

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Hendria Fogaça Almeida

**Modelagem matemática do crescimento inicial de *Pinus taeda* L. a partir de diferentes características dendrométricas individuais**

CURITIBANOS

2019

Hendria Fogaça Almeida

**Modelagem matemática do crescimento inicial de *Pinus taeda* L. a partir de diferentes características dendrométricas individuais**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal  
Orientador: Prof. Dr. Crysttian Arantes Paixão

Curitiba

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Almeida, Hendria Fogaça  
MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO INICIAL DE Pinus  
taeda L. A PARTIR DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS  
DENDROMÉTRICAS INDIVIDUAIS / Hendria Fogaça Almeida ;  
orientador, Crysttian Arantes Paixão, 2019.  
44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Engenharia Florestal. 3.  
Modelos Matemáticos. 4. Pinus taeda. I. Arantes Paixão,  
Crysttian. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Hendria Fogaça Almeida

MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L. A  
PARTIR DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS  
INDIVIDUAIS

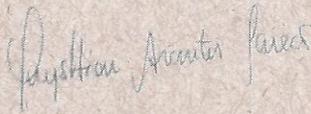
Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de  
"Bacharel em Engenharia Florestal" e aprovado em sua forma final pela Banca  
Examinadora.

Curitiba, 09 de julho de 2019.



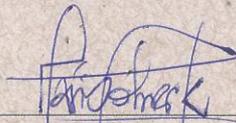
Prof. Marcelo Callegari Scipioni Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

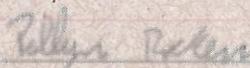


Prof. Crysttian Arantes Paixão Dr.  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



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



Prof. (a). Pollyni Ricken, Ma  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha avó Niria (*in memoriam*)  
que desde o início me incentivou e apoiou.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus que me deu oportunidades, força de vontade e coragem para superar todos os desafios.

Agradeço a minha família principalmente, por sempre me incentivar e me darem o máximo de si para que esse sonho se tornasse realidade.

Agradeço também a todos os meus professores, pelos ensinamentos durante toda a minha formação acadêmica.

Ao meu orientador Cristian Arantes Paixão, pelos puxões de orelha na hora certa e principalmente pela orientação e ajuda neste trabalho, e contribuição fundamental na minha formação.

A todos aos meus amigos (a) de faculdade, mas principalmente a Ana Paula, Francine e Luci por tantas noites estudando e por nunca me deixarem desistir e me ajudarem nessa jornada acadêmica.

E por fim, a todos que de alguma forma contribuíram nesse processo de formação acadêmica.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar as variáveis dendrométricas diâmetro do colo, altura total e altura da base da copa verde de mudas da espécie *Pinus taeda* L. para análise e avaliação do seu crescimento. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, no município de Curitibanos/SC. Ao todo foram avaliadas 18 mudas no período de 03/11/2017 até 30/08/2018. Este período contemplou as estações do ano primavera, verão, outono e inverno. As estações da primavera e verão apresentaram altas temperaturas com elevada precipitação. Já as estações de outono e inverno foram caracterizadas por temperaturas menores com baixo nível de precipitação. As variáveis diâmetro do colo e altura total apresentaram maior taxa de crescimento durante o verão (0,3993 cm/dia e 8,1200 cm/dia, respectivamente). Já com relação à altura da copa verde, a menor taxa de crescimento ocorreu no verão (-0,5464 cm/dia), sendo o número negativo decorrente do surgimento de novos galhos. Estas estimativas indicam que as mudas apresentaram um padrão de crescimento. Para descrever tais padrões foram utilizados modelos matemáticos, sendo selecionados os modelos Schumacher, Chapman-Richards e Backman modificado para o diâmetro do colo, altura total e altura da copa verde, respectivamente. Os modelos comprovaram que as mudas apresentaram um padrão de crescimento e pelas estimativas para um ano após a última coleta, indicaram que as mudas continuariam a crescer. Os resultados indicam que a espécie apresentou um padrão de crescimento para a região. Nesse contexto, sugere-se que novos estudos sejam realizados, por um período de tempo maior, para a comprovação do padrão de crescimento apresentado.

**Palavras-chave:** Espécie exótica. Medições. Modelo não linear.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the dendrometric variables of the collar diameter, the overall height and the base height of the green crown of *Pinus taeda* L. species for analysis of its growth. The experiment was realized at the experimental area of the Federal University of Santa Catarina - UFSC in Curitibanos/SC. In total, 18 seedlings were evaluated in the period from 11/11/2017 until 08/30/2018. This period contemplated the seasons of spring, summer, autumn and winter. The spring and summer seasons showed high temperatures with high precipitation. On the other hand, autumn and winter seasons presented lower temperatures with a low level of precipitation. The collar diameter and overall height variables showed the highest growth rate during the summer (0.3993 cm/day and 8,1200 cm/day, respectively). The base height of the green crown presented the lowest growth rate during the winter (-0.5464 cm/day), this number is negative because of the appearance of new branches. These estimates indicate that the seedlings presented a growth pattern. The Schumacher, Chapman-Richards and modified Backman models for the diameter, total height and base height of the green crown, respectively, were used to describe this pattern. The models verified that the seedlings showed a growth pattern and the estimates for one year after the last measurement indicated that the seedlings would continue to grow. The results indicate that the species presented a growth pattern for the region. In this context, it is suggested that new studies be performed, for a longer period, to prove the growth pattern presented.

**Keywords:** Exotic species. Measurements. Nonlinear model.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição e evolução da área com plantios de Pinus por Estado.....	17
Figura 2 - Mapa de localização de implantação do experimento.....	20
Figura 3 - Croqui do experimento.....	21
Figura 4 - Preparo do terreno para o plantio, (a) demarcação das mudas e mensuração da (b) altura total, (c) altura da base da copa verde, ambas com uma trena métrica e diâmetro do colo da muda com um paquímetro. ....	23
Figura 5 - Temperaturas Mínima, Média e Máxima registradas nos dias das coletas dos dados. As estações dos anos estão demarcadas, sendo possível verificar a idade da muda (eixo x) e a respectiva data de aferição das medidas no eixo acima do gráfico. ....	25
Figura 6 - Níveis de precipitação durante nos dias de coletas das informações das mudas selecionadas. Verifica-se que a Primavera e Verão são caracterizados por um volume maior de chuva do que o Outono e Inverno, que apresentam características de estiagem.....	26
Figura 7 - Valores do diâmetro do colo avaliado durante os 60 e 360 dias de vida de mudas de Pinus taeda durante as coletas dos dados entre 03/11/2017 e 30/08/2018. Destaca-se na imagem as estações do ano que ocorreram no período. ....	28
Figura 8 - Valores da Altura Total avaliada durante os 60 e 360 dias de vida de mudas de Pinus taeda durante as coletas dos dados entre 03/11/2017 e 30/08/2018. Destaca-se na imagem as estações do ano que ocorreram no período.....	29
Figura 9 - Valores da Altura da Copa Verde avaliada durante os 60 e 360 dias de vida de mudas de Pinus taeda durante as coletas dos dados entre 03/11/2017 e 30/08/2018. Destaca-se na imagem as estações do ano que ocorreram no período. ....	30
Figura 10 - Comportamento do diâmetro do colo para mais 1 ano de idade.....	33
Figura 11 - Comportamento da altura total da muda para mais um 1 ano. ....	36
Figura 12 - Comportamento da altura da base da copa verde para mais 1 ano de idade. ....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos utilizados para as variáveis diâmetro do colo, altura total e altura da base da copa verde.....	24
Tabela 2 - Taxa do crescimento do Diâmetro do colo (cm/dia), Altura total (cm/dia) e Altura da Copa Verde (cm/dia) durante as estações do ano no período de coleta dos dados. ....	28
Tabela 3 - Estimativa dos parâmetros dos modelos avaliados.....	30
Tabela 4 - Resultados dos índices coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$ adapt.), coeficiente de correlação (COR) e erro quadrático médio (EQM) para avaliar qualidade dos ajustes dos modelos utilizados. Para a seleção dos modelos utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação bayesiano (BIC).....	32
Tabela 5 - Estimativas, limite inferior e superior do intervalo de confiança e os respectivos valores-p dos parâmetros do modelo Schumacher.....	32
Tabela 6 - Estimativa dos parâmetros dos modelos avaliados.....	34
Tabela 7 - Resultados dos índices coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$ adapt.), coeficiente de correlação (COR) e erro quadrático médio (EQM) para avaliar qualidade dos ajustes dos modelos utilizados. Para a seleção dos modelos utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC) e O critério de informação bayesiano (BIC).....	34
Tabela 8 - As respectivas estimativas, dos limites inferior e superior do intervalo de confiança e valores-p dos parâmetros do modelo Chapman-Richards. ....	35
Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros dos modelos avaliados para a variável altura da base da copa verde.....	37
Tabela 10 - Resultados dos índices coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$ adapt.), coeficiente de correlação (COR) e erro quadrático médio (EQM) para avaliar qualidade dos ajustes dos modelos utilizados. Para a seleção dos modelos utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC) e O critério de informação bayesiano (BIC). ....	38
Tabela 11 - As respectivas estimativas, os limites superior e inferior do intervalo de confiança e os valores-p dos parâmetros do modelo Backman modificado. ....	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
3.1	O SETOR DE FLORESTAS PLANTADAS .....	16
3.2	A ORIGEM DO PINUS E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	17
3.3	MODELOS DE CRESCIMENTO EM FLORESTAS.....	18
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1	ÁREA DO EXPERIMENTO E CROQUI.....	21
4.2	DEMARCAÇÃO DAS MUDAS E COLETA DOS DADOS.....	22
4.3	MEDIÇÕES DENDROMÉTRICAS.....	22
4.4	TRATOS CULTURAIS.....	23
4.5	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	23
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
5.1	DADOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS AO PERÍODO DE MONITORAMENTO DO EXPERIMENTO.....	25
5.2	PADRÃO DE CRESCIMENTO DO DIÂMETRO DO COLO, ALTURA TOTAL E ALTURA DA BASE DA COPA VERDE .....	26
5.3	AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL DENDROMÉTRICA DIÂMETRO DO COLO .....	30
5.4	AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL DENDROMÉTRICA ALTURA TOTAL.....	33
5.5	AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL DENDROMÉTRICA ALTURA DA BASE DA COPA VERDE.....	36
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

<b>APÊNDICE A – Mapa de localização do experimento.....</b>	<b>44</b>
---	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

*Pinus taeda* L é uma das espécies florestais mais cultivadas no Brasil. O gênero ocupa 1,6 milhão de hectares, a qual se concentra no Paraná com 42% e em Santa Catarina com 34%. As áreas plantadas do gênero veem diminuindo nos últimos cinco anos, sendo substituído pelo gênero eucalipto. Contudo, os plantios florestais de pinus têm-se mantido constantes na região Sul pela adaptação que a espécie possui de solo e clima (IBA, 2017).

No Brasil, o plantio de povoamentos é considerado uma atividade econômica importante, destinada a diversos setores como celulose e papel, indústrias siderúrgicas de carvão vegetal, painéis reconstituídos e em menor escala no segmento de móveis e serrados e outros produtos sólidos (Associação Catarinense de Empresas Florestais – ACR, 2016).

Nas últimas décadas, os investimentos no gênero pinus foram expressivos para atender indústrias diversificadas, como painéis reconstituídos, ramo de celulose e papel de fibra longa e de madeira sólida. Possuem uma grande versatilidade e um rápido crescimento com rotações que variam de 20 - 25 anos com desbastes intermediários, e outras com regimes mais curtos de 16 -18 anos com ou sem desbastes intermediários dependendo da finalidade da matéria – prima. As taxas de crescimento podem chegar aproximadamente 44 m<sup>3</sup>/ha/ano, porém podem variar conforme o local e o material genético plantado (Associação Catarinense de Empresas Florestais – ACR, 2016).

Visando a produtividade dos povoamentos, diversos pesquisadores, como WOLFF II (2019), CERQUEIRA (2017) e NICOLETTI (2017) estudaram o desenvolvimento de modelos capazes de predizer o crescimento e a produção de florestas, mas os fatores como, clima, espaçamento, idade, tratos silviculturais, entre outros deixam claro que o sistema é complexo. Embora, o estudo de atividades ligadas ao setor florestal nas últimas décadas tenha aumentado, ainda é possível empregar o uso de novas metodologias.

Os modelos matemáticos são importantes, pois permitem inferir sobre mudanças ocorridas na produtividade e estrutura dos povoamentos, considerando

variáveis pertinentes ao processo a ser modelado. Ao definir o melhor modelo matemático, o profissional da área terá as condições de tomar decisões sobre o planejamento da colheita, diminuição de custos entre outras características dendrométricas, visando à qualidade do produto final e permitindo atualizar dados passados e projetar os povoamentos no futuro (LOYOLA, 2005)

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação do crescimento de *Pinus taeda* no município de Curitibanos/SC a partir de diferentes características dendrométricas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características dendrométricas da espécie *Pinus taeda* através de medições do diâmetro do colo da muda, altura total e altura da base da copa verde;
- Seleção dos modelos matemáticos/estatísticos com base nos dados mensurados para a realização dos estudos;
- Validação e análise dos modelos selecionados, e o cálculo das estimativas para a determinação do padrão de crescimento.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O SETOR DE FLORESTAS PLANTADAS

O setor brasileiro de árvores plantadas é considerado responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB (Produto Interno Bruto) industrial no país. Atualmente, tornou-se uma referência no mundo todo, por se desenvolver e atuar também nas áreas de inovação, sustentabilidade e competitividade. A matéria prima da madeira de povoamentos destina-se a diversos fins de produtos e subprodutos presentes em nossas casas e em nosso cotidiano, como painéis de madeira, celulose, papel, carvão vegetal, pisos laminados e biomassa. O setor traz contribuições positivas para o Brasil, destacando-se em geração de empregos e renda para todas as regiões do país. Pensando também em desenvolvimento sustentável, como citado anteriormente, o setor tem investido para transformar resíduos e subprodutos dos processos das indústrias em produtos renováveis e inovadores (IBÁ, 2017).

Para atender a demanda de projeções realizadas recentemente, na qual a população mundial atingirá 9,1 bilhões de pessoas até 2050, torna-se necessário adicionar 250 milhões de hectares de árvores plantadas no mundo. Entretanto, as expectativas futuras são que se utilize 100% da floresta, aproveitando tudo o que ela tem a nos oferecer, diversificando cada vez mais seus usos. Esses usos podem ser na produção de etanol de segunda geração, nano fibras, óleos, entre outros. Com isso, a produção pode ser utilizada em diversas áreas como química, cosmética, alimentícia, indústrias automobilísticas, têxtil, farmacêutica e aeronáutica (IBÁ, 2017).

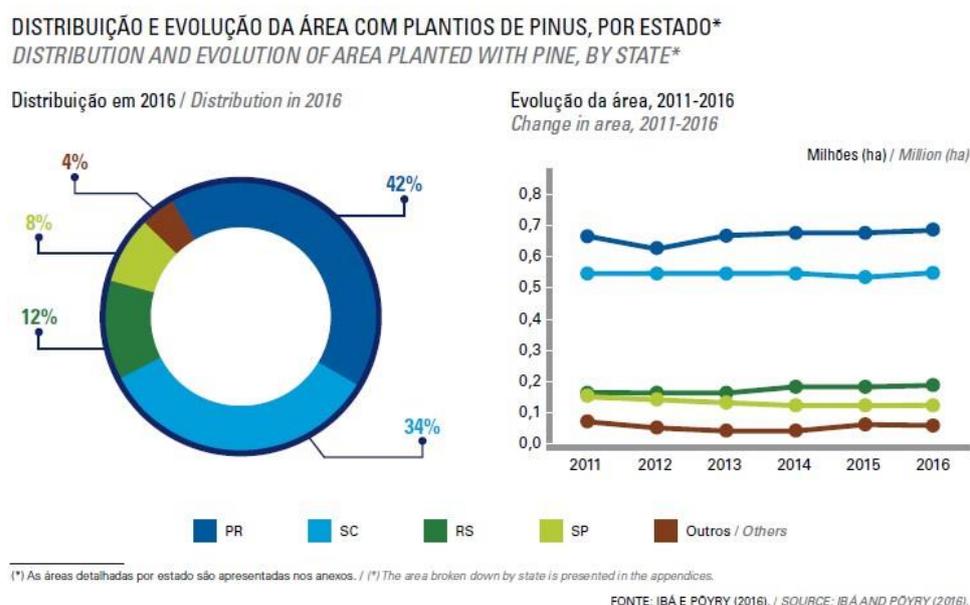
Nos últimos anos, o maior rigor na extração e transporte de madeira proveniente de florestas nativas levou a valorização cada vez maior de florestas plantadas. Por conta disto houve uma intensificação na procura por espécies de crescimento rápido, como as do gênero pinus (MURARA JUNIOR et al., 2013).

As plantações de pinus são de grande importância para o setor florestal brasileiro, pois agregam valor para pequenos produtores e para vários segmentos industriais como os de laminação, serraria, papel e celulose, entre outros. Existe plena condição para que os plantios se estendam pelas regiões tropicais, com a utilização

de espécies adequadas, porém a produção brasileira de pinos concentra-se nas regiões Sul e Sudeste (SHIMIZU, 2008).

As diversas espécies do gênero *Pinus* atualmente plantadas nas regiões sul e sudeste do Brasil foram introduzidas recentemente, por volta de 1954, com o objetivo principal de substituir a madeira de *Araucária angustifolia*, cujos povoamentos naturais encontravam-se cada vez mais escassos. Os plantios de *Pinus* tiveram grande crescimento a partir da década de 60, com a implantação de políticas de incentivos fiscais, sendo que somente em 1975 dos 459 mil hectares do Estado de São Paulo, cerca de 190 mil eram do gênero *Pinus* (MONTAGNATA & YAMAZOC, 1978). A preferência pelo gênero se dá pelo crescimento rápido, alcançando grandes incrementos corrente anual em altura (SELLE et. al., 1994). Na Figura 1 pode-se observar a evolução das áreas plantadas com *Pinus* nos principais estados.

Figura 1 - Distribuição e evolução da área com plantios de *Pinus* por Estado.



Fonte: IBÁ, 2017.

### 3.2 A ORIGEM DO PINUS E SUAS CARACTERÍSTICAS

Há mais de um século o gênero *Pinus* vem sendo cultivado no Brasil. No começo por imigrantes europeus com o objetivo de produção de madeira,

principalmente para fins ornamentais. Com o passar dos anos, o Serviço Florestal do Estado de São Paulo, em 1948, introduziu outras espécies, dentre elas *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* var. *elliottii* oriundos dos Estados Unidos da América. A tecnologia atual, com destaque ao melhoramento genético, fez com que a madeira ganhasse em qualidade e produtividade (SHIMIZU, 2008).

O *Pinus taeda* L. é uma espécie exótica, que se origina das planícies adjacentes ao Golfo do México e costa atlântica do sudeste dos Estados Unidos. É conhecida por Loblolly pine (KRAMBECK & SIMAO, 2003), planta rústica e resistente a doenças e pragas, com crescimento rápido (YOSHITANI JUNIOR, 2009), de clima úmido, temperado ameno com verões quentes e longos. Suporta grandes geadas no inverno, com temperaturas que podem variar de 13°C a 24°C, podendo chegar a mínimas extremas de -23°C e precipitações pluviométricas de 1020mm a 1500mm. No Brasil, essas condições são encontradas nas regiões Sul e Sudeste, favorecendo a adaptação da espécie (EMBRAPA, 2014).

### 3.3 MODELOS DE CRESCIMENTO EM FLORESTAS

Um modelo biológico expressa uma hipótese lógica relacionada à biologia do crescimento. Esses estudos, relacionados ao crescimento e produção das florestas, iniciaram na Europa, sendo desenvolvidos até os dias atuais. Na literatura, crescimento é sinônimo de soma de incremento contínuo, ou seja, que se acumula. A equação do modelo deve ser expressa como uma função de tempo ou idade, e deve ter um parâmetro que descreve as condições iniciais. Por isso, os modelos matemáticos são muito importantes, pois utilizam as equações como ferramenta para descrever o crescimento e a produção em determinadas condições (SILVA, 2015).

Existem muitos modelos empregados para descrever as características dendrométricas, como o modelo matemático de Schumacher. Este modelo é muito utilizado para descrever o crescimento em altura de uma determinada planta (SILVA, 2015). Já o modelo de Von Bertalanffy é bastante empregado em estudos de crescimento de seres aquáticos e também foi utilizado com estudos da espécie eucaliptos (MISCHAN & PINHO, 2014). (SILVA et al., 2017).

Um outro modelo muito utilizado é o de Chapman – Richards. Este modelo é considerado do tipo teórico, pois quando observado os seus coeficientes, estes são

associados a algum fenômeno ou característica biológica (WENDLING, 1998). Em contrapartida ao modelo de Chapman – Richards, existe o modelo Prodan. Esse modelo é classificado como empírico. Seus coeficientes não são explicitamente considerados biológicos, mas descrevem o comportamento das variáveis dependentes sem hipóteses ou explanação de um fenômeno (WENDLING, 1998).

Em 2010, Hesse propôs o modelo Moissev. Este modelo foi utilizado em um estudo de crescimento em volume de araucária na região do Rio Grande do Sul (HESS, 2010).

Para complementar os modelos apresentados, destacamos o Backman e Backman modificado. Esses modelos foram utilizados em estudos para estimativas de alturas (CHAVES, 2013). A modificação corresponde a remoção de um parâmetro do modelo Backman, gerando o modelo Backman modificado.

Todos os modelos citados relacionam a variável  $y$ , característica que se deseja modelar, em função do tempo  $t$ . As equações dos modelos podem ser verificadas detalhadamente na Tabela 1.

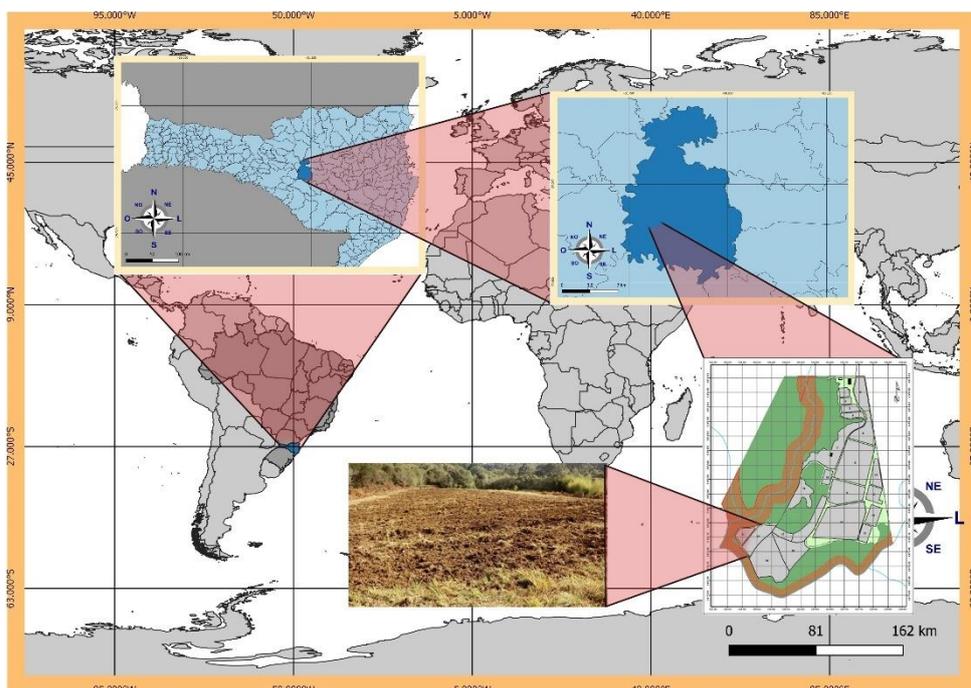
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A instalação do experimento e coleta dos dados foi realizada na Fazenda Experimental Florestal - AEF, localizada no município de Curitibanos S/C. A AEF possui uma área de 31,9 ha destinados aos mais diversos projetos na área florestal, como ecologia, fitossociologia, melhoramento e produção florestal. Na área são realizados vários projetos em parcerias com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – FLORESTAS), Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

(EPAGRI) e Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. O experimento de *Pinus taeda* possui 0,5 ha e está localizado no talhão 20 da AEF (Apêndice A).

Na figura 2 pode-se verificar em detalhe a área onde o experimento foi implantado.

Figura 2 - Mapa de localização de implantação do experimento.



Fonte: Elaborado pela Autora. Pode-se ter uma melhor visualização do mapa no Apêndice A.

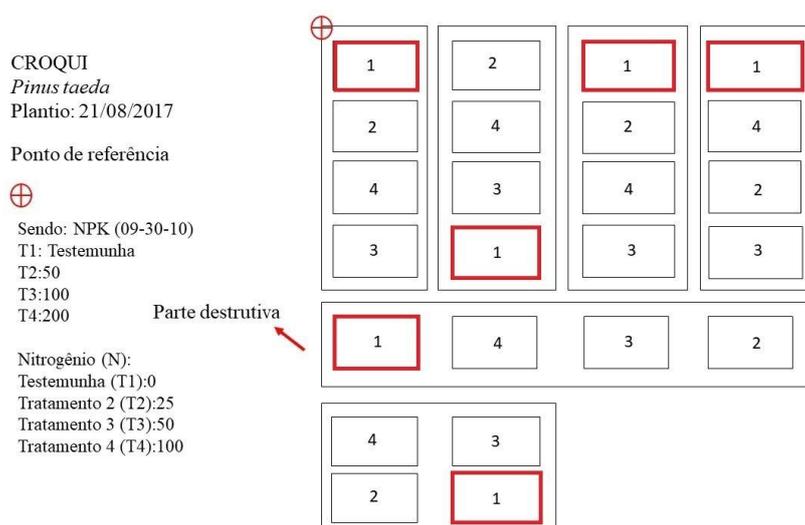
#### 4.1 ÁREA DO EXPERIMENTO E CROQUI

Para a instalação do experimento foi necessário a preparação da área. Esta preparação foi composta pela remoção da vegetação presente no local e da preparação do solo. Ambos os procedimentos foram realizados por funcionários da UFSC.

O experimento foi realizado em Delineamento em Blocos Casualizados - DBC, sendo 6 blocos com 4 parcelas (Figura 3). Cada parcela possui dimensões de 2,5m x 2,5m, nas quais foram criadas cinco linhas com cinco plantas. Os tratamentos e a testemunha foram previamente sorteados dentro de cada bloco utilizando o pacote *agricolae* (MENDIBURU, 2017) do *software* R (R CORE e TEAM, 2019). Para a realização do estudo de modelagem do crescimento foram sorteadas 3 mudas por bloco da testemunha, totalizando 18 mudas para monitoramento e avaliação.

No dia 21 de agosto de 2017 realizou-se então o plantio de 500 mudas clones de *Pinus taeda* doadas pela Arborgen, empresa líder mundial na produção de mudas florestais para a indústria. O processo do plantio contou com ajuda de funcionários e alunos voluntários da UFSC.

Figura 3 - Croqui do experimento.



Fonte: A autora.

## 4.2 DEMARCAÇÃO DAS MUDAS E COLETA DOS DADOS

A primeira coleta dos dados ocorreu no dia 03 de novembro de 2017. Realizadas de 15 em 15 dias.

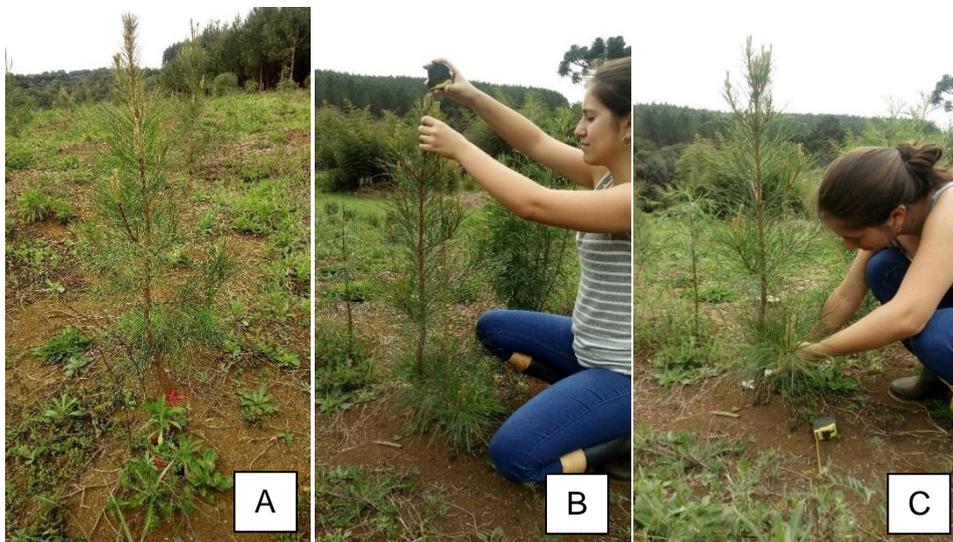
$$n = \left( \frac{t_{(n-1, \gamma)} s}{e_{max}} \right)^2 \quad (1)$$

Inicialmente calculou-se o número ideal da amostra de mudas, por meio da equação (1). Para o cálculo do tamanho da amostra, avaliaram-se os dados de 10 amostras piloto. Do experimento, utilizou-se o desvio padrão (s) no valor de 3,99. O erro máximo ( $e_{max}$ ) utilizado no valor de 2,1 considerando um nível de 5% de significância para utilizar o valor da tabela t. O valor para o tamanho da amostra do experimento foi 18 mudas, sendo nesse valor as análises baseadas. Vale ressaltar que houve um intervalo de 2 meses entre a última e a penúltima coleta, por este motivo se fez necessário o descarte da última coleta para não prejudicar a modelagem.

## 4.3 MEDIÇÕES DENDROMÉTRICAS

Nas mudas demarcadas foram realizadas medições de algumas características importantes para descrever o crescimento. Tais características corresponderam ao diâmetro de colo, rente ao solo mensurado com um paquímetro, altura da copa verde e altura total de cada muda, mensuradas com uma fita métrica. O processo de mensuração está demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Preparo do terreno para o plantio, (a) demarcação das mudas e mensuração da (b) altura total, (c) altura da base da copa verde, ambas com uma trena métrica e diâmetro do colo da muda com um paquímetro.



Fonte: A autora.

#### 4.4 TRATOS CULTURAIS

O coroamento das mudas foi realizado para manter sempre limpa a área ao seu redor evitando o abafamento. O controle de formigas seguiu a mesma estratégia, sendo aplicado se necessário. Nos meses iniciais foram realizados alguns replantios com clones idênticos, em decorrência da mortalidade.

#### 4.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados coletados durante o período de acompanhamento do experimento foram processados utilizando a linguagem R (R CORE TEAM, 2019). Para descrever o comportamento das características avaliadas foram utilizados modelos matemáticos Prodam, Backman, Backman modificado, Schumacher, Chapman-Richards, Moissev, e Bertalanffy apresentados na Tabela 1.

Os modelos foram estimados segundo as metodologias estatísticas de regressão não linear (MISCHAN, 2014). Os procedimentos consistiam em avaliar as estimativas dos parâmetros (teste t) e a qualidade de ajuste de cada modelo (coeficiente de determinação ( $R^2$ ) adaptado, coeficiente de correlação, erro padrão residual e gráfico dos resíduos). Uma vez ajustados, procedeu-se a seleção dos melhores modelos pelos critérios de seleção AIC e BIC. A partir da seleção do melhor modelo, foi realizada a previsão dos valores das características mensuras para o período de 1 ano.

Tabela 1 - Modelos utilizados para as variáveis diâmetro do colo, altura total e altura da base da copa verde.

Modelo Matemático	Equação matemática
Prodan	$y = \frac{t^2}{\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2}$
Schumacher	$y = e^{\beta_0 + \beta_1 (\frac{1}{t})}$
Moissev	$y = e^{\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3}$
Backman modificado	$y = e^{\beta_1 \ln t + \beta_2 \ln^2 t}$
Chapman-Richards	$y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2}$
Backman	$y = e^{\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 \ln^2 t}$
Bertalanffy	$y = \beta_0 (1 - e^{\beta_1 t})^3$

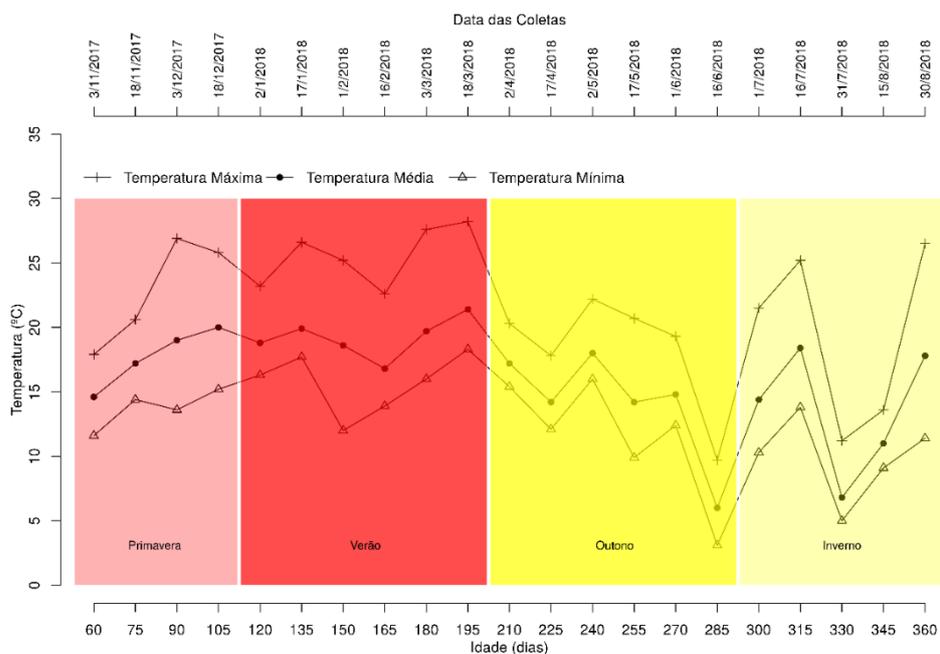
Em que:  $y$  a variável a ser analisada,  $t$  o tempo e  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  os coeficientes a serem estimados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DADOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS AO PERÍODO DE MONITORAMENTO DO EXPERIMENTO.

Na figura 5 é possível verificar as temperaturas mínima, média e máxima nos respectivos dias de aferição. Verifica-se que as temperaturas são maiores as estações da Primavera e Verão, caindo bruscamente nas estações de Outono e Inverno.

Figura 5 - Temperaturas Mínima, Média e Máxima registradas nos dias das coletas dos dados. As estações dos anos estão demarcadas, sendo possível verificar a idade da muda (eixo x) e a respectiva data de aferição das medidas no eixo acima do gráfico.

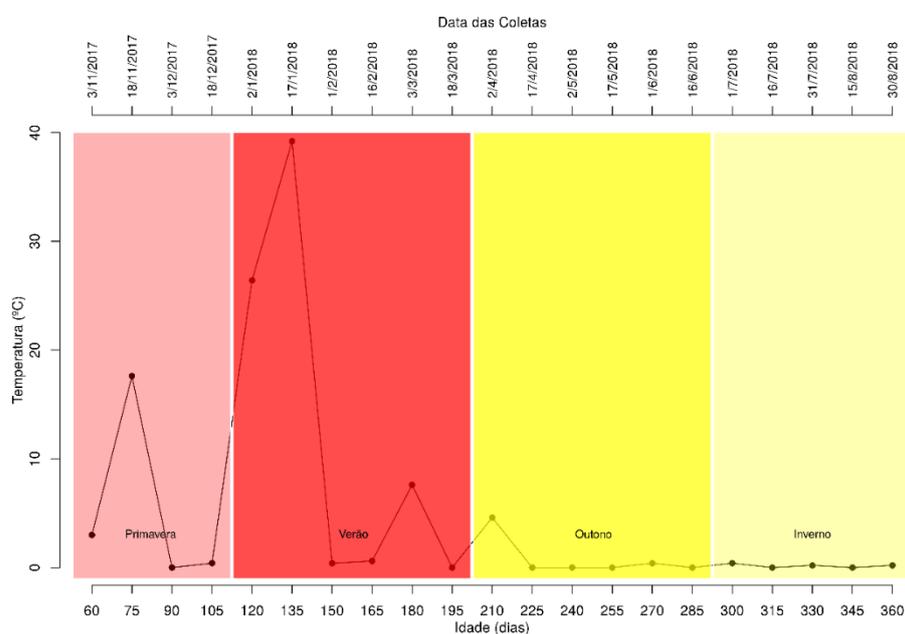


Fonte: A autora.

Na figura 6 pode-se verificar os níveis de precipitação durante as coletas das informações do experimento. Verifica-se que os maiores índices de precipitação ocorrem na primeira e em maior volume no verão. O outono e inverno são caracterizados por poucas chuvas.

As temperaturas e a precipitação apresentadas nas Figuras 5 e 6 caracterizam as condições climáticas da região onde o experimento foi implantado. Primavera e Verão quentes e chuvosos, e Outono e Inverno com baixas temperaturas e com estiagem.

Figura 6 - Níveis de precipitação durante nos dias de coletas das informações das mudas selecionadas. Verifica-se que a Primavera e Verão são caracterizados por um volume maior de chuva do que o Outono e Inverno, que apresentam características de estiagem.



Fonte: A autora.

## 5.2 PADRÃO DE CRESCIMENTO DO DIÂMETRO DO COLO, ALTURA TOTAL E ALTURA DA BASE DA COPA VERDE

Nas Figuras 7, 8 e 9 estão representados os padrões de crescimento para as variáveis dendrométricas Diâmetro do Colo, Altura Total e Altura da Copa Verde, respectivamente. Na tabela 2 estão representadas as taxas de crescimento para as variáveis Diâmetro do colo, Altura Total e Altura da Copa Verde para as estações do ano. As taxas foram calculadas considerando o crescimento de cada uma das variáveis mencionadas anteriormente no período de vida da muda entre início e no fim da respectiva estação.

Ao analisar as Figuras 7, 8 e 9 e a Tabela 2 com relação ao diâmetro do colo foi possível verificar que no verão, em decorrência das altas temperaturas e das chuvas as mudas apresentaram a maior taxa de desenvolvimento (0,3993 cm/dia). Segundo Bernert (2017), a formação dos anéis de crescimento primaveris, ocorrem nessas estações, o que ocorreu no estudo como observado. Já para a variável altura total constata-se novamente o maior desenvolvimento do período do verão (8,12cm/dia). Ao analisar a Altura da Base da Copa Verde, verifica-se que ao contrário das duas primeiras características, um crescimento negativo (-0,5464cm/dia). Esse fato se justifica pelo crescimento da muda, com inserção de novos galhos. Os resultados indicam que as altas temperaturas e a presença de chuvas promoveram o crescimento do Pinus no experimento.

Apesar das taxas das outras estações serem inferiores a da estação do Verão, pode-se constatar que existe um padrão de crescimento, pois os valores para as taxas de crescimento do diâmetro do colo e altura total são positivos. Machado et al. (2014), analisou o efeito das variáveis climáticas no crescimento em diâmetro e altura da espécie *Pinus taeda* na região de Curitiba/Paraná e constatou que em três anos de avaliações, as duas variáveis apresentaram relação proporcional com a temperatura, também notado no presente estudo, e a altura da Base da Copa Verde apresenta valores positivos, indicando que as árvores está crescendo em altura, e negativos, indicando a formação de mais galhos, indicando o desenvolvimento da muda. A média descrita na tabela 2 corresponde exatamente a taxa de crescimento da muda em todo o período que foi avaliado, observa-se um valor de 0,1359 cm/dia para o diâmetro do colo, 2,7618 cm/dia para a altura total, indicando o crescimento das mudas durante o período de avaliação e o valor de -0,1839 cm/dia, demonstrando o aparecimento de novos galhos, evidenciando o desenvolvimento das mudas em média.

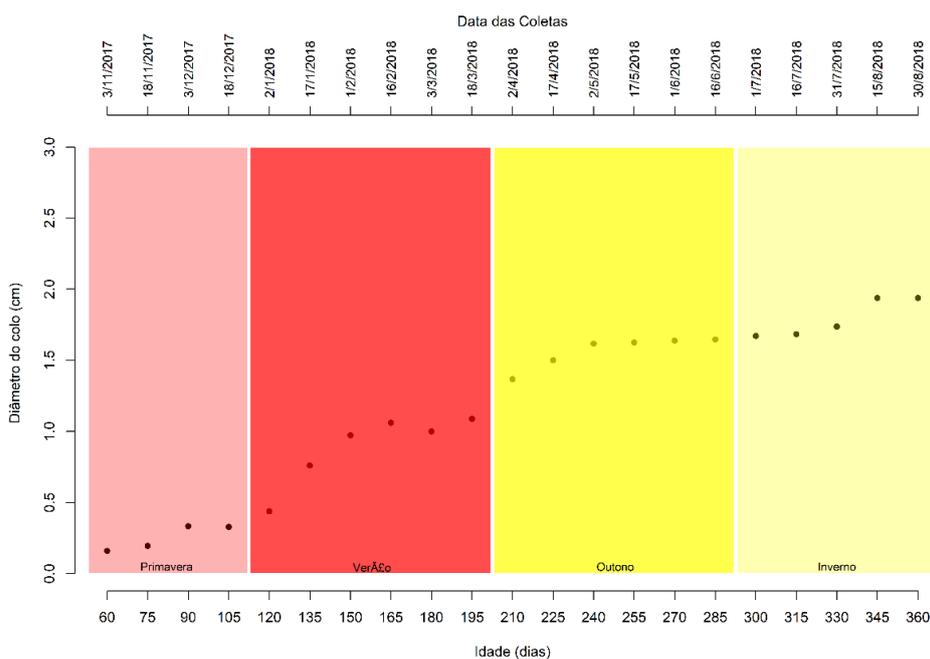
Tabela 2 - Taxa do crescimento do Diâmetro do colo (cm/dia), Altura total (cm/dia) e Altura da Copa Verde (cm/dia) durante as estações do ano no período de coleta dos dados.

Estação do ano	Diâmetro do colo (cm/dia)	Altura Total (cm/dia)	Altura da Copa Verde (cm/dia)
Primavera	0,0037	0,1522	0,0728
Verão	0,3993	8,1200	-0,5464
Outono	0,0036	0,0711	0,0272
Inverno	0,0048	0,0944	-0,0326
Média	0,1359	2,7618	-0,1839

Fonte: A autora.

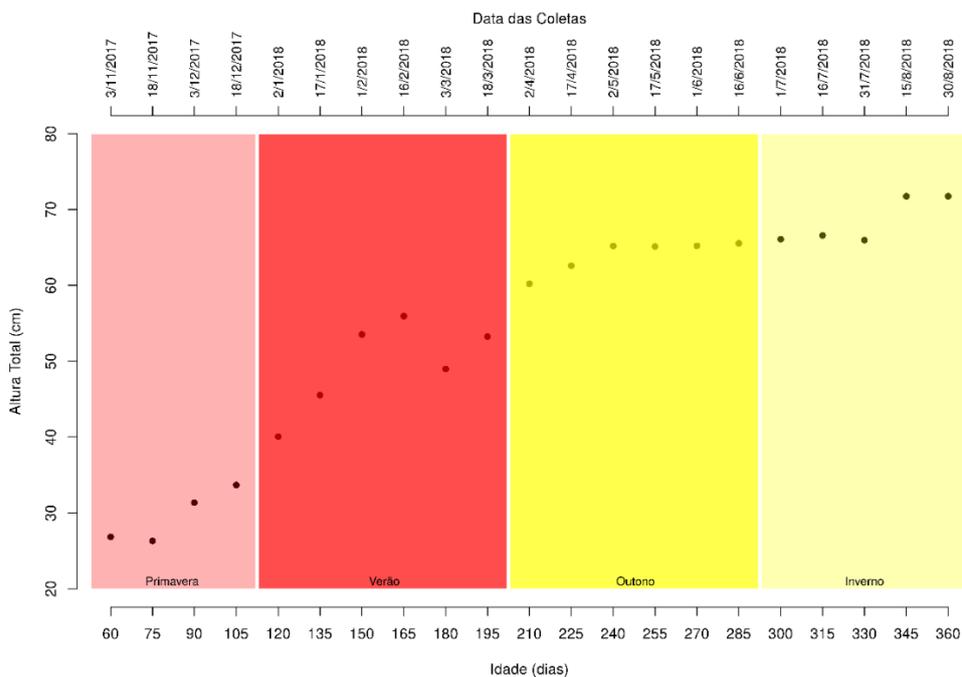
Para determinar esse padrão e realizar a previsão do crescimento foi realizado uma avaliação por meio de modelos matemáticos. Os resultados estão apresentados na próxima seção.

Figura 7 - Valores do diâmetro do colo avaliado durante os 60 e 360 dias de vida de mudas de Pinus taeda durante as coletas dos dados entre 03/11/2017 e 30/08/2018. Destaca-se na imagem as estações do ano que ocorreram no período.



Fonte: A autora.

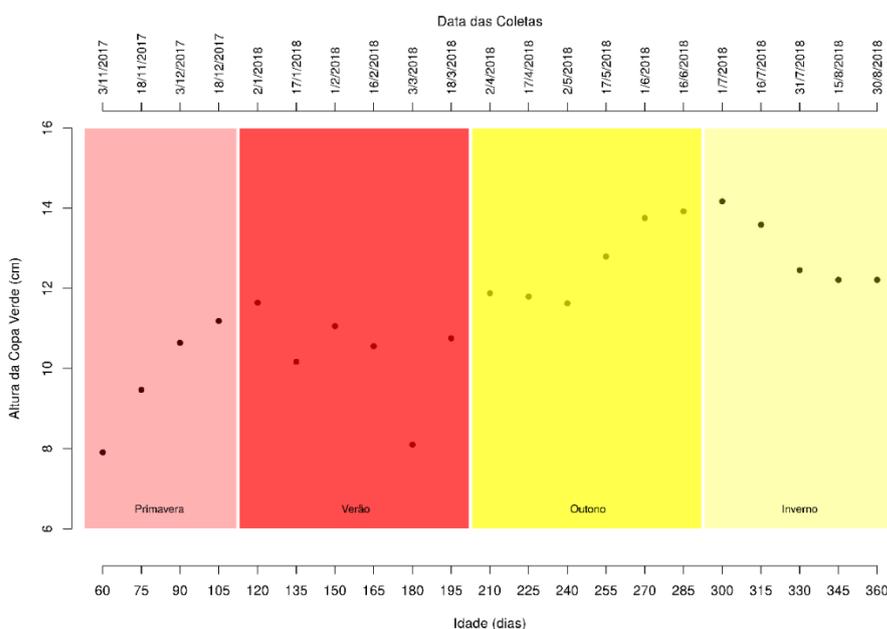
Figura 8 - Valores da Altura Total avaliada durante os 60 e 360 dias de vida de mudas de *Pinus taeda* durante as coletas dos dados entre 03/11/2017 e 30/08/2018. Destaca-se na imagem as estações do ano que ocorreram no período.



Fonte: A autora.

Figura 9 - Valores da Altura da Copa Verde avaliada durante os 60 e 360 dias de vida de mudas de Pinus taeda durante as coletas dos dados entre 03/11/2017 e 30/08/2018.

Destaca-se na imagem as estações do ano que ocorreram no período.



Fonte: A autora.

### 5.3 AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL DENDROMÉTRICA DIÂMETRO DO COLO

Na Tabela 3 consta os coeficientes obtidos após as análises para a variável “diâmetro do colo”.

Tabela 3 - Estimativa dos parâmetros dos modelos avaliados.

Modelos	Coeficientes		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Schumacher	1,252	-210,353	-
Prodan	33,258,225	-144,825	0,685
Bertalanffy	2,179	-0,008	-
Chapman-Richards	1,998	0,011	4,461
Backman	-28,596	9,737	0,811

Fonte: A autora.

Uma vez estimados os parâmetros dos modelos, torna-se necessário avaliar a qualidade do ajuste e selecionar o modelo que melhor descreve o comportamento para o diâmetro do colo. Para isso, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) adaptado, coeficiente de correlação e erro padrão residual. Na Tabela 3 pode-se verificar as estimativas dos índices de qualidade de ajuste. Todos os modelos apresentaram altos valores de coeficiente de determinação, de correlação e baixos valores para o erro quadrático médio. Para realizar a seleção do melhor modelo utilizou-se os critérios de informação de Akaike (AIC) e critério de informação Bayesiano (BIC). Como se tratam de modelos diferentes números de parâmetros, esses critérios consideram uma penalização para os modelos com muitos parâmetros, permitindo uma comparação mais justa entre os modelos. Pelos AIC e BIC, como demonstrado na Tabela 3, o melhor modelo foi o modelo Schumacher, pois apresentou AIC no valor de -32,633 e BIC de -29,360.

Uma vez determinado o melhor modelo, torna-se necessário avaliar os seus parâmetros. O teste escolhido para avaliar é o teste t ao nível de 5% de significância. As estimativas dos parâmetros, com os respectivos intervalos de confiança e o p-valor do teste t estão representados na Tabela 4. Por apresentarem p-valor abaixo de 5%, ambos os parâmetros são significativos, logo o modelo pode ser utilizado para descrever o comportamento do crescimento do diâmetro. O modelo com os respectivos parâmetros está representado na equação 1.

$$y = e^{1,252 - \frac{210,353}{t}} \quad (2)$$

Uma vez determinado o modelo, podemos descrever o comportamento do crescimento do diâmetro. O padrão do crescimento do diâmetro do colo está ilustrado na Figura 6 pela curva na cor vermelha. Observe que a curva descreve um comportamento de redução do crescimento para uma estabilização. Isso ocorre devido ao termo do modelo descrito na equação 2 o parâmetro do tempo possuir valor negativo. Por se tratar de uma muda, torna-se necessário mais medidas para ajustar novamente os modelos até chegar a um que descreva o comportamento das árvores

que se originaram das mudas avaliadas. Observe que o padrão do crescimento, apesar de indicar uma estabilização, verifica-se que este determina que as mudas, com relação do diâmetro do colo, continuarão a se desenvolver. A previsão está representada pela curva vermelha na Figura 10. O comportamento da curva indica que as mudas estão se desenvolvendo para os próximos 360 dias.

Aos 180 dias após o plantio Thomas (2007), observou mudas com 0,276 cm de diâmetro do colo ainda no viveiro. No presente estudo, aos 180 dias no campo o valor médio estimado para o diâmetro foi de 1,086 cm.

Tabela 4 - Resultados dos índices coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$  adapt.), coeficiente de correlação (COR) e erro quadrático médio (EQM) para avaliar qualidade dos ajustes dos modelos utilizados. Para a seleção dos modelos utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação bayesiano (BIC).

<b>Parâmetros do ajuste</b>					
<b>Modelos</b>	<b><math>R^2</math> adapt.</b>	<b>COR</b>	<b>EQM</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
Schumacher*	0,975	0,987	0,097	-32,633	-29,360
Prodan	0,979	0,989	0,090	-27,572	-23,208
Bertalanffy	0,976	0,988	0,094	-29,256	-25,983
Chapman-Richards	0,979	0,989	0,089	-27,364	-23,000
Backman	0,979	0,989	0,091	-27,683	-23,319

Fonte: A autora.

Ao aplicar o teste t para os coeficientes de regressão, notou-se que todos foram significativos ao nível de 5%. As estimativas para os parâmetros estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativas, limite inferior e superior do intervalo de confiança e os respectivos valores-p dos parâmetros do modelo Schumacher.

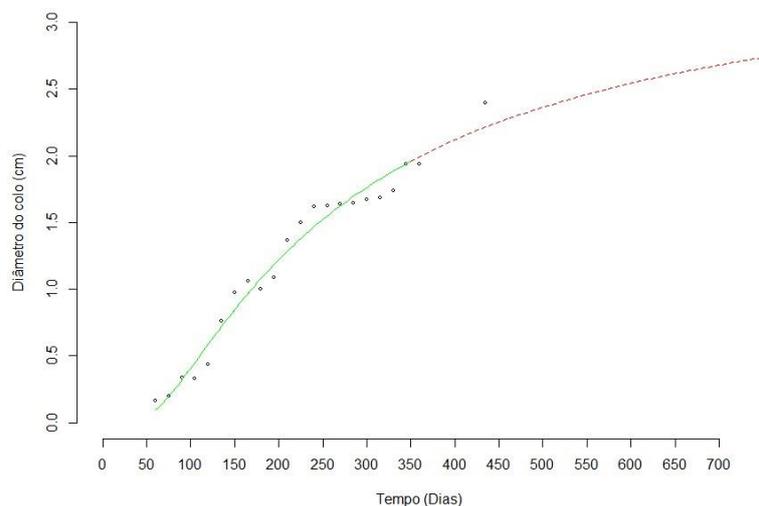
<b>Schumacher</b>	<b>Estimativa</b>	<b>LI</b>	<b>LS</b>	<b>Valor-p</b>
b0	1,252	1,151	1,357	<0,00001

b1	-210,353	-236,208	-186,521	<0,00001
----	----------	----------	----------	----------

Sendo: LI: Limite inferior e LS: Limite superior.

Fonte: A autora.

Figura 10 - Comportamento do diâmetro do colo para mais 1 ano de idade.



#### 5.4 AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL DENDROMÉTRICA ALTURA TOTAL

Para a modelagem da variável altura total foram avaliados os modelos Schumacher, Prodan, Bertalanffy, Chapman-Richards e Backman. As estimativas dos parâmetros dos modelos avaliados estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6 - Estimativa dos parâmetros dos modelos avaliados.

<b>Modelos</b>	<b>Coefficientes</b>		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Schumacher	4,506	-90,753	-
Prodan	61,990	1,065	0,010
Bertalanffy	67,978	-0,015	-
Chapman-Richards	75,255	0,008	1,293
Backman modificado	-	0,994	0,044

Fonte: A autora.

Adotou-se os mesmos coeficientes aplicados para a modelagem do diâmetro do colo. Os valores dos coeficientes estão representados na Tabela 7. Novamente, os modelos apresentaram valores altos para o coeficiente de determinação adaptado e correlação. Portanto, ao avaliar os valores de AIC e BIC, o modelo que melhor descreve o comportamento dos dados foi o modelo Chapman-Richards.

Tabela 7 - Resultados dos índices coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$  adapt..), coeficiente de correlação (COR) e erro quadrático médio (EQM) para avaliar qualidade dos ajustes dos modelos utilizados. Para a seleção dos modelos utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC) e O critério de informação bayesiano (BIC).

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros do ajuste</b>				
	$R^2$	COR	EQM	AIC	BIC
Schumacher	0,957	0,978	3,156	111,764	114,898
Prodan	0,961	0,980	3,068	111,448	115,626
Bertalanffy	0,931	0,969	3,986	121,579	124,713
Chapman-Richards*	0,964	0,981	2,967	110,041	114,219
Backman modificado	0,941	0,971	3,689	118,318	121,452

Fonte: A autora.

O modelo Chapman-Richards possui três parâmetros. As estimativas dos parâmetros com o limite inferior e superior e o respectivo valor-p estão representadas na Tabela 8. O coeficiente  $\beta_0$  representa a capacidade máxima de produção e com o aumento da idade do indivíduo tende a estabilizar. O coeficiente  $\beta_1$  representa o ritmo do desenvolvimento das árvores em determinado estágio de vida do povoamento, já o coeficiente  $\beta_2$  indica a sucessão de um crescimento acelerado para mais lento, e também representa o maior ponto de incremento corrente (MAESTRI et al., 2013). Ao aplicar o teste de t para os coeficientes de regressão, notou-se que todos foram significativos ao nível de significância de 5%.

Tabela 8 - As respectivas estimativas, dos limites inferior e superior do intervalo de confiança e valores-p dos parâmetros do modelo Chapman-Richards.

Chapman-Richards	Estimativa	LI	LS	Valor-p
$\beta_0$	75,255	69,378	89,130	<0,00001
$\beta_1$	0,008	0,004	0,012	<0,00001
$\beta_2$	1,293	0,832	1,993	<0,00001

Fonte: A autora.

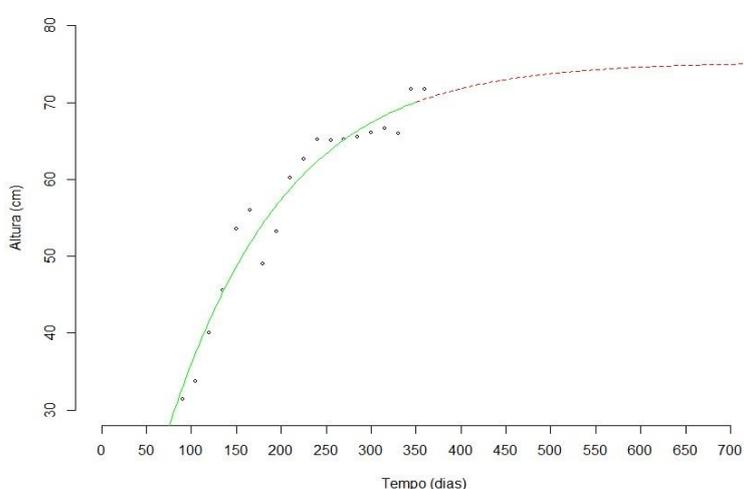
O modelo ajustado com os respectivos parâmetros está representado na equação 3.

$$y = 75,225(1 - e^{-0,008t})^{1,293} \quad (3)$$

Uma vez determinado o modelo, podemos descrever o comportamento da altura total. O padrão da altura total está ilustrado na Figura 11 pela curva na cor vermelha. Observe que a curva descreve um comportamento de redução do crescimento para uma estabilização. Isso ocorre devido ao termo do modelo descrito na equação 3 possuir o parâmetro do tempo valor negativo. Ressalta-se novamente que por se tratar de uma muda, torna-se necessário mais medidas para ajustar novamente os modelos até chegar a um que descreva o comportamento das árvores

que se originaram das mudas avaliadas. Observe que o padrão do crescimento, apesar de indicar uma estabilização, verifica-se, novamente, que este determina que as mudas, com relação à altura total, continuarão a se desenvolver. A previsão está representada pela curva vermelha na Figura 11. O comportamento da curva indica que as mudas estão se desenvolvendo para os próximos 360 dias.

Figura 11 - Comportamento da altura total da muda para mais um ano.



Fonte: A autora.

Thomas (2007), realizou um estudo com mudas ainda no viveiro e observou altura de 29 cm aos 180 dias após a implantação do experimento. A previsão do modelo ajustado é de 63,53 cm com 180 dias no campo. A previsão é de que as mudas apresentem um crescimento maior que a do estudo relatado.

## 5.5 AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL DENDROMÉTRICA ALTURA DA BASE DA COPA VERDE

Para a modelagem da variável altura da base da copa verde foram avaliados os modelos Schumacher, Prodan, Moissev, Bertalanffy e Backman modificado. As estimativas dos parâmetros dos modelos avaliados estão descritas na Tabela 9.

Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros dos modelos avaliados para a variável altura da base da copa verde.

Modelos	Coeficientes		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Schumacher	2,634	-32,074	-
Prodan	-97,421	4,606	0,064
Moissev	0,010	0,003	0,000
Bertalanffy	12,097	-0,032	-
Backman modificado	-	0,721	-0,048

Para avaliar a qualidade do ajuste, novamente utilizou-se os critérios utilizado no diâmetro do colo e na altura total. Observa-se que os valores de  $R^2$  adaptado foram menores que os estimados no outro modelo. A correlação e o erro quadrático médio apresentaram valores abaixo e acima dos já estimados, respectivamente. Analisando os resultados da tabela, o modelo Backman modificado foi o escolhido, por apresentar menores valores para AIC e BIC.

Tabela 10 - Resultados dos índices coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$  adapt.), coeficiente de correlação (COR) e erro quadrático médio (EQM) para avaliar qualidade dos ajustes dos modelos utilizados. Para a seleção dos modelos utilizou-se o critério de informação de Akaike (AIC) e O critério de informação bayesiano (BIC).

Modelos	Parâmetros do ajuste				
	$R^2$ adapt.	COR	EQM	AIC	BIC
Schumacher	0,540	0,735	1,194	75,880	79,153
Prodan	0,559	0,747	1,202	75,741	80,105
Moissev	0,606	0,778	1,168	76,313	81,769
Bertalanffy	0,399	0,633	1,365	83,331	86,604
Backman modificado*	0,563	0,750	1,164	73,532	76,805

Fonte: A autora.

O modelo Backman modificado possui três parâmetros. As estimativas dos parâmetros estão representadas na Tabela 11. Ao aplicar o teste de t para os coeficientes de regressão, notou-se que todos foram significativos ao nível de 5%.

Tabela 11 - As respectivas estimativas, os limites superior e inferior do intervalo de confiança e os valores-p dos parâmetros do modelo Backman modificado.

Backman modificado	Estimativa	LI	LS	Valor-p
$\beta_1$	0,721	0,607	0,829	<0,00001
$\beta_2$	-0,048	-0,068	-0,027	<0,00001

Sendo: LI: Limite inferior e LS: Limite superior.

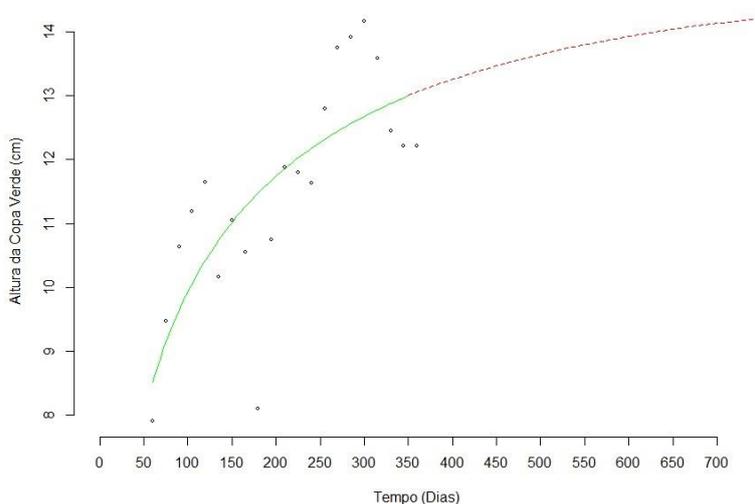
Fonte: A autora.

O modelo ajustado com os respectivos parâmetros está representado na equação 4.

$$y = e^{0,721 \ln(t) - 0,048 \ln^2(t)} \quad (4)$$

Com a definição do modelo pode-se descrever o comportamento da altura da copa verde. O padrão da altura da copa verde está ilustrado na Figura 12 pela curva na cor vermelha. Observe que a curva descreve um comportamento de redução do crescimento para uma estabilização. Isso ocorre devido ao termo do modelo descrito na equação 4 possuir o parâmetro do tempo ( $\ln^2(t)$ ) possui valor negativo. Ressalta-se novamente que por se tratar de uma muda, torna-se necessário mais medidas para ajustar novamente os modelos até chegar a um que descreva o comportamento das árvores que se originaram das mudas avaliadas. Novamente observa-se um padrão do crescimento, apesar de indicar uma estabilização, verifica-se, que este determina que as mudas, com relação à altura da copa verde, continuarão a se desenvolver. A previsão está representada pela curva vermelha na Figura 12. O comportamento da curva indica que as mudas estão se desenvolvendo para os próximos 360 dias. Pode-se observar presença de alguns dados nos dias 60 e 180 afastados da estimativa do modelo, o que pode ser explicado pela rápida inserção de galhos na muda quando as mesmas ainda são juvenis. Isso é um indício do crescimento das mudas.

Figura 12 - Comportamento da altura da base da copa verde para mais 1 ano de idade.



Fonte: A autora.

Com relação à altura da base da copa verde, a figura demonstra o ajuste do modelo selecionado em relação aos dados, aos 50 e aos 180 dias de vida,

aproximadamente. Este fato pode ocorrer pela rápida inserção dos ramos quando a muda está em estado juvenil, o que faz que nos dias de coleta venha a serem medidos juntamente os novos galhos.

Os resultados demonstram que as mudas da espécie continuam a crescer, indicando assim que a espécie se adaptou bem a região, pois a previsão dos modelos indica que as mudas avaliadas continuaram seu processo de crescimento.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse presente estudo descrevem o crescimento de 18 mudas de *Pinus taeda*, em um experimento implantado no município de Curitiba/SC, considerando as características dendrométricas, diâmetro do colo, altura total e altura da base da copa verde durante quatorze meses utilizando modelos matemáticos permitindo realizar previsões. Os modelos ajustados para o diâmetro do colo, a altura total e a altura da copa verde foram Schumacher, Chapman - Richards e Backman - modificado, respectivamente. Recomenda-se que novos estudos sejam realizados considerando mais coletas de dados para medir com exatidão o crescimento da espécie.

## REFERÊNCIAS

- ACR. Anuário **Estatístico de Base Florestal**. 2016. Disponível em: [http://www.acr.org.br/download/biblioteca/ACR 2016.pdf](http://www.acr.org.br/download/biblioteca/ACR%202016.pdf). Acesso em: 01 de julho 2019.
- BERNERT, M. R. **Efeito de variáveis climáticas no incremento em diâmetro de *Pinus taeda* L.** [Dissertação de mestrado]. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro-Oeste- UNICENTRO; 2017.
- CERQUEIRA, Clebson Lima et al. MODELAGEM DA ALTURA DE *Pinus caribaea* var. hondurensis EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 2, p. 93-99, 2017.
- CHAVES. A. G. F.** Modelagem do crescimento e da produção de tectona **grandes Lenn. f. até a idade de rotação**. Dissertação. Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. 2013.
- EMBRAPA. **Cultivo de Pinus**.2014 Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6). Acesso em: 31 de mai. 2019.
- EMPREGANDO ANATRO EM *Pinus taeda* L. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 1, p. 52-57, 2019.
- HESS. A.F.; SCHNEIDER. P. R. Crescimento em volume de araucária angustifolia (Bertoli.) junto em três regiões do rio grande do sul. brasil. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 20. n. 1. p. 107-122. 2010.
- IBÁ. **Industria Brasileira de Arvores**. Relatório Anual. 2017. Disponível em: [https://iba.org/imagens/sare/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/imagens/sare/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf). Acesso em: 01 de julho 2019.
- KRAMBECK, L. & B. R. SIMÃO. **Características da madeira de espécies do gênero Pinus, potenciais para o uso na indústria madeireira na região sul do Brasil**. Lages; 2003. 58 p.
- LOYOLA, E. R. **Modelagem do crescimento e da produção de Pinus taeda L. por meio de função probabilística**. Floresta, v. 35, n. 2, 2005.
- MISCHAN. M. M.; PINHO. S. Z. **Modelos não Lineares: funções assintóticas de crescimento**.1. ed. São Paulo. 2014. 186 p.
- MENDIBURU. F.; agrícola: **Estatística Procedures for Agricultura Ressorce**. R Pack age versão 1.2-8. [https://CRAN.R-project.org/Pack age=agrícola](https://CRAN.R-project.org/Pack%20age=agrícola) (2017).
- MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; SCOLFORO, J. R.; MACHADO, S. A.; CORTE, A. P. D. Modelagem do crescimento florestal considerando variáveis do ambiente: revisão. **Sentia Agraria**, Curitiba, v.14, n.3, p.103-110, Set/Dez 2013.

MONTAGNA, R.G.; YAMAZOC, G. Utilização da madeira de pequenas dimensões. **Silvicultura**, São Paulo, v.2, n.14, p.178-179, 1978.

MACHADO, S. DO A. et al. Efeito de Variáveis Climáticas no Crescimento Mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em Fase Juvenil. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 170–181, 2014.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P. da; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 20, p. 556-563, dez. 2013.

NICOLETTI, Marcos Felipe. **Modelagem não linear mista e método bivariado para sortimento da produção de *Pinus taeda* L.** 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2019. URL <http://www.R-project.org/>

SELLE, Gerson Luiz; SCHNEIDER, Paulo Renato; FINGER, César Augusto Guimaraes. **Classificação de sítio para *Pinus taeda* L.**, através da altura dominante, para a região de cambara do Sul, RS, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 4, n. 1, p. 77-95, 1994.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura Brasileira.** 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas. 2008. 223p.

SILVA, J. A. A. **Conceitos e princípios básicos de modelagem matemática em ciências florestais.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica. Recife. v. 11/12. p.195-215. 2014/2015.

THOMAS, R. **Crescimento e nutrição de mudas de *Pinus taeda* L. no estado do Rio Grande do Sul.** 2007. 64f. Dissertação (Mestrado). Pós – Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria – RS, 2007.

WOLFF II, Neumar Irineu et al. MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EMPREGANDO ANATRO EM *Pinus taeda* L. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 1, p. 52-57, 2019.

WENDLING, J. L. G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção em biomassa para arvores de *euterpe edules* Mart. plantadas a céu aberto.** Dissertação. Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1998.

YOSHITANI Júnior, M. **Avaliação biométrica e econômica de plantios de *Pinus taeda* L. em Santa Catarina [Dissertação de Mestrado].** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009.

### APÊNDICE A – Mapa de localização do experimento.

