821	21,10
Monomolecular	29,393	0,139	1,437	0,836	0,834	20,31
Schumacher	3,944	-9,984	-	0,887	0,886	21,45
<i>Pinus greggii</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² _{aj}	Syx (%)
Chapman-Richards	24,561	0,353	3,623	0,829	0,828	14,42
Von Bertalanfy	24,349	0,314	-	0,787	0,786	17,63
Gompertz	23,353	5,389	0,417	0,787	0,785	17,67
Logística	22,830	0,575	17,038	0,779	0,777	17,99
Monomolecular	24,602	0,258	1,798	0,792	0,791	17,43
Schumacher	3,733	-6,798	-	0,786	0,785	18,92
<i>Pinus patula</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² _{aj}	Syx (%)
Chapman-Richards	23,412	0,292	3,361	0,798	0,796	18,25
Von Bertalanfy	24,979	0,270	-	0,786	0,785	18,77
Gompertz	23,885	4,927	0,346	0,784	0,782	18,89
Logística	23,027	0,497	16,499	0,776	0,774	19,24
Monomolecular	26,389	0,187	1,5388	0,790	0,789	18,62
Schumacher	3,793	-7,945	-	0,832	0,831	20,94

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, = coeficientes do modelo estimados; R² = coeficiente de determinação; R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx (%) = erro padrão da estimativa em percentual.

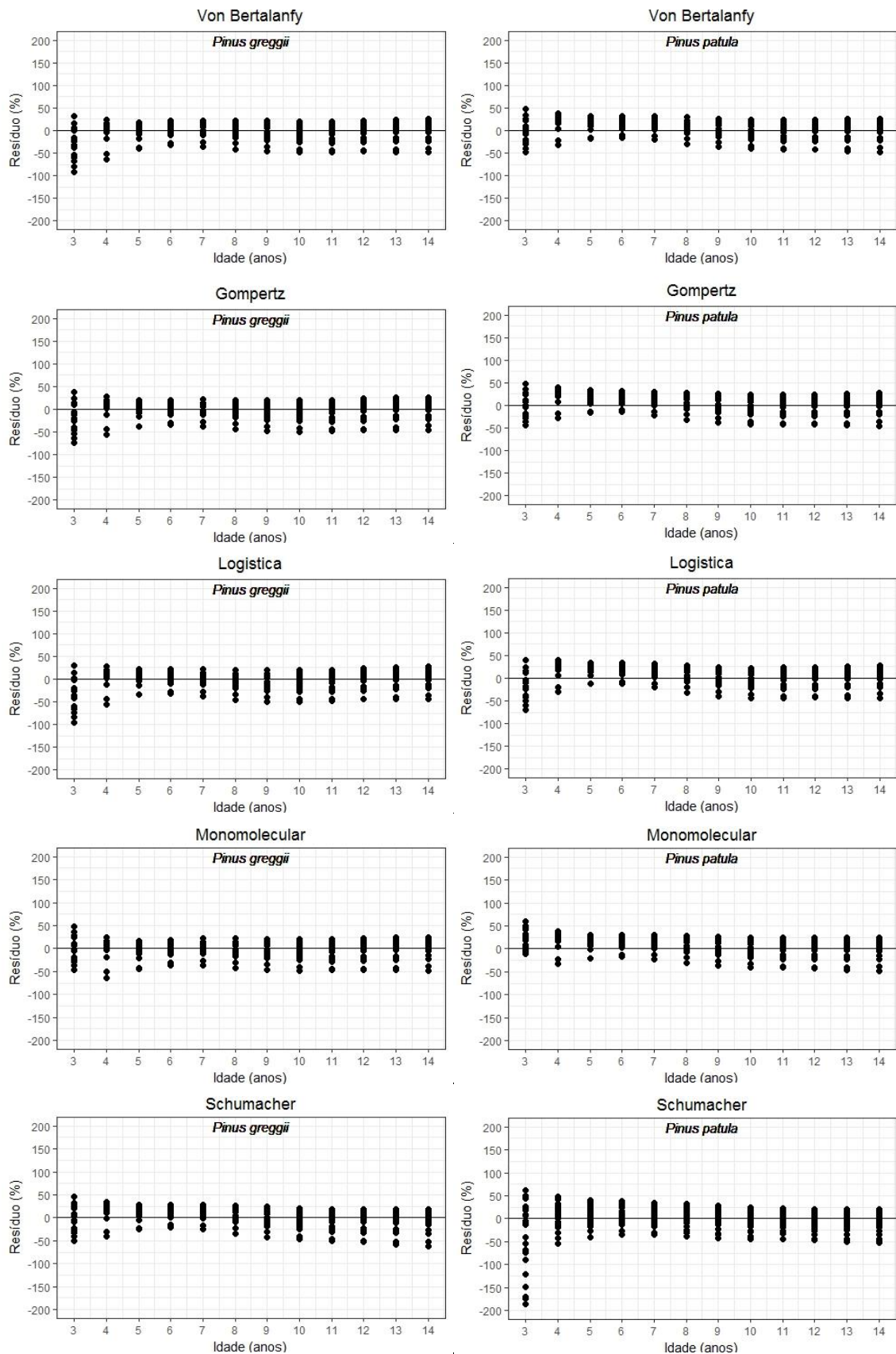
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE B - Distribuição dos resíduos para os modelos de crescimento em diâmetro.



Continuação...

Continuação...



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE C - Modelos hipsométricos, coeficientes e estatísticas para as espécies.

<i>Pinus taeda</i>								
Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2	$R^2_{aj.}$	Syx (m)	Syx (%)	FM
Henricksen	0,516	5,915	-	0,367	0,355	1,276	6,408	-
Assmann	25,334	-141,98	-	0,359	0,347	1,285	6,448	-
Trorey	11,268	0,420	-0,004	0,369	0,344	1,287	6,463	-
Linear Simples	13,574	0,236	-	0,367	0,355	1,277	6,410	-
Curtis	3,266	-7,289	-	0,363	0,350	1,281	6,431	1,0021
Stoffels	1,994	0,303	-	0,368	0,356	1,276	6,404	1,0021
Petterson	0,038	0,432	-	0,362	0,350	1,282	6,434	-
Prodan	-1,176	0,490	0,034	0,364	0,339	1,292	6,487	-
Naslund	5,776	0,046	-	0,350	0,337	1,294	6,496	-
Prodan 2	-1,200	0,550	0,035	0,364	0,339	1,293	6,489	-
AD 1	2,518	0,024	-0,0002	0,370	0,345	1,287	6,460	1,0021
AD 2	2,818	0,000	-	0,354	0,341	1,290	6,478	1,0021
<i>Pinus elliottii</i>								
Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2	$R^2_{aj.}$	Syx (m)	Syx (%)	FM
Henricksen	7,160	3,617	-	0,165	0,143	1,451	7,681	-
Assmann	22,256	-84,90	-	0,158	0,136	1,458	7,713	-
Trorey	14,032	0,232	-0,002	0,167	0,121	1,470	7,780	-
Linear Simples	15,128	0,145	-	0,166	0,144	1,451	7,677	-
Curtis	3,118	-4,607	-	0,160	0,138	1,456	7,704	1,0032
Stoffels	2,298	0,196	-	0,166	0,143	1,451	7,679	1,0032
Petterson	0,046	0,291	-	0,156	0,133	1,460	7,725	-
Prodan	-2,526	0,485	0,038	0,161	0,114	1,475	7,808	-
Naslund	4,245	0,051	-	0,136	0,112	1,477	7,817	-
Prodan 2	-2,925	0,562	0,040	0,160	0,113	1,476	7,812	-
AD 1	2,672	0,013	-0,00009	0,167	0,121	1,470	7,780	1,0032
AD 2	2,832	0,000	-	0,160	0,137	1,456	7,706	1,0032
<i>Pinus greggii</i>								
Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2	$R^2_{ajustado}$	Syx (m)	Syx (%)	FM
Henricksen	8,620	4,048	-	0,270	0,256	1,152	5,289	-
Assmann	25,704	-99,76	-	0,288	0,274	1,137	5,222	-
Trorey	9,079	0,855	-0,014	0,290	0,262	1,146	5,264	-
Linear Simples	17,640	0,158	-	0,250	0,235	1,167	5,359	-
Curtis	3,268	-4,796	-	0,284	0,270	1,141	5,237	1,0014
Stoffels	2,448	0,194	-	0,265	0,251	1,155	5,304	1,0014
Petterson	0,039	0,264	-	0,276	0,262	1,147	5,267	-
Prodan	4,023	-0,130	0,045	0,302	0,274	1,137	5,222	-
Naslund	2,733	0,045	-	0,293	0,280	1,133	5,202	-
Prodan 2	4,666	-0,156	0,048	0,301	0,274	1,137	5,223	-
AD 1	2,445	0,043	-0,0007	0,286	0,258	1,149	5,278	1,0014
AD 2	2,979	0,000	-	0,226	0,211	1,185	5,443	1,0015

Continuação...

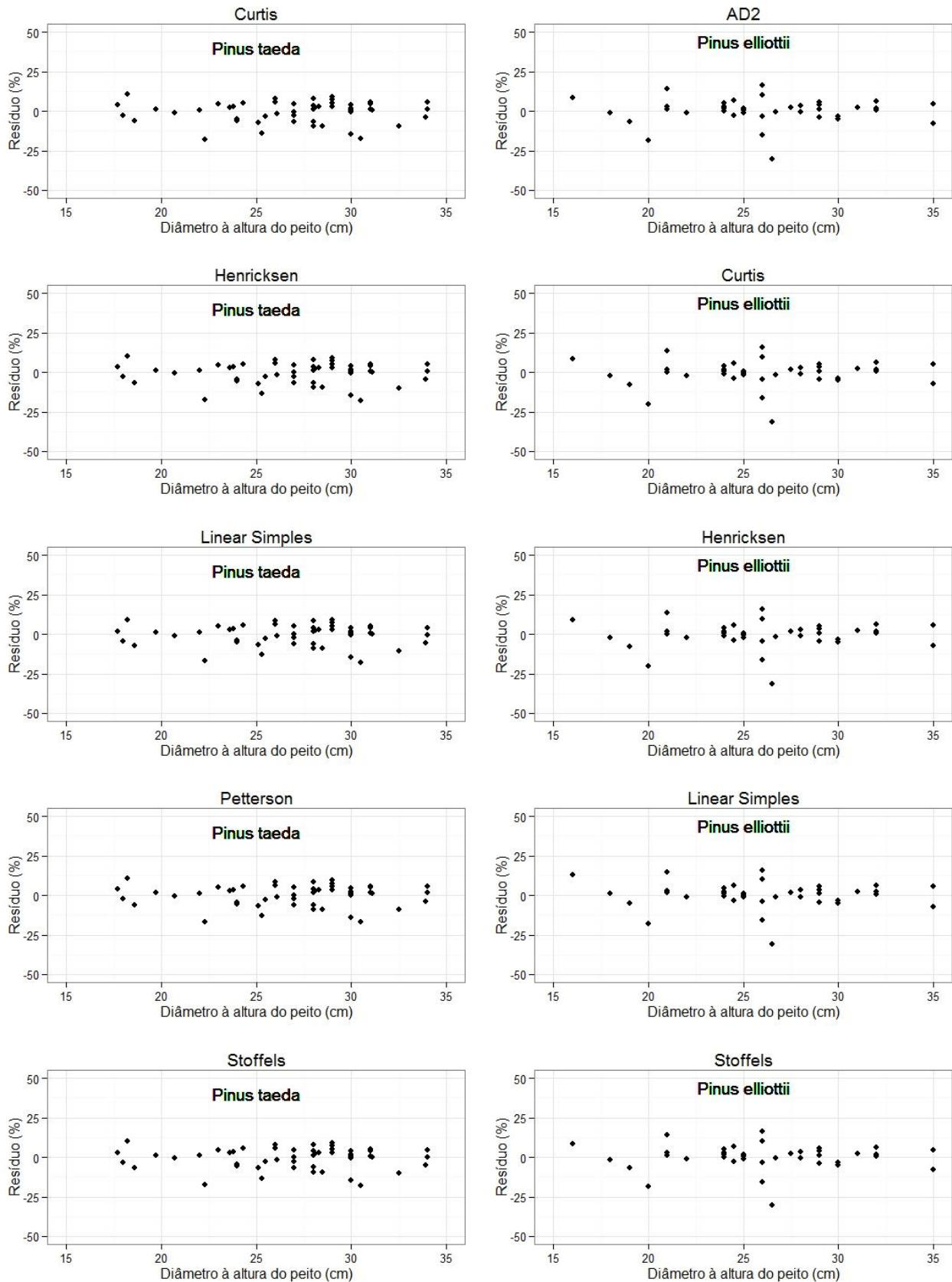
Continuação...

<i>Pinus patula</i>								
Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2	$R^2_{aj.}$	Syx (m)	Syx (%)	FM
Henricksen	10,021	3,891	-	0,302	0,289	1,108	4,881	-
Assmann	26,425	-95,177	-	0,308	0,295	1,103	4,860	-
Trorey	14,330	0,499	-0,007	0,306	0,279	1,115	4,915	-
Linear Simples	18,687	0,152	-	0,291	0,277	1,117	4,922	-
Curtis	3,289	-4,301	-	0,308	0,295	1,104	4,862	1,0012
Stoffels	2,549	0,176	-	0,301	0,287	1,109	4,887	1,0012
Petterson	0,038	0,220	-	0,305	0,292	1,106	4,873	-
Prodan	0,022	0,186	0,037	0,306	0,279	1,116	4,917	-
Naslund	2,687	0,043	-	0,306	0,293	1,105	4,868	-
Prodan 2	0,092	0,205	0,039	0,305	0,279	1,116	4,918	-
AD 1	2,730	0,024	-0,00032	0,305	0,279	1,116	4,918	1,0012
AD 2	3,029	0,000	-	0,271	0,258	1,132	4,989	1,0012

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, = coeficientes do modelo estimados; R^2 : coeficiente de determinação; $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} (m): erro padrão de estimativa em metros; S_{yx} (%): erro padrão da estimativa em percentual; FM: Fator de Meyer.

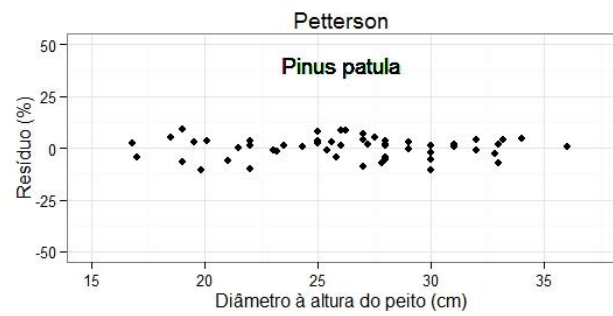
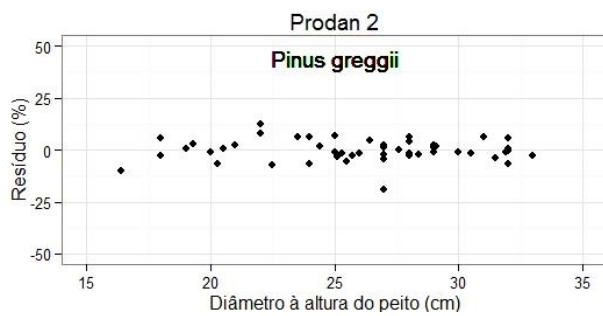
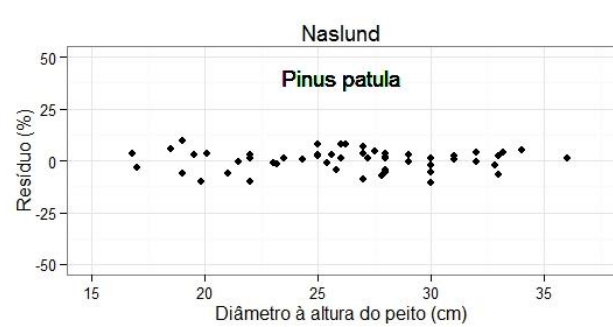
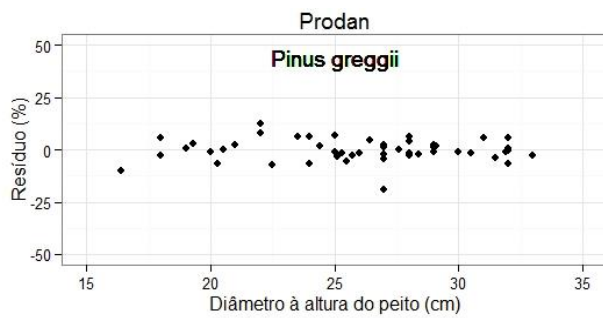
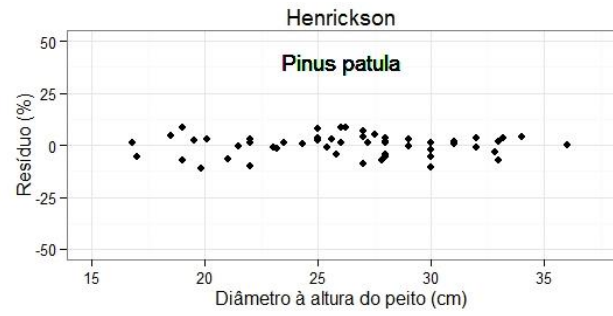
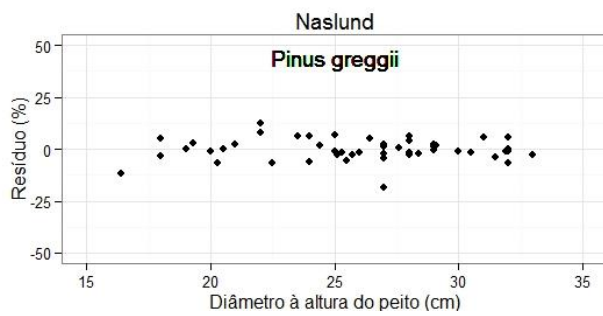
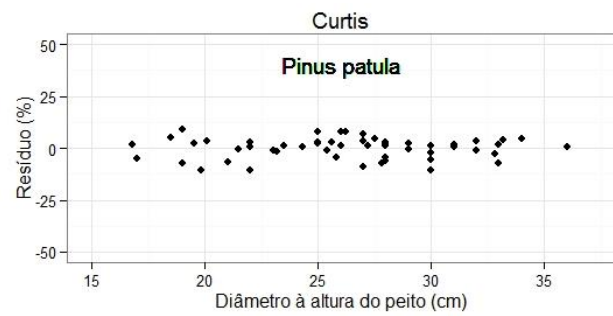
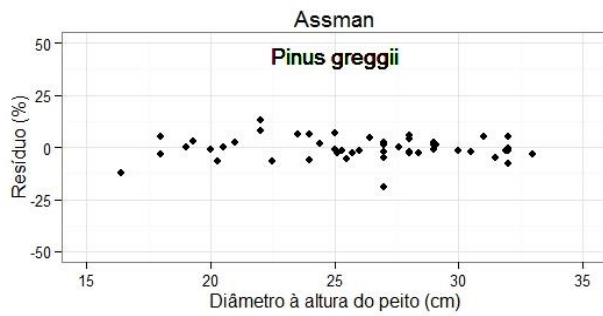
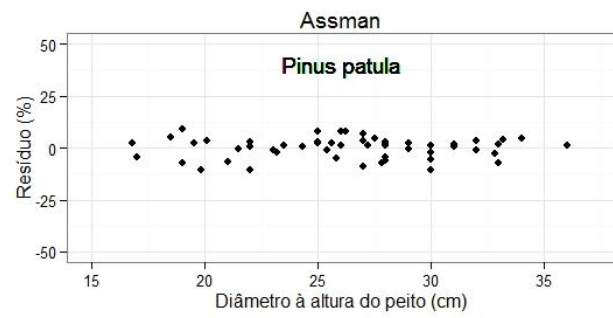
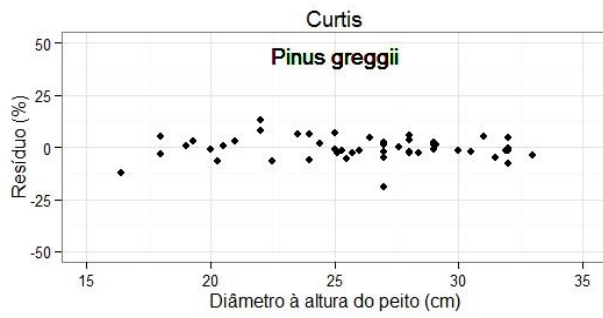
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE D - Distribuição dos resíduos para os cinco melhores ajustes de modelos hipsométricos para cada espécie.



Continuação...

Continuação...



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE E - Modelos ajustados de crescimento para altura, coeficientes e estatísticas.

<i>Pinus taeda</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	25,062	0,145	2,132	0,968	0,965	7,87
Von Bertalanfy	21,511	0,212	-	0,967	0,967	8,18
Gompertz	22,278	3,839	0,218	0,970	0,969	7,89
Logística	19,932	0,367	14,385	0,966	0,966	8,34
Monomolecular	34,839	0,064	1,124	0,971	0,970	7,74
Schumacher	3,419	-7,606	-	0,974	0,974	8,83

<i>Pinus elliottii</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	25,732	0,138	2,189	0,930	0,929	12,78
Von Bertalanfy	21,610	0,197	-	0,938	0,937	12,02
Gompertz	22,248	3,984	0,209	0,940	0,939	11,87
Logística	19,523	0,364	16,005	0,936	0,935	12,22
Monomolecular	41,271	0,048	1,096	0,941	0,940	11,76
Schumacher	3,410	-8,146	-	0,932	0,932	12,86

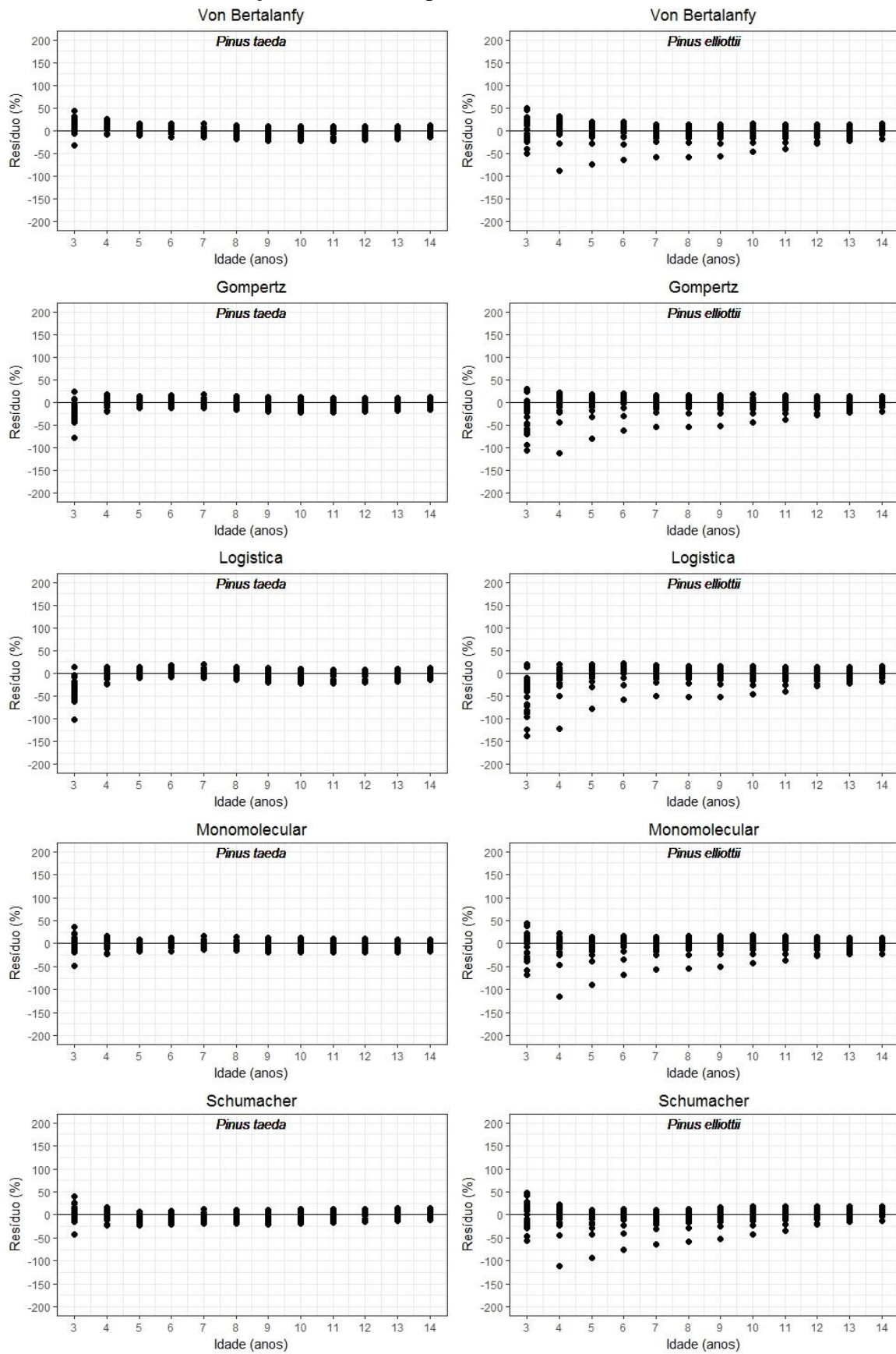
<i>Pinus greggii</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	25,542	0,179	2,264	0,978	0,976	4,39
Von Bertalanfy	23,144	0,235	-	0,968	0,968	7,56
Gompertz	23,253	3,964	0,255	0,968	0,968	7,53
Logística	21,581	13,854	0,401	0,964	0,964	8,05
Monomolecular	29,722	0,1033	1,222	0,970	0,970	7,33
Schumacher	3,557	-7,355	-	0,963	0,963	7,41

<i>Pinus patula</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	29,442	0,150	2,264	0,973	0,971	7,22
Von Bertalanfy	26,227	0,206	-	0,974	0,974	7,54
Gompertz	26,666	4,008	0,222	0,975	0,975	7,34
Logística	23,816	0,376	15,697	0,972	0,972	7,83
Monomolecular	42,759	0,063	1,129	0,976	0,976	7,21
Schumacher	3,628	-7,943	-	0,973	0,973	8,19

Em que: β_0 , β_1 , β_2 , = coeficientes do modelo estimados; R² = coeficiente de determinação; R²_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx (%) = erro padrão da estimativa em percentual.

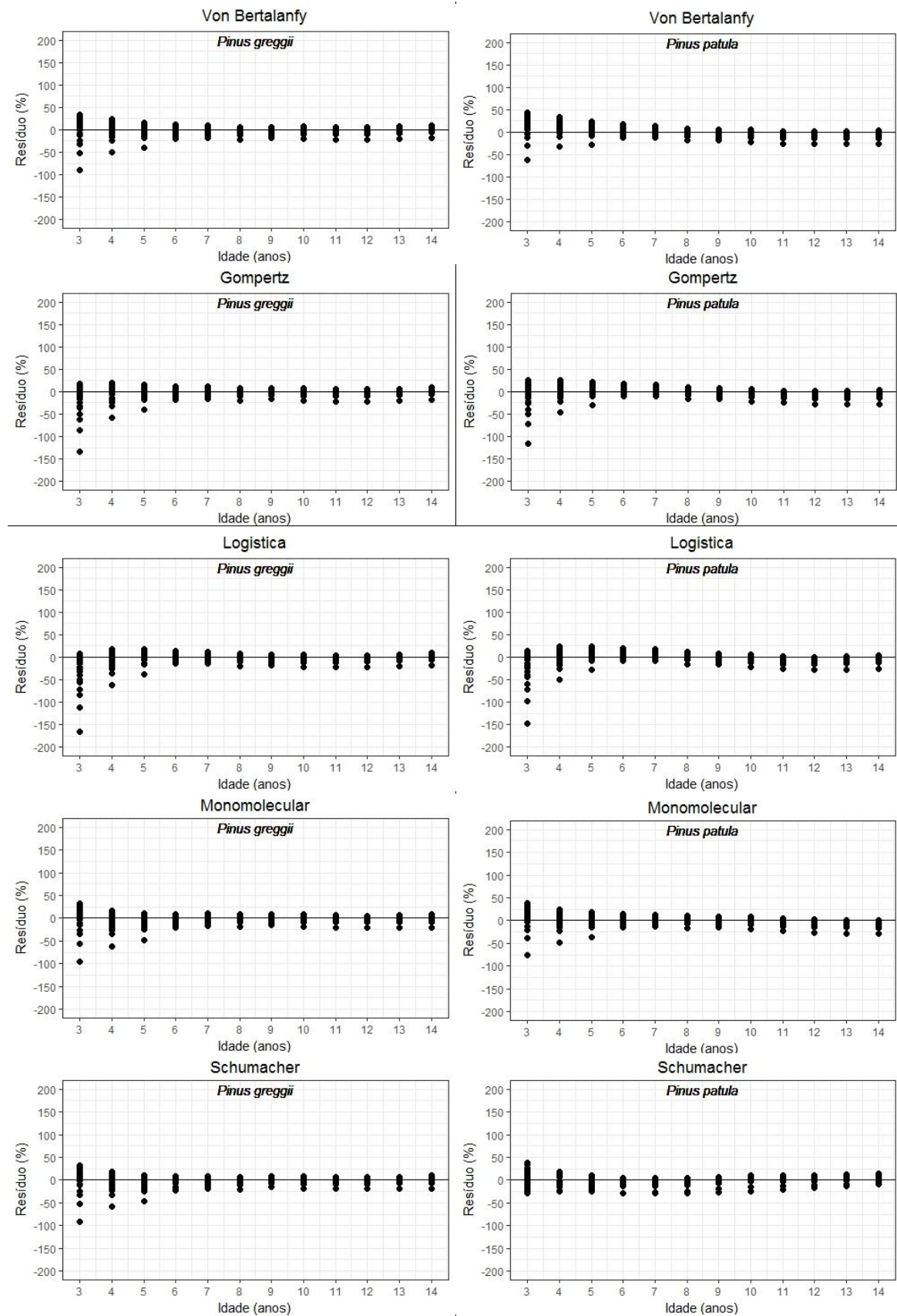
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE F - Distribuição dos resíduos para os modelos de crescimento em altura.



Continuação...

Continuação...



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE G - Modelos volumétricos, coeficientes e estatísticas para as espécies.

<i>Pinus taeda</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R ²	R ² ajustado	Syx (m ³)	Syx (%)	FM
Naslund	-0,641	0,001	-0,0003	0,035	-	0,98	0,98	0,026	5,60	-
Naslund Modificado	-1,362	0,001	0,146	-0,0002	0,001	0,98	0,98	0,026	5,60	-
Omerod MII	0,844	0,00002	-3,214	-	-	0,98	0,98	0,027	5,73	-
Burkhault I	-0,449	0,037	-	-	-	0,97	0,97	0,030	6,40	-
Hohenadl-Krenn	-0,315	0,026	0,0002	-	-	0,97	0,97	0,030	6,46	-
Bonetes I	2,417	-72,048	587,025	-	-	0,97	0,97	0,032	6,79	-
Schumacher-Hall	-9,497	1,960	0,818	-	-	0,97	0,97	0,033	7,05	1,002
Spurr I	0,039	0,00004	-	-	-	0,97	0,97	0,033	6,94	-
Spurr III	-9,840	0,966	-	-	-	0,97	0,97	0,034	7,14	1,002
Prodan	-76,05	5,195	-0,508	42,763	-7,157	0,97	0,96	0,035	7,47	1,001
Husch	-7,503	2,089	-	-	-	0,97	0,96	0,034	7,30	1,003
Spurr II	-0,298	0,002	-	-	-	0,95	0,95	0,040	8,55	-
<i>Pinus elliottii</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R ²	R ² ajustado	Syx (m ³)	Syx (%)	FM
Spurr I	0,027	0,00003	-	-	-	0,97	0,97	0,029	6,84	-
Spurr III	-9,744	0,948	-	-	-	0,97	0,97	0,029	6,85	1,002
Schumacher-Hall	-9,900	1,87505	1,025	-	-	0,97	0,97	0,030	6,86	1,003
Naslund	0,129	-0,0003	0,00005	-0,005	-	0,97	0,97	0,030	6,90	-
Naslund Modificado	0,559	0,0003	-0,0633	0,0001	-0,001	0,98	0,97	0,030	7,00	-
Prodan	-10,64	5,408	-0,562	-2,388	0,608	0,97	0,97	0,031	7,31	1,002
Omerod MII	0,030	0,00003	-0,010	-	-	0,97	0,97	0,030	7,04	-
Spurr II	-0,256	0,00149	-	-	-	0,96	0,96	0,036	8,27	-
Husch	-7,536	2,065	-	-	-	0,91	0,90	0,053	12,26	1,007
Hohenadl-Krenn	-0,057	0,004	0,001	-	-	0,91	0,90	0,054	12,57	-
Burkhault I	-0,419	0,034	-	-	-	0,90	0,89	0,055	12,87	-
Bonetes I	2,325	-71,286	592,835	-	-	0,90	0,89	0,057	13,26	-
<i>Pinus greggii</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R ²	R ² ajustado	Syx (m ³)	Syx (%)	FM
Naslund Modificado	2,711	0,001	-0,365	0,00005	0,0003	0,98	0,97	0,034	6,67	-
Naslund	0,482	-0,002	0,000	-0,022	-	0,97	0,97	0,034	6,78	-
Omerod MII	-0,719	0,00005	2,806	-	-	0,97	0,97	0,036	7,04	-
Spurr I	-0,011	0,00004	-	-	-	0,97	0,97	0,037	7,35	-
Schumacher-Hall	-11,18	1,859	1,4535	-	-	0,97	0,96	0,038	7,46	1,003
Prodan	30,456	-4,117	0,929	-20,293	3,682	0,97	0,96	0,040	7,93	1,002
Spurr III	-10,16	0,991	-	-	-	0,97	0,96	0,038	7,47	1,003
Husch	-7,897	2,21781	-	-	-	0,95	0,95	0,047	9,21	1,005
Spurr II	-0,370	0,002	-	-	-	0,95	0,94	0,048	9,38	-
Hohenadl-Krenn	0,022	-0,006	0,001	-	-	0,95	0,94	0,048	9,45	-
Bonetes I	2,905	-92,068	785,858	-	-	0,94	0,94	0,050	9,91	-
Burkhault I	-0,546	0,041	-	-	-	0,94	0,93	0,052	10,18	-

Continuação...

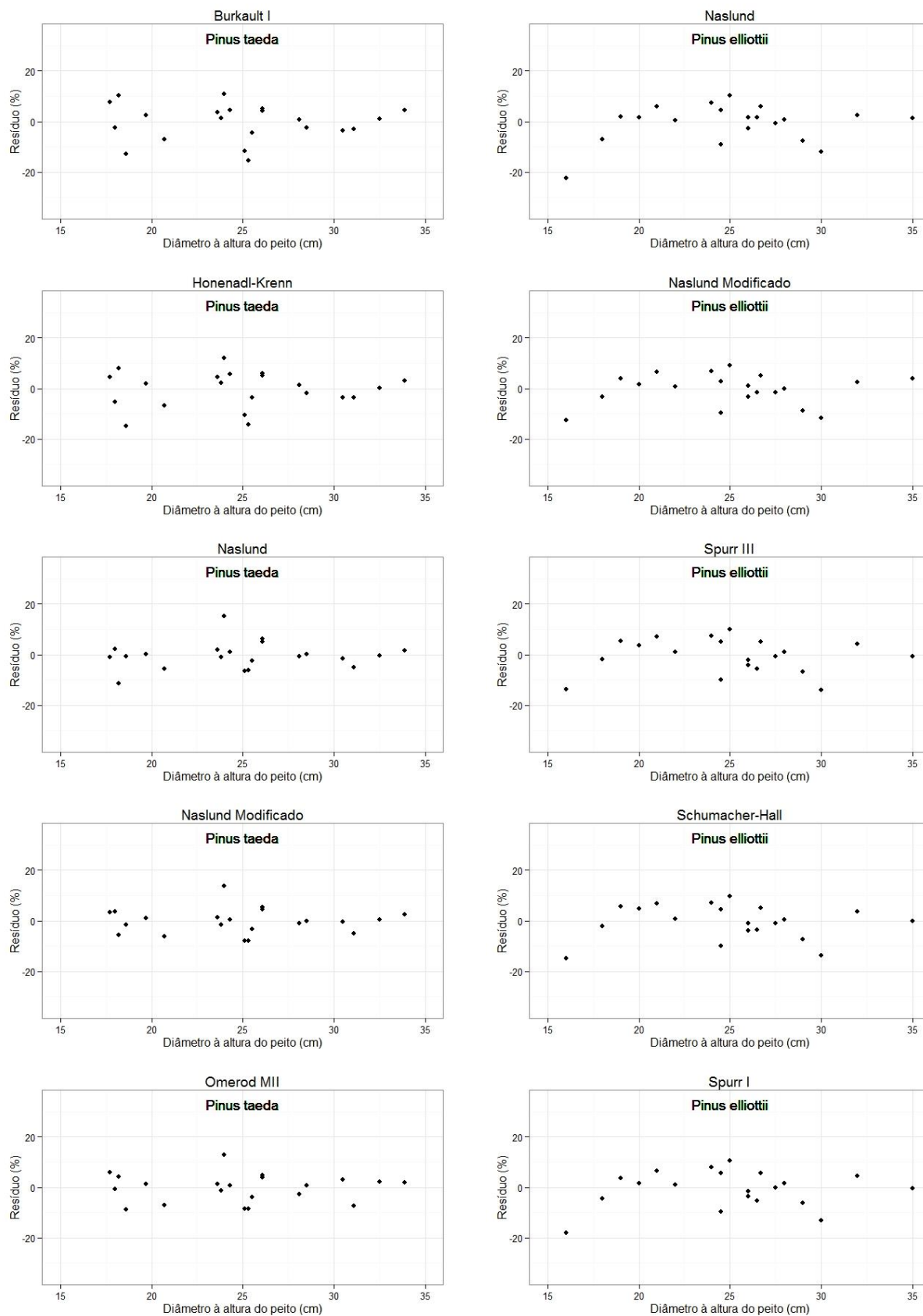
Continuação...

<i>Pinus patula</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R ²	R ² ajustado	Syx (m ³)	Syx (%)	FM
Spurr II	-0,191	0,001	-	-	-	0,92	0,92	0,045	9,58	-
Naslund	-0,834	0,001	-0,0003	0,043	-	0,93	0,91	0,046	9,86	-
Spurr III	-8,485	0,812	-	-	-	0,91	0,91	0,047	9,99	1,01
Omerod MII	0,725	0,00002	-2,459	-	-	0,92	0,91	0,047	10,13	-
Schumacher-Hall	-10,16	1,471	1,5090	-	-	0,91	0,90	0,048	10,33	1,01
Naslund Modificado	-1,293	0,001	0,127	0,001	0,001	0,93	0,91	0,047	10,18	-
Spurr I	0,104	0,001	-	-	-	0,91	0,90	0,048	10,36	-
Burkhault I	-0,319	0,032	-	-	-	0,91	0,90	0,049	10,43	-
Prodan	-95,71	1,673	-0,022	56,886	-9,01	0,91	0,89	0,051	10,95	1,005
Hohenadl-Krenn	-0,276	0,029	0,001	-	-	0,91	0,90	0,050	10,71	-
Bonetes I	2,075	-57,265	444,208	-	-	0,91	0,90	0,050	10,79	-
Husch	-6,430	1,771	-	-	-	0,90	0,90	0,050	10,79	1,01

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2,$ = coeficientes do modelo estimados; R²: coeficiente de determinação; R²_{aj.}: coeficiente de determinação ajustado; Syx (m): erro padrão de estimativa em metros; Syx (%): erro padrão da estimativa em percentual; FM: Fator de Meyer.

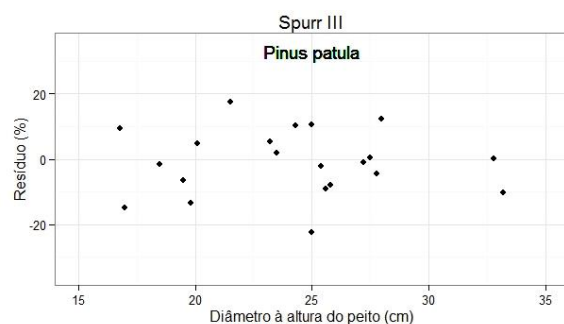
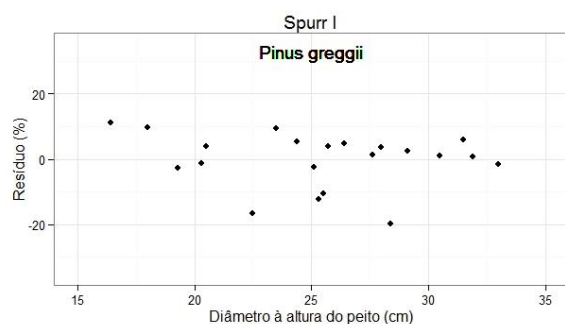
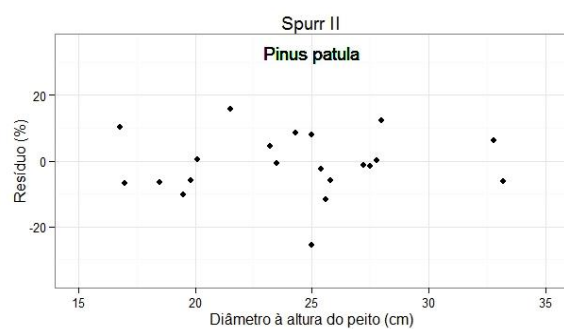
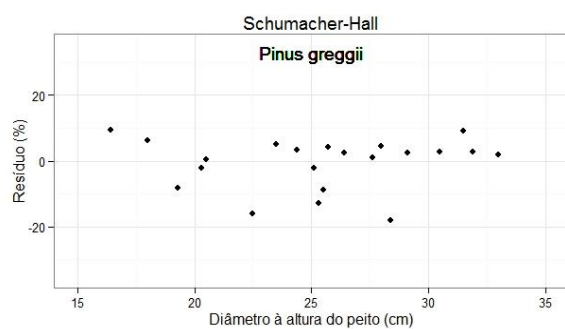
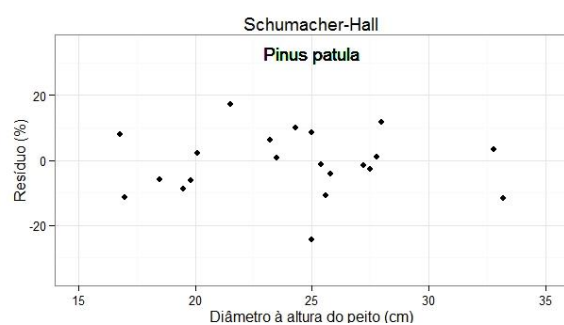
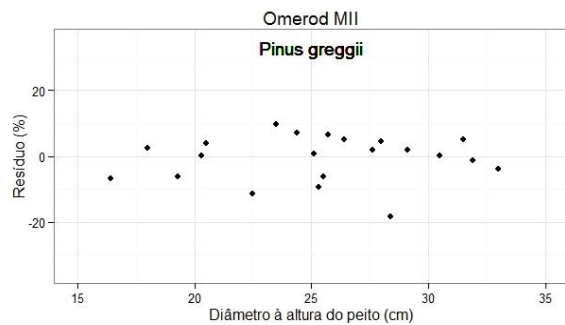
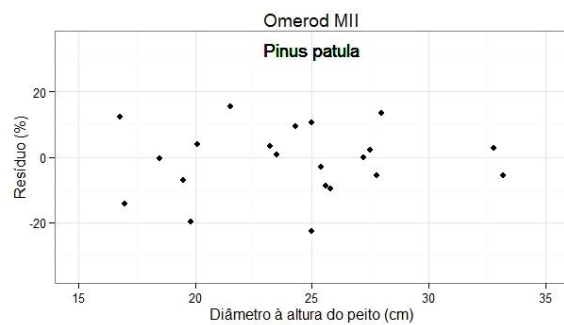
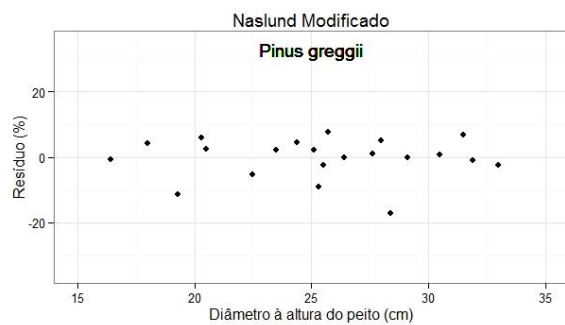
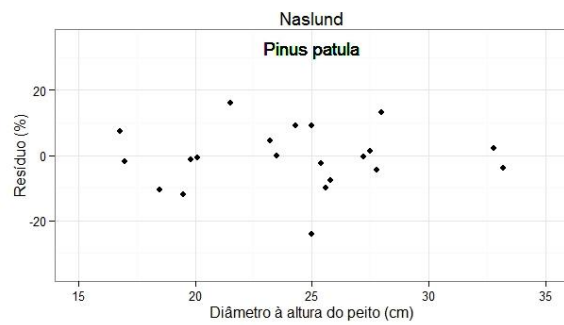
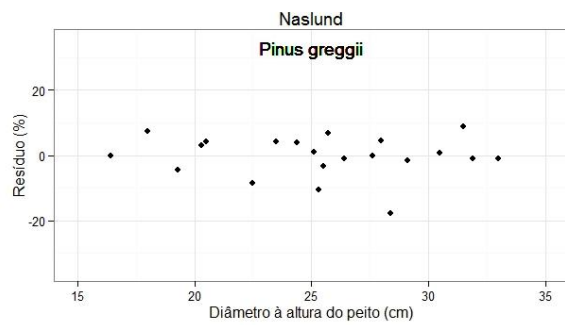
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE H - Distribuição dos resíduos para os cinco melhores ajustes de modelos volumétricos para cada espécie.



Continuação...

Continuação...



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE I - Modelos de crescimento para volume, coeficientes e estatísticas para as espécies.

<i>Pinus taeda</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	1,141	0,109	3,993	0,732	0,730	46,90
Von Bertalanfy	2,260	0,062	-	0,738	0,736	46,79
Gompertz	0,815	7,415	0,175	0,738	0,736	46,85
Logística	0,535	0,423	96,616	0,736	0,734	47,05
Monomolecular	8,106	0,005	1,021	0,718	0,716	48,59
Schumacher	0,294	-18,349	-	0,925	0,924	49,28

<i>Pinus elliottii</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	2,186	0,080	3,880	0,733	0,731	51,43
Von Bertalanfy	13,589	0,027	-	0,741	0,740	51,28
Gompertz	1,128	7,931	0,149	0,731	0,739	51,36
Logística	0,589	0,420	143,887	0,739	0,737	51,54
Monomolecular	10,745	0,004	1,016	0,702	0,700	55,06
Schumacher	0,384	-20,842	-	0,928	0,928	55,96

<i>Pinus greggii</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	0,864	0,142	4,033	0,680	0,680	47,56
Von Bertalanfy	1,273	0,092	-	0,690	0,689	47,53
Gompertz	0,717	6,979	0,202	0,691	0,688	47,60
Logística	0,546	0,428	66,986	0,688	0,685	47,83
Monomolecular	3,598	0,013	1,050	0,683	0,681	48,15
Schumacher	0,303	-16,303	-	0,913	0,913	48,77

<i>Pinus patula</i>						
Modelo	β_0	β_1	β_2	R ²	R ² aj.	Syx (%)
Chapman-Richards	1,270	0,111	3,982	0,735	0,734	43,15
Von Bertalanfy	2,448	0,063	-	0,742	0,741	43,10
Gompertz	0,915	7,381	0,176	0,742	0,741	43,15
Logística	0,606	0,423	94,363	0,740	0,738	43,34
Monomolecular	4,852	0,009	1,040	0,722	0,720	44,84
Schumacher	0,453	-18,567	-	0,924	0,923	48,17

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, = coeficientes do modelo estimados; R² = coeficiente de determinação; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx (%) = erro padrão da estimativa em percentual.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE J - Modelos de afilamento, coeficientes e estatísticas para as espécies.

<i>Pinus taeda</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ²	R ² aj.	Syx (cm)	Syx (%)
Schoepfer	1,44	-8,16	37,19	-82,11	79,83	-28,24	0,86	0,86	4,54	24,04
Kozak	1,24	-2,03	0,82	-	-	-	0,95	0,95	1,89	9,99
Hradetzky	1,32	1,94	-1,42	-0,05	-1,84	0,29	0,97	0,97	1,47	7,78
Potência selecionada		0,06	0,09	15	1	0,05				

<i>Pinus elliottii</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ²	R ² aj.	Syx (cm)	Syx (%)
Schoepfer	1,40	-7,94	36,20	-79,36	75,68	-25,80	0,85	0,85	4,51	22,85
Kozak	1,21	-2,06	0,91	-	-	-	0,95	0,95	1,66	8,40
Hradetzky	15,13	-0,12	-0,45	-4,78	-14,32	10,01	0,98	0,98	1,05	5,32
Potência selecionada		0,9	2	10	0,005	25				

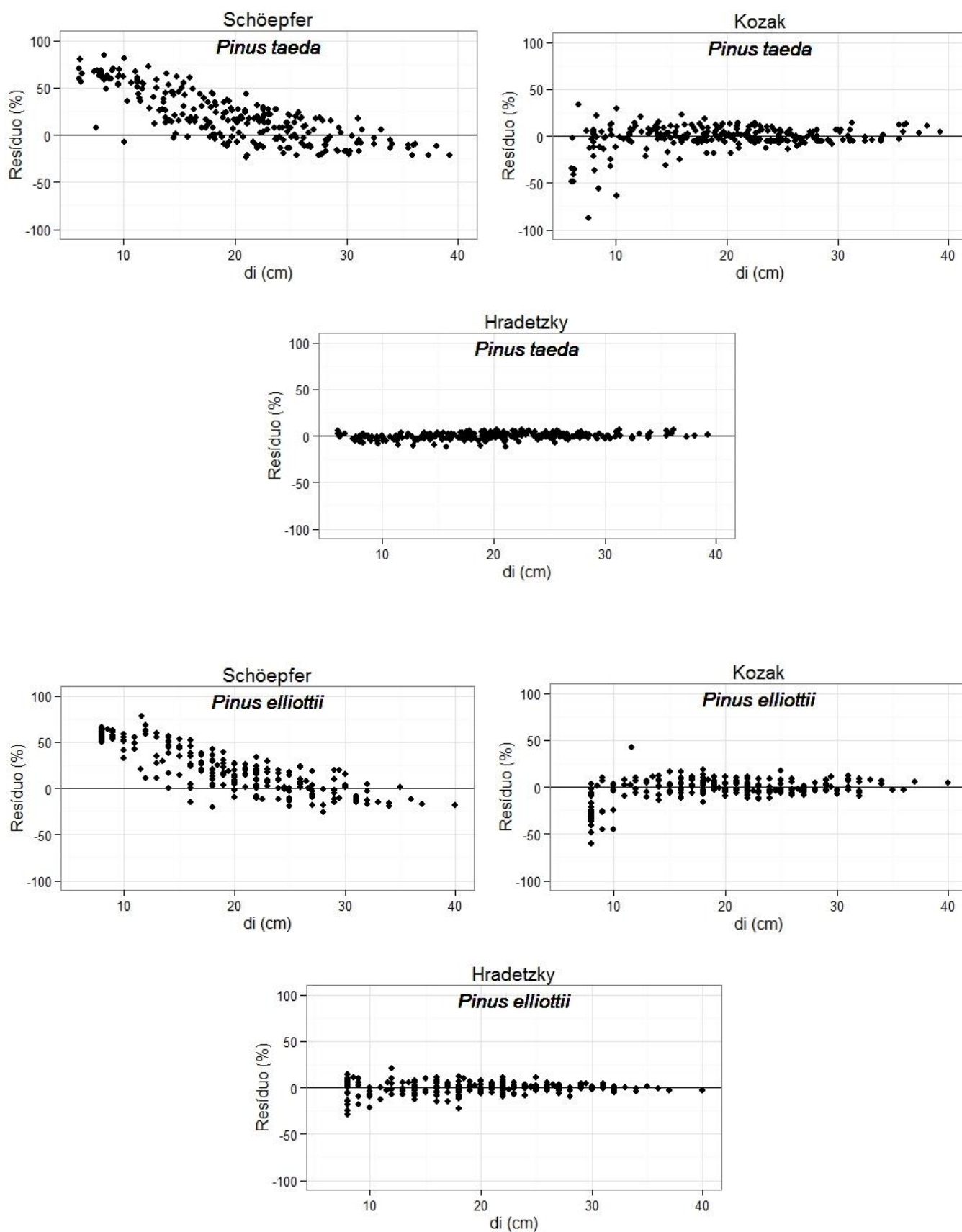
<i>Pinus greggii</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ²	R ² aj.	Syx (cm)	Syx (%)
Schoepfer	1,43	-8,80	41,74	-99,58	108,37	-43,83	0,83	0,83	5,04	26,16
Kozak	1,23	-2,34	1,26	-	-	-	0,95	0,95	1,68	8,73
Hradetzky	-235,28	260,63	-26,69	-6,54	-0,75	8,06	0,98	0,98	1,07	5,53
Potência selecionada		0,005	0,08	0,9	20	0,7				

<i>Pinus patula</i>										
Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ²	R ² aj.	Syx (cm)	Syx (%)
Schoepfer	1,68	-15,30	83,25	-207,34	231,69	-95,57	0,83	0,82	5,42	28,48
Kozak	1,31	-2,85	1,80	-	-	-	0,90	0,90	2,56	13,46
Hradetzky	-405,07	447,41	-8,65	-45,18	-0,29	11,80	0,96	0,96	1,54	8,09
Potência selecionada		0,005	0,9	0,08	3	0,7				

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = coeficientes do modelo estimados; R²: coeficiente de determinação; R²_{aj.}: coeficiente de determinação ajustado; Syx (cm): erro padrão de estimativa em centímetros; Syx (%): erro padrão da estimativa em percentual.

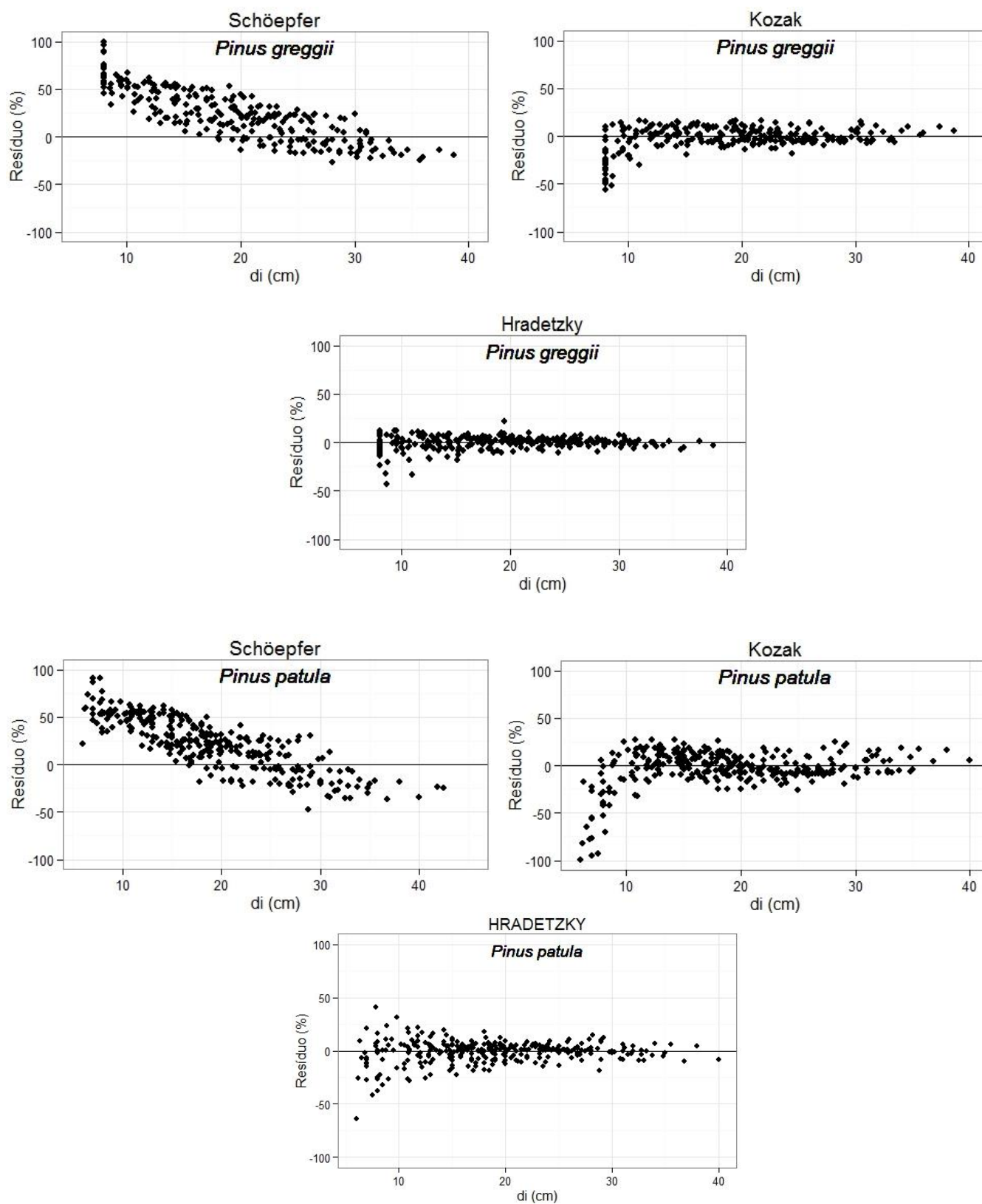
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

APÊNDICE K - Distribuição dos resíduos para ajustes de modelos de afilamento para cada espécie.



Continuação...

Continuação...



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).