

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

Francine Mesquita Leite

**Modelagem matemática do crescimento inicial de mudas da espécie *Eucalyptus pilularis* Smith a partir de características dendrométricas individuais**

CURITIBANOS

2019

Francine Mesquita Leite

**Modelagem matemática do crescimento inicial de mudas da espécie *Eucalyptus pilularis* Smith a partir de 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.

Leite, Francine Mesquita

Modelagem matemática do crescimento inicial de mudas da espécie *Eucalyptus pilularis* Smith a partir de características dendrométricas individuais / Francine Mesquita Leite ; orientador, Crysttlian Arantes Paixão, 2019.

53 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. Eucalipto. I. Arantes Paixão, Crysttlian. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Francine Mesquita Leite

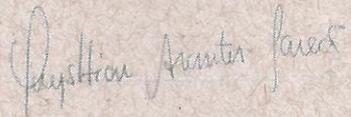
**MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DA ESPÉCIE *Eucalyptus pilularis* SMITH A PARTIR DE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS INDIVIDUAIS.**

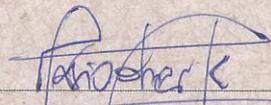
Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora

Curitiba, 09 de Julho de 2019.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Crysttian Arantes Paixão, Dr.  
Orientador (a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Mário Dobner Jr., Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Otávio Camargo Campoe, Dr(a).  
Universidade Federal de Lavras

Este trabalho é dedicado aos meus pais Luis e Marta e minha irmã Larissa.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me sustentado e me dado forças para superar todos os obstáculos e dificuldades.

Agradeço à minha família, meus pais Luis e Marta e minha irmã Larissa que me deram todo o amor, apoio e incentivo durante esta caminhada. Vocês são a minha base.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, e todos os professores pelos conhecimentos e experiências passadas.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Crysttian Arantes Paixão, pela dedicação, paciência, ensinamentos e orientação. E também agradeço ao Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe, pela ajuda e conhecimentos transmitidos.

As minhas amigas e companheiras Hendria e Luci pela amizade, companhia, carinho e apoio.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para meu processo de formação acadêmica.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus pilularis* Smith a partir de características dendrométricas. A espécie é amplamente utilizada na Austrália, pois apresenta madeira de qualidade e alta taxa de crescimento. O experimento com a espécie está situado na Área Experimental Florestal da UFSC Curitibanos-SC, onde foram medidas as variáveis dendrométricas diâmetro do colo e altura total de 11 mudas, semanalmente no período do mês de maio a agosto de 2018. Os dados coletados foram processados utilizando a linguagem R. A espécie apresentou um diâmetro médio de 2,49 cm e altura média de 134,30 cm aos 9 meses de idade. A partir das características mensuradas foram avaliados os seguintes modelos matemáticos: Chapman-Richards, Gompertz, Schumacher, Prodan, Bertalanffy e Backman modificado. A qualidade do ajuste dos modelos foi calculada pelos coeficientes de determinação adaptado ( $R^2$ ) e de correlação, em conjunto com o erro quadrático médio. Para a seleção dos modelos optou-se pelos critérios de informação AIC (Akaike's information criterion) e BIC (Bayesian information criterion). Os modelos selecionados foram Prodan e Backman modificado para o diâmetro do colo e altura total, respectivamente. O modelo Prodan apresentou valores de  $R^2$  adaptado de 0,956, AIC -45,444 e BIC -42,612. O modelo Backman modificado apresentou valores de  $R^2$  adaptado 0,737, AIC 34,463 e BIC de 35,657. Os resultados indicam que a espécie teve um crescimento reduzido, em decorrência de temperaturas baixas seguidas de geadas. Recomenda-se a continuação do monitoramento dos indivíduos para melhorar a modelagem das variáveis dendrométricas.

**Palavras-chave:** Modelos matemáticos. Eucalipto. Mudas.

## ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate the initial growth of *Eucalyptus pilularis* Smith with help of dendrometric characteristics. The species is widely used in Australia, as it presents a good wood quality and high growth rates. The experiment was located in the Experimental Forestry Area of UFSC Curitibanos-SC. The dendrometric variables which were measured were diameter at tree base and total height of 11 seedlings, weekly obtained during the period from May to August 2018. The species had a mean diameter of 2.49 cm and mean height of 134.30 cm at 9 months of age. The data collected were processed using the R language. The following mathematical models were evaluated: Chapman-Richards, Gompertz, Schumacher, Prodan, Bertalanffy and modified Backman. The quality of fit of the models was calculated by the coefficients of adapted determination ( $R^2$ ) and correlation, in conjunction with the mean square error. For the selection of models, the AIC (Akaike's information criterion) and BIC (Bayesian information criterion) information criteria were regarded. The selected models were Prodan and modified Backman for the diameter at tree basis and total height, respectively. The Prodan model presented adjusted  $R^2$  values of 0.956, AIC -45.444 and BIC -42.612. The modified Backman model presented adjusted  $R^2$  values 0.737, AIC 34.463 and BIC of 35.657. The results indicate that the species had a reduced growth due to low temperatures followed by frost. Monitoring of individuals should continue to increase modelling and other studies.

**Keywords:** Mathematical models. *Eucalyptus*. Seedlings.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Experimento de *Eucalyptus pilularis* situado na área experimental florestal-UFSC. Em (a), (b) e (c) pode-se verificar vistas parciais das mudas plantadas.....28
- Figura 2 - Representação das medições realizadas, e registrador de temperaturas. Em (a) o processo de mensuração da altura total, (b) a avaliação do diâmetro do colo, (c) e (d) a estrutura do datalogger. ....30
- Figura 3 - Temperaturas máxima, médias e mínimas registradas durante as coletas das informações das mudas o experimento. Observe que a quantidade de mudas amostras, inicialmente 20, foram reduzidas para 18, passando a 15, 14 e terminando apenas com 11 mudas. Essa perda é justificada pela ocorrência de geadas e pelas temperaturas abaixo de zero (marcação em linha vermelha tracejada).....33
- Figura 4 - Danos da geada em muda do experimento muda de *E. pilularis*. ....34
- Figura 5 - Níveis de precipitação no período de coleta dos dados. Verifica-se a baixa ocorrência de chuvas, característica das estações de outono e inverno na região de Curitiba-SC. ....35
- Figura 6 - Experimento *E. pilularis* dia 25/06/18. Em (A) Mudas vivas que restaram ao lado plantio de *Pinus* e (B) Área total do experimento com as mudas que resistiram a geada. ....36
- Figura 7 - Padrão do crescimento do diâmetro do colo para as mudas avaliadas no experimento. Existem dois padrões expostos, sendo o composto por todas as mudas, inicialmente 18 e que foram sendo perdidas, passando a 15, 14 e culminando em 11. O segundo padrão apresentado pelas 11 mudas que persistiram durante todo o experimento. As médias estão representadas por pontos e os intervalos apresentados correspondem ao desvio padrão estimado para os grupos de mudas. Acima de cada intervalo apresentado está identificado o número de mudas avaliadas. ....38
- Figura 8 - Representação gráfica do ajuste do modelo Prodan as médias de crescimento da variável diâmetro do colo em função da idade da mudas de *E. pilularis*. ....41
- Figura 9 - Padrão do crescimento da altura total avaliada durante o período de coleta dos dados. Dois padrões são apresentados, representados pelas médias (símbolos) e o intervalo criada a partir de -1 e +1 desvio com relação à média. O primeiro padrão está relacionado à todas as mudas avaliadas, que iniciaram com 18 e foram reduzidas

a 11 e o segundo com as 11 mudas que persistiram no experimento. Verifica-se novamente um crescimento inicial, porém que se reduz em ambos os padrões no inverno. Acima de cada intervalo apresentado está identificado o número de mudas avaliadas. ....43

Figura 10 - Representação gráfica do ajuste do modelo Backman modificado as médias de crescimento da variável altura total em função da idade das mudas de *E. pilularis*. ....46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos Matemáticos de crescimento. ....	31
Tabela 2 - Temperaturas mínimas dos meses de abril a agosto de 2018. Verifica-se que as médias dos meses, foram baixas, com a maioria ficando abaixo de zero. ....	33
Tabela 3 - Taxa de crescimento do Diâmetro (cm/dia) e Altura Total (cm/dia) para as 11 mudas resistentes no experimento realizando entre os dias 03/05/2018 a 25/08/2018. ....	36
Tabela 4 - Modelos e seus respectivos coeficientes e parâmetros do ajuste.....	39
Tabela 5 - Valores de AIC e BIC para cada modelo ajustado. ....	40
Tabela 6 - Estimativas, intervalos de confiança inferior (LI) e superior (LS) e os respectivos valores-p dos parâmetros do modelo Prodan. ....	40
Tabela 7 - Modelos e seus respectivos coeficientes e parâmetros do ajuste.....	44
Tabela 8 - Valores de AIC e BIC para cada modelo ajustado. ....	45
Tabela 9 - Estimativas, intervalos de confiança inferior (LI) e superior (LS) e os respectivos valores-p dos parâmetros do modelo Backman modificado.....	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
3.1	GENÊRO <i>Eucalyptus</i> .....	17
3.2	ESPÉCIE <i>Eucalyptus pilularis</i> SMITH .....	18
3.3	GEADAS.....	19
3.4	PRECIPITAÇÃO.....	20
3.5	MODELOS MATEMÁTICOS .....	20
<b>3.5.1</b>	<b>Chapman-Richards</b> .....	<b>21</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Gompertz</b> .....	<b>22</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Schumacher</b> .....	<b>22</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Prodan</b> .....	<b>23</b>
<b>3.5.5</b>	<b>Bertalanffy</b> .....	<b>24</b>
<b>3.5.6</b>	<b>Moissev</b> .....	<b>24</b>
<b>3.5.7</b>	<b>Backman Modificado</b> .....	<b>25</b>
3.6	SELEÇÃO DE MODELOS.....	25
3.7	PARÂMETROS DE CRESCIMENTO EM ESPÉCIES ARBÓREAS .....	26
<b>3.7.1</b>	<b>Diâmetro do colo</b> .....	<b>26</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Altura Total</b> .....	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	27
4.2	EXPERIMENTO.....	27
4.3	OPERAÇÕES REALIZADAS NA ÁREA DO EXPERIMENTO.....	28
4.4	DADOS COLETADOS .....	28

4.5	AJUSTE DOS MODELOS POR VARIÁVEL ANALISADA .....	31
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
5.1	ANÁLISE DO EXPERIMENTO .....	32
5.2	COMPORTAMENTO DOS DADOS DETERMINADOS.....	37
5.3	ANÁLISE DOS DADOS DA VARIÁVEL DIÂMETRO DO COLO .....	37
<b>5.3.1</b>	<b>Modelos ajustados variável diâmetro do colo .....</b>	<b>38</b>
5.4	ANÁLISE DOS DADOS DA VARIÁVEL ALTURA TOTAL .....	42
<b>5.4.1</b>	<b>Modelos ajustados para a variável altura.....</b>	<b>43</b>
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>
	<b>APÊNDICE A – Mapa de localização do experimento.....</b>	<b>53</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro vem se destacando em questão de áreas plantadas e produtividade. No ano de 2016, a área total de árvores plantadas foi de 7,84 milhões de hectares, apresentado um crescimento de 0,8%, quando comparado ao ano anterior. Destes 7,8 milhões, 5,7 milhões de hectares são plantios de eucalipto, 1,6 milhão de hectares povoamentos de pinus e 0,59 milhões de hectares são de áreas plantadas com outros gêneros. Este setor abastece 91% do total da produção industrial madeireira e contribui em 6,2% do PIB industrial. (IBÁ, 2017).

A espécie *Eucalyptus pilularis* Smith é amplamente utilizada em regiões da Austrália, pois apresenta uma madeira de qualidade com alta taxa de crescimento. Possui grande importância nos programas de melhoramento da Austrália, sendo a espécie mais empregada nesse ramo. É destinada para diferentes fins como construção civil, painéis de madeira compensados e laminados, dormentes, postes e pisos (CABARDO; LANGRISH, 2006; SEXTON et al., 2010).

O crescimento de uma árvore ou de um povoamento florestal é importante para a idealização de um empreendimento florestal, pois várias decisões são dependentes diretamente dessa estimativa, por exemplo, a quantidade de madeira que pode ser cortada anualmente. Uma das formas de estimar e descrever o crescimento de árvores utilizado é por meio de modelos matemáticos. Algumas equações já foram criadas para esse fim. Dependendo das circunstâncias, algumas equações se adequam melhor do que outras, sendo necessária uma seleção (FLORIANO et al., 2006; SANTOS, 2012).

A análise do crescimento de *Eucalyptus pilularis* Smith., na fase de muda, foi o objetivo do presente estudo. As características dendrométricas diâmetro do colo e altura total foram analisadas, utilizando modelos matemáticos, para determinar o padrão de crescimento da espécie. Tendo em vista que *Eucalyptus pilularis* Smith. possui potencial para a produção florestal, esse projeto também tem como objetivo determinar a viabilidade de seu cultivo na região de Curitiba-SC.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus pilularis* Smith. utilizando a modelagem matemática a partir de medições dendrométricas no município de Curitibanos-SC.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as seguintes características dendrométricas: diâmetro do colo e altura total;
- Selecionar modelos matemáticos e estatísticos mais adequados para descrever o crescimento a partir das características dendrométricas selecionadas;

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 GENÉRO *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil no início do século XIX. Há indícios de que o Jardim Botânico do Rio de Janeiro foi onde ocorreu o plantio das primeiras árvores. Inicialmente, a principal finalidade dos plantios de eucalipto era de ornamentação, sendo também empregados como quebra-ventos, pois são árvores que apresentaram um ótimo desenvolvimento (PEREIRA et al., 2000).

O silvicultor Edmundo Navarro de Andrade iniciou estudos para avaliar o crescimento de diferentes espécies, onde obteve bons resultados para a espécie *Eucalyptus globulus*. A madeira era selecionada para produção de lenha utilizada em locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. As primeiras espécies que apresentaram crescimento significativo foram: *E. viminalis*, *E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. saligna*, *E. pilularis*, *E. robusta*, *E. propinqua*, *Corymbia citriodora*, *E. punctata*, *E. paniculata*, *E. botryoides*, *E. tereticornis*, *E. alba*, *Corymbia maculata*, *E. triantha* e *E. microcoris*, dentre outras. Cada espécie possuía potencial para determinada finalidade como celulose, papel, vigas, postes, carvão vegetal, óleos essenciais, dormentes, lenha entre diversas finalidades. Em todo o país já se podia encontrar plantas de eucalipto, sendo que os estados mais interessados eram São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. Logo, tornou-se possível a identificações das exigências e tolerâncias que cada espécie apresentava em relação ao solo, clima e outros fatores (FOELKEL et al., 2005).

Atualmente, os plantios de eucalipto resultam em uma área de 5,7 milhões de hectares, sendo os principais produtores os estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%). Em geral, nos últimos 5 anos houve um crescimento de 2,4% ao ano das áreas plantadas, sendo o Mato Grosso do Sul o estado líder em expansão. O estado atingiu uma taxa média de crescimento de 13% ao ano, equivalente a 400 mil de hectares (IBÁ, 2017).

O gênero *Eucalyptus* contém cerca de 800 espécies. As finalidades da madeira gerada nos plantios de eucalipto são diversas, como celulose e papel, lenha,

chapas de fibras e de partículas, moirões, carvão vegetal, estacas e dormentes. Além desses usos, a madeira pode ser empregada na fabricação de móveis, casas e estruturas. (PEREIRA et al., 2000; SANTOS et al., 2008). O Brasil ocupa o primeiro lugar no ranking mundial de países produtores de celulose de eucalipto (IBÁ, 2017).

### 3.2 ESPÉCIE *Eucalyptus pilularis* SMITH

A espécie *Eucalyptus pilularis* Smith pertence à família Myrtaceae. É nativa da Austrália, ocorrendo em New South Wales e no Sul de Queensland. É comumente encontrada em regiões de planícies costeiras, mas se desenvolve em até 1000 m de altitude nas regiões de Queensland (FERREIRA; SIMÕES, 1994). No estado de New South Wales é a principal espécie é predominante, sendo uma das principais do gênero *Eucalyptus* empregada em plantios comerciais (CABARDO; LANGRISH, 2006).

Em New South Wales é comumente plantada em regiões com maior elevação, pois a espécie é mais suscetível a geadas que podem ocorrer em regiões de menor elevação. A espécie é resistente a determinados períodos de falta de água (FORRESTER; SMITH, 2012).

No continente australiano há em torno de 20,000 mil hectares plantados da espécie *E. pilularis*, sendo empregada para produção de produtos de madeira maciça de alto valor. Sua projeção de copa é curta em estágio de dossel fechado (ALCORN et al., 2013).

A espécie se desenvolve em uma diversa variedade de tipos de solos, desde os que apresentam textura argilosa até os arenosos. A madeira utilizada é proveniente principalmente de florestas nativas, mas também os plantios complementam essa fonte de matéria prima. É destinada para diferentes fins como construção civil, painéis de madeira compensados e laminados, dormentes, postes e pisos (SEXTON et al., 2010).

O comportamento climático, da região sul da área de ocorrência natural, apresenta-se como temperado com invernos frios e ocorrência de 5 a 6 geadas anuais, no verão há ocorrência de maiores volumes de precipitação, atingindo média anual de 900 a 1500mm (FERREIRA; SIMÕES, 1994).

A introdução da espécie *Eucalyptus pilularis* no Brasil ocorreu há mais de 60 anos. Em experimentos realizados com nove procedências da espécie foi identificado um ótimo crescimento, sendo este estudo realizado em Mogi Guaçu-SP (SOUZA et al., 1993).

Em estudo, a espécie apresentou uma densidade média de 0,556 g/cm<sup>3</sup> aos 7 anos de idade. Este valor sugere estudos para o emprego da madeira na produção de celulose e papel. A espécie demonstrou também boa produtividade em volume de madeira sem casca, 223,89 m<sup>3</sup>/ha em experimento de 7 anos conduzido na cidade de Viçosa-MG e 380,83 m<sup>3</sup>/ha em experimento de 7,5 anos presente na cidade de Uberaba-MG (ALBINO; TOMAZELLO FILHO, 1985).

Avaliações sobre características silviculturais realizadas em experimentos com 12 anos localizado na cidade de Lassance-MG apresentaram valores de 81% de brotação, 0% de bifurcação, 19% de mortalidade. Em relação às características tecnológicas da madeira, a espécie apresentou o menor valor umidade (21,93 g/cm<sup>3</sup>) comparada as outras espécies avaliadas, sendo todas secas ao ar livre. A densidade da madeira encontrada foi de 0,64 g/cm<sup>3</sup> (SILVA et al., 1992).

### 3.3 GEADAS

A geada é um fenômeno natural caracterizado pela ocorrência de temperaturas do ar abaixo de 0°C, como consequência ocorre a formação de gelo em superfícies expostas as estas condições. A intensidade da geada varia de acordo com a combinação de dois fatores os fenômenos de entrada de massa de ar polar nos continentes em conjunto com a perda de energia noturna pela superfície terrestre sendo liberada para o espaço por meio de ondas infravermelho (ALGARVE; CAVALCANTI, 1994).

Pode-se se classificar as geadas em advectivas e por radiação. Geadas advectivas são também designadas de geadas de vento, sua formação ocorre pela inserção de massa de ar frio. Já as geadas por radiação ocorrem em situações onde há grandes pressões sobre a região, estas contribuem para dissipação da energia por ondas infravermelho (SATYAMURTY et al.,1990).

A ocorrência de geadas pode ocasionar danos em tecidos espécies vegetais. A gravidade do dano vai depender de alguns fatores como resistência de determinada espécie, idade e fase do desenvolvimento da planta e intensidade e tempo de duração das temperaturas abaixo de 0°C. Em relação ao período do ano, normalmente as geadas estão presentes na estação de inverno, mas pode ocorrer nos períodos de primavera e outono, sendo que nestas épocas do ano ocasionam maiores danos as plantas (ROS et al.,2018).

Com a incidência da geada, alguns danos podem ser observados nas plantas, estes são divididos em diretos e indiretos. Para os diretos pode-se citar a morte total das mudas, e indiretos que dificultam o desenvolvimento das plantas, facilitando a contaminação e entrada de patógenos (HIGA et al.,1994).

### 3.4 PRECIPITAÇÃO

A precipitação é conceituada como sendo o total da água vinda da atmosfera, em diferentes estados físicos esta por fim se deposita na superfície da terra. A chuva é classificada na hidrologia como a forma mais importante de precipitação. A cobertura floresta possui grande relevância na absorção da chuva, pois esta permite que a chuva percorra o dossel florestal, não causando grandes impactos ao chegar até o solo (KLASSEN et al., 1996).

Segundo Souza (2004), a disponibilidade de água para plantas é um fator importante para seu desenvolvimento, sendo que a ocorrência de grandes variações da precipitação resulta em vários problemas nas plantas.

Em estudo sobre produtividade de um povoamento das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, os autores Stape et al. (1997) obtiveram resultados de que a produtividade é dependente da ocorrência da precipitação no período de crescimento das árvores.

### 3.5 MODELOS MATEMÁTICOS

Em estatística, a expressão “modelo” é uma relação funcional a ser ajustada a dados de uma amostra. Para medição florestal, um modelo de crescimento e produção pode ser representado por um ou mais modelos estatísticos, equações,

tabelas e gráficos. As equações podem possuir uma ou mais variáveis independentes, sendo utilizada para estimar crescimento e produção florestal, tendo importância para escolha de alternativas de manejo (CAMPOS, 2013).

### 3.5.1 Chapman-Richards

Os autores Richards e Champman realizaram estudos de crescimento de plantas e organismo aquáticos. Eles observaram que o modelo matemático de Bertalanffy apresentava uma constante alométrica de 2/3, sendo esta limitada, pois a mesma poderia expressar diversos valores dependendo da população estudada (BRITO et al., 2007).

Na área das ciências florestais, Richards foi o primeiro a utilizar a equação de crescimento criada por Bertalanffy. A difusão de Chapman-Richards, a partir do modelo de crescimento de Bertalanffy, gerou uma expressão matemática que revela uma hipótese referente às causas que influenciam o fenômeno de crescimento, gerando um modelo com parâmetros que possuem interpretação biológica ou fisiológica (BRITO et al., 2007)

O modelo matemático Chapman-Richards possui uma estrutura não linear, sendo amplamente utilizado nas áreas de ciências florestais para descrever fenômenos de crescimento (LIMA FILHO et al., 2012).

Os autores Gouvea et al. (2016), avaliando a capacidade produtiva de um plantio de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, classificaram o modelo Chapman-Richards como o melhor modelo, pois o mesmo possui coeficientes que expressam fenômenos biológicos, o qual é adequado para descrever o crescimento das árvores. Segundo Cruz et al. (2008), o modelo permite que seja descrito o crescimento em altura, sendo que no estudo feito pelos autores, o modelo foi escolhido como o mais indicado para analisar o crescimento em altura de *Tectona grandis* Teca.

O modelo está representado na equação 1.

$$Y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2} \quad (1)$$

sendo  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  os parâmetros do modelo, Y a variável dependente a ser avaliada e t a variável independente associada ao tempo.

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).

### 3.5.2 Gompertz

O modelo Gompertz foi utilizado para representar o crescimento e produtividade, podendo ser utilizado para descrever o crescimento das variáveis diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e altura da estirpe em plantios comerciais de *Euterpe edulis* Mart. (WENDLING et al., 1998b).

Gompertz foi utilizado em estudo de seleção de modelos para descrever crescimento em altura de árvores da espécie *Pinus elliottii*, este apresentou valores adequados de ajuste (FLORIANO et al., 2006). Em outro estudo, Vendruscolo et al (2017), o modelo apresentou o melhor ajuste e foi selecionado para estimar alturas da espécie *Tectona grandis*.

O modelo está representado na equação 2.

$$Y = \beta_0 e(-\beta_1 e(-\beta_2 t)) \quad (2)$$

sendo  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  os parâmetros do modelo, Y a variável dependente a ser modelada e t a variável independente associada ao tempo.

### 3.5.3 Schumacher

O modelo Schumacher é considerado um modelo empírico, no qual os seus parâmetros não possuem interpretação biológica (MAESTRI et al., 2013). Em análises do crescimento em biomassa de *Pinus*, o ajuste do modelo de Schumacher foi considerado satisfatório, apresentando um bom ajuste aos dados (SCHIKOWSKI et

al., 2013). O modelo de Schumacher foi utilizado para modelagem de crescimento das espécies de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, e *Pinus greggii* (LAMBERT, 2018).

O modelo de Schumacher está representado na equação 3.

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 t^{-1}} \quad (3)$$

sendo  $\beta_0$  e  $\beta_1$  os parâmetros do modelo, Y a variável dependente a ser estudada e o t a variável independente associado ao tempo.

#### 3.5.4 Prodan

O modelo matemático Prodan é utilizado para prever o crescimento e produção, sendo incluído no grupo de modelos empíricos. O comportamento das variáveis dependentes é descrito sem influência de um fenômeno, conseqüentemente seus coeficientes não possuem um significado explícito biológico (WENDLING, 1998; ZAMIN, 2013).

Em um trabalho sobre ajuste e seleção de modelos para de dados de alturas de árvores da espécie *Pinus elliottii*, o modelo de Prodan foi considerado o melhor entre as equações de ajuste utilizadas (FLORIANO et al., 2006).

O modelo Prodan está representado na equação 4.

$$Y = \frac{t^2}{\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2} \quad (4)$$

sendo  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  os parâmetros do modelo, Y a variável dependente a ser modelada e a variável independente t associada ao tempo.

Um estudo realizado com *Araucaria angustifolia* analisou-se o seu crescimento em função da idade. Diferentes modelos foram ajustados, sendo que o de Prodan modificado foi classificado entre os melhores modelos (HESS et al., 2010).

### 3.5.5 Bertalanffy

O modelo de Bertalanffy é derivado de estudos com diversos seres vivos terrestres e aquáticos avaliando relações alométricas (BRITO et al., 2007). O modelo foi utilizado para descrever o crescimento volumétrico de clones de *Eucalyptus urophylla*, obtendo um bom ajuste (SILVA et al., 2017).

Um estudo com a espécie *Nectandra grandiflora*, Sanquetta et al (2010), empregaram o presente modelo para explicar o crescimento em diâmetro em função da idade. Segundo Lei e Zhang (2004) este modelo é muito empregado em estudos de crescimento e produtividade florestal.

O modelo está representado na equação 5.

$$Y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^3 \quad (5)$$

sendo  $\beta_0$  e  $\beta_1$  os parâmetros do modelo, Y a variável independente que se deseja avaliar e t a variável independente associada ao tempo.

### 3.5.6 Moissev

Em um estudo realizado para avaliar o crescimento em diâmetro, altura e volume da espécie Uva-do-Japão (*Hovenia dulcis* Thunberg) considerou o modelo Moissev como satisfatório para estimar o diâmetro em função da idade (ELEOTÉRIO et al., 2012). Chaves (2013) avaliou a modelagem do crescimento e da produção da espécie *Tectona grandis*, encontrou resultados adequados para o ajuste do modelo Moissev em relação à variável altura dominante.

O modelo está representado na equação 6.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3 \quad (6)$$

sendo  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  os parâmetros do modelo, Y a variável dependente a ser estudada e t a variável independente associada ao tempo. Observe que se trata de um modelo polinomial, sendo o tempo utilizado como potência de primeiro, segunda e terceiro grau.

### 3.5.7 Backman Modificado

Hess e Schneider (2010) testaram o modelo Backman modificado para descrever o crescimento em volume da espécie *Araucaria angustifolia*, em regiões do Rio Grande do Sul. A equação de Backman apresentou-se adequada, possibilitando a identificação de diferenças no crescimento entre as regiões abordadas no estudo.

O modelo Backman Modificado está representado na equação 7.

$$\ln(Y) = \beta_0 \ln(t) + \beta_1 \ln^2(t) \quad (7)$$

sendo  $\beta_0$  e  $\beta_1$  os parâmetros do modelo, Y a variável independente modelada e t a variável independente que representa o tempo.

### 3.6 SELEÇÃO DE MODELOS

Existem diferentes modelos de crescimento que se adaptam a várias situações. Há modelos lineares e não lineares. Quando mais de um modelo se adapta aos dados, surge a indagação de qual seria o mais adequado. Alguns métodos foram criados para resolver o problema, estes possuem como base o ajuste da função aos dados e o afastamento dos dados com relação ao modelo. Os critérios geralmente utilizados para a escolha do modelo são: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão, que estima o ajustamento, e o erro quadrático médio, que determina o afastamento do modelo aos dados (FLORIANO et al.,2006).

Existem outros critérios de seleção como o critério de informação de Akaike (*Akaike's information criterion* – AIC) e o critério de informação bayesiano de Schwarz (*Bayesian information criterion* – BIC). Ambos tentam avaliar a capacidade do modelo em descrever os dados obtidos, sendo que esses métodos penalizam modelos com muitos parâmetros (FLORIANO et al.,2006).

### 3.7 PARÂMETROS DE CRESCIMENTO EM ESPÉCIES ARBÓREAS

#### 3.7.1 Diâmetro do colo

O diâmetro do colo é a característica que melhor demonstra o desempenho da muda no pós-plantio, sendo que valores superiores comumente estão ligados a um sistema radicular abundante, o que facilita o estabelecimento e o crescimento das plantas em condições de mato-competição (LANDIS et al., 2010).

O diâmetro do colo é uma característica de fácil medição, sendo um não método destrutivo. Essa medida é importante para estimar a sobrevivência no campo de mudas de diferentes espécies florestais (GOMES et al., 2013).

#### 3.7.2 Altura Total

A altura constitui-se em importante característica da árvore e pode ser medida ou estimada. Sua mensuração é fundamental para o cálculo do volume, de incrementos em altura e pode indicar a qualidade produtiva de um local (SILVA et al., 2012).

A altura da parte aérea das mudas é um ótimo indicativo para prever e estimar o crescimento inicial no campo, sendo uma característica que expressa a capacidade de desenvolvimento. Sua avaliação individual pode indicar a qualidade das mudas (GOMES et al., 2013)

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

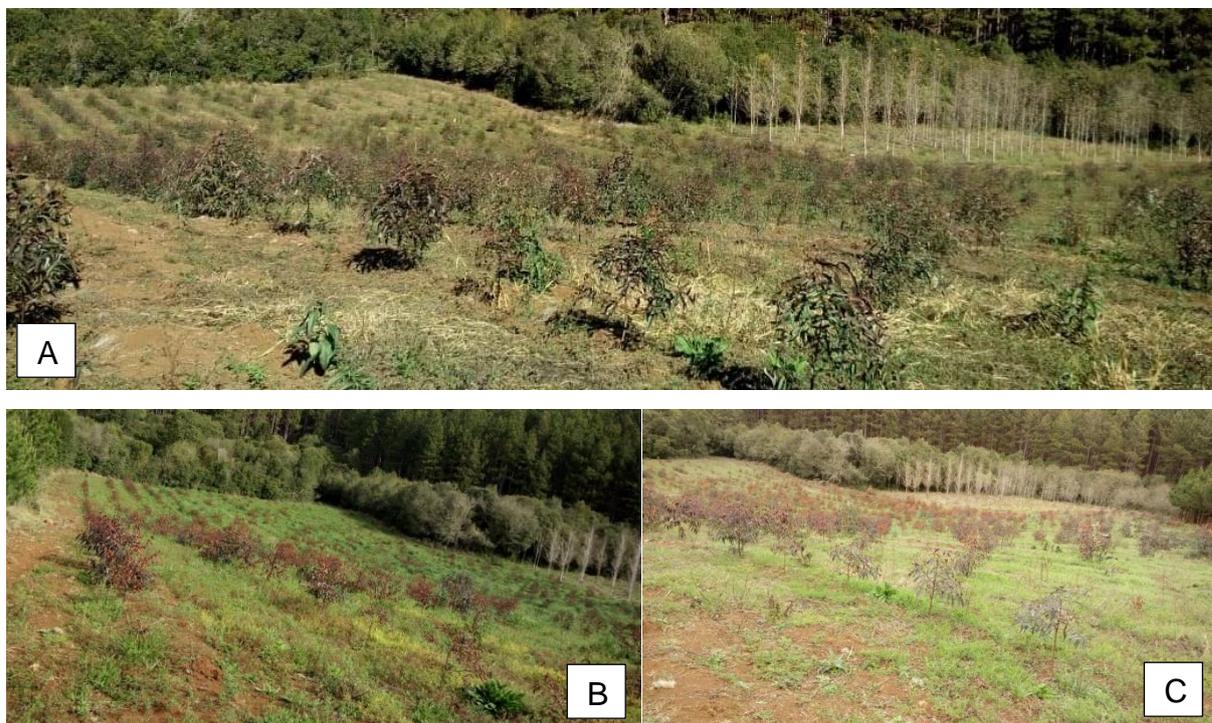
O experimento foi implantado na Área Experimental Florestal, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos-SC, localizada às margens da BR 470, Km 264. A área possui 31,9 hectares dos quais 0,75 ha foram utilizados para o estudo. O clima predominante da região é classificado, segundo Koppen, como Cfb (clima subtropical úmido), caracterizado por chuvas uniformemente distribuídas com precipitação variando de 1.100 a 2.000 mm, sem estação seca. No inverno há ocorrência de severas geadas (EPAGRI, 2002).

### 4.2 EXPERIMENTO

As mudas que foram utilizadas no projeto são provenientes do viveiro do Instituto de Pesquisas Florestais- IPEF de Piracicaba. As sementes das progênies foram provenientes da estação experimental ANHENBI da Universidade de São Paulo-USP, empresa APERAM, Suzano e coletas do órgão CSIRO da Austrália, totalizando 114 progênies diferentes.

A área total do experimento (0,75 ha) foi dividida em três blocos de 0,25 hectares. Em cada bloco foram instaladas parcelas lineares de 5 mudas representando cada progênie plantadas em espaçamento de 3m x 1,5m (Figura 1)

Figura 1 - Experimento de *Eucalyptus pilularis* situado na área experimental florestal-UFSC. Em (a), (b) e (c) pode-se verificar vistas parciais das mudas plantadas.



#### 4.3 OPERAÇÕES REALIZADAS NA ÁREA DO EXPERIMENTO

Primeiramente, realizou-se aplicação de herbicida e isca formicida antes do plantio. Foi realizada uma adubação de base constituída de 10g de nitrogênio, 40g de  $P_2O_5$  e 10g de  $K_2O$  por muda. No plantio também se aplicou 50g de hidrogel para conservar as mudas úmidas. Uma semana após o plantio foi realizado uma irrigação, sendo a quantidade de água aplicada em torno de 5 litros por muda. Foram realizados controles mecânicos da matocompetição por meio de roçadas. Houve replantio de mudas, totalizando 3 replantios.

#### 4.4 DADOS COLETADOS

As medições dendrométricas diâmetro do colo e altura foram realizadas semanalmente, no período do mês de maio a agosto do ano de 2018 (Figura 2). As avaliações das mudas iniciaram 160 dias após a implantação do experimento na Área Experimental Florestal.

Inicialmente calculou-se o número ideal da amostra de mudas, por meio da equação 8. Para o cálculo do tamanho da amostra, avaliaram-se os dados de 20 árvores de um experimento similar. Desse experimento, utilizou-se o desvio padrão (s) no valor de 0,48. O erro máximo ( $e_{max}$ ) utilizado no valor de 0,22, considerando um nível de 5% de significância para utilizar o valor da tabela t. Esse procedimento é iterativo, sendo necessário que o valor estimado seja menor do que o da amostra utilizada, caso contrário, a amostra piloto deve ser incrementada. O valor para o tamanho da amostra do experimento foi 20 mudas. Porém, ao decorrer do experimento uma grande quantidade foi perdida, sendo que ao final restaram apenas 11 mudas monitoradas. As análises basearam-se nos dados das 11 mudas.

$$n = \left( \frac{t_{(n'-1;\gamma)} s}{e_{max}} \right)^2 \quad (8)$$

O diâmetro do colo foi mensurado em centímetros, com a utilização de paquímetro. Essa medição efetuou-se no colo do caule da muda, onde a haste encontra o sistema radicular. A altura total foi mensurada em centímetros com uma fita métrica, a partir do nível do substrato até a ponta da última folha.

Os dados de temperatura foram obtidos através de um registrador de dados de temperatura denominado Datalogger, modelo Hobbo com precisão de  $\pm 0,35^\circ\text{C}$ . Possui em resolução de  $0,024^\circ\text{C}$  e um desvio de  $< 0,01^\circ\text{C}$  por ano. O datalogger foi instalado no experimento (Figura 2), na área de declínio de terreno possibilitando o registro da menor temperatura do local. A temperatura foi registrada a cada 1 hora, no período do andamento do experimento. Foram utilizados dados de precipitação da estação meteorológica Davis sede UFSC de Curitiba. Os dados são obtidos através do aparelho Console Vantage Pro2.

Figura 2 - Representação das medições realizadas, e registrador de temperaturas. Em (a) o processo de mensuração da altura total, (b) a avaliação do diâmetro do colo, (c) e (d) a estrutura do datalogger.



#### 4.5 AJUSTE DOS MODELOS POR VARIÁVEL ANALISADA

Os dados coletados foram processados utilizando a linguagem R (R CORE TEAM, 2019). A partir das características selecionadas foram testados modelos matemáticos para avaliar o crescimento. Com a média das medições de cada variável foi criado um gráfico. Com o auxílio do pacote *manipulate* (ALAIRE, 2014) foi possível determinar os valores iniciais dos coeficientes para o processo de estimação dos parâmetros do modelo. Para a estimação dos coeficientes foi utilizando o comando *nls* do R, utilizando as configurações padrão. Uma vez estimados, os parâmetros dos modelos foram submetidos aos testes t para averiguar a sua significância. Quando todos os parâmetros foram significativos, considerou-se que o modelo poderia ser utilizado. Com os modelos ajustados, para a seleção do melhor utilizou-se os critérios de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação Bayesiano (BIC). A partir do melhor modelo foi feita a curva de crescimento para o diâmetro do colo e a altura em função do tempo. Foram obtidos os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$  adapt.) adaptado, coeficiente de correlação e o erro quadrático médio. Na tabela 1 estão descritos os modelos testados para as variáveis diâmetro do colo e altura total.

Tabela 1 - Modelos Matemáticos de crescimento.

Modelos	Fórmula	Referências
Schumacher	$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot t^{-1}}$	Silva, 2015
Backman modificado	$\ln(Y) = \beta_1 \ln(t) + \beta_2 \ln^2(t)$	Hess e Schneider, 2010
Prodan	$Y = \frac{t^2}{\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2}$	Floriano et al., 2006
Bertalanffy	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t})^3$	Sanquetta et al., 2010
Chapman Richards	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2}$	Maestri et al., 2013
Moissev	$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$	Eleotério et al., 2012
Gompertz	$Y = \beta_0 e(-\beta_1 e(-\beta_2 t))$	Wendling et al., 1998b

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DO EXPERIMENTO

Inicialmente a amostra do presente estudo possuía 20 mudas. Na primeira data de medição (03/05/2018), das 20 mudas a serem amostradas haviam somente 18 vivas. A Figura 3, no gráfico de colunas, demonstra a quantidade de mudas mensuradas durante o período de coletas de dados. É possível observar que até o dia 29/06/2018 a quantidade de mudas é estável, mas a partir do dia 06/07, o número reduz para 15 mudas e na mensuração no dia 14/07, mais uma muda é perdida, restando apenas 14. Por fim, no último dia de medição, o número de mudas foi reduzido para 11. Uma das possíveis justificativas para a perda das mudas e a ocorrência de geadas, como pode ser observado na Figura 3. Na parte inferior do gráfico é possível verificar as temperaturas mínimas abaixo de zero ocorridas no período de coleta. Na Tabela 2 estão representadas as temperaturas mínimas registradas entre os meses de abril a agosto de 2018. Observa-se que as temperaturas foram baixas, ficando abaixo de zero na maioria dos meses. Isso é um indicativo das geadas que ocorrem no local, causando a perda das mudas do experimento. As geadas foram um agravante para o desenvolvimento e permanência das mudas no campo, a Figura 4 demonstra os danos causados pela geada na muda, sendo visível a queima total das folhas. Ainda nesse período, apresentado na Figura 5, pode-se observar os níveis de precipitação. Como característico nas estações de outono e inverno da região de Curitiba-SC, a baixa ocorrência de chuvas. Essa baixa precipitação no período intensifica a ocorrência de geadas, causando as perdas das mudas.

Os autores Higa et al (2000), em estudo com a espécie *Eucalyptus dunnii* sobre resistência a geadas, em Campo Tenente-PR, tiveram como resultados de sobrevivência de 93,95%, 91,77% e 91,47% para idades de 12, 26 e 36 meses, respectivamente. A temperatura mínima registrada no período do experimento foi de -6,5°C. Isso constata que a espécie é tolerante a geada, contudo não foi observado no presente estudo com *E. pilularis*, o qual a maioria das plantas não foram resistentes a geada.

Os autores Nichols et al. (2010), em estudo sobre plantios do gênero *Eucalyptus* na região leste da Austrália cita que a espécie *Eucalyptus pilularis* é comumente limitada pela geada e posições topográficas mais altas.

Figura 3 - Temperaturas máxima, médias e mínimas registradas durante as coletas das informações das mudas o experimento. Observe que a quantidade de mudas amostras, inicialmente 20, foram reduzidas para 18, passando a 15, 14 e terminando apenas com 11 mudas. Essa perda é justificada pela ocorrência de geadas e pelas temperaturas abaixo de zero (marcação em linha vermelha tracejada).

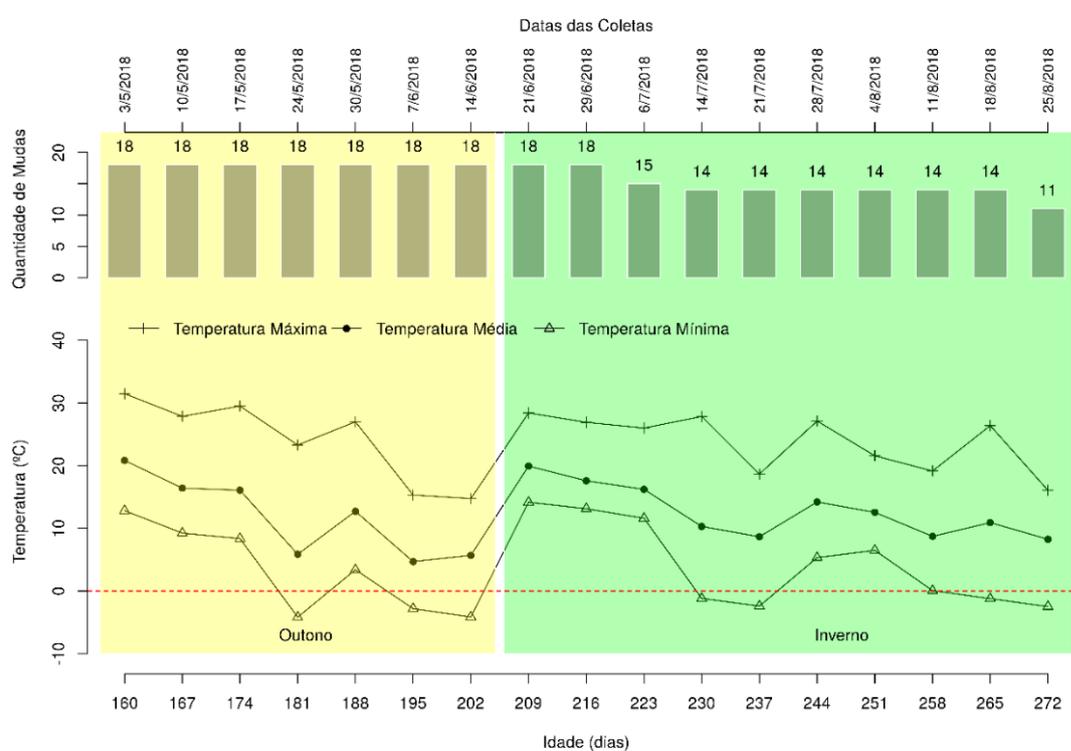


Tabela 2 - Temperaturas mínimas dos meses de abril a agosto de 2018. Verifica-se que as médias dos meses, foram baixas, com a maioria ficando abaixo de zero.

Mês	Temperatura (°C)
Abril	5,3
Maio	-4,1
Junho	-6,2
Julho	-4,9
Agosto	-6,8

Figura 4 - Danos da geada em muda do experimento muda de *E. pilularis*.



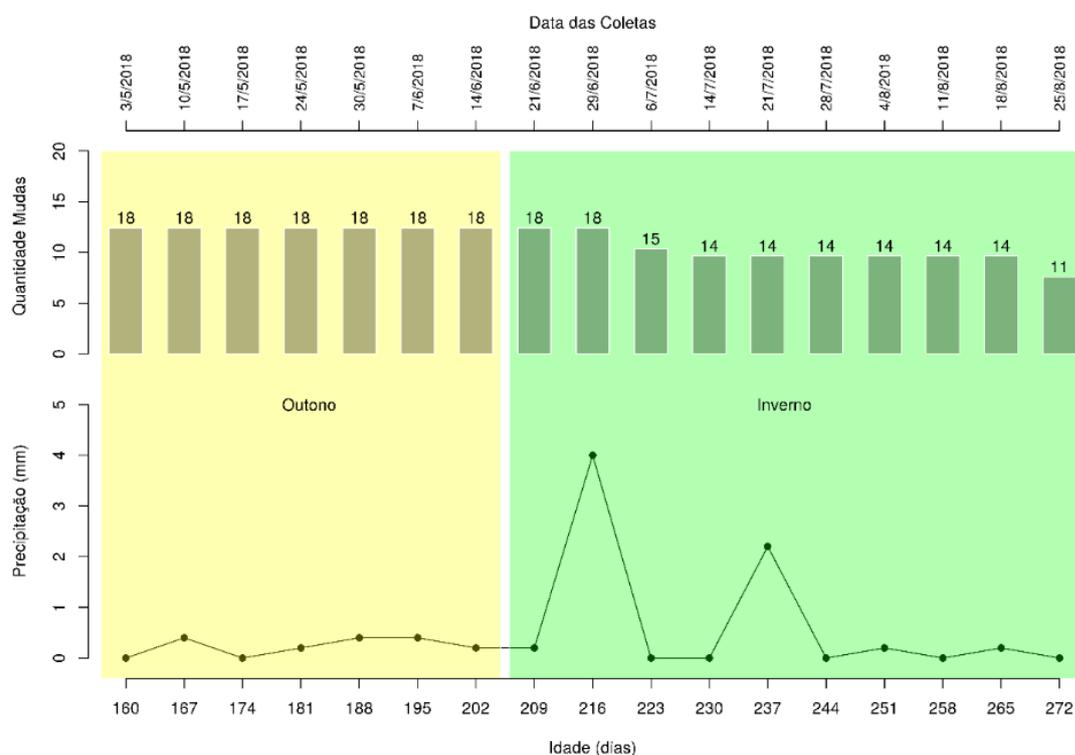
Fonte: A autora.

Em relação aos níveis de precipitação observados na Figura 5, observa-se baixa ocorrência durante o período de avaliação, sendo que o maior volume (4 mm) foi no dia 29/06/18. Na semana dos dias 6 a 14 de Julho não houve ocorrência de chuva, e neste período a quantidade de mudas reduziu de 18 para 14 mudas vivas.

Os autores Nichols et al.(2010),citam a importância de escolher espécies que além de tolerarem a ocorrência de geadas sejam capazes de lidar com uma drenagem deficiente . Estes sugerem as espécies como *C. citriodora* ssp. *variegata* e *E. argophloia* como sendo mais resistentes à seca do que *E. pilularis*.

Em um estudo de análise do crescimento em diâmetro da espécie *Eucalyptus grandis*, Sette Jr. et al. (2016) cita que a precipitação explicou 22 a 36% da variação diária do crescimento em diâmetro, sendo que o maior incremento de crescimento foi identificado após um período de ocorrência de chuva.

Figura 5 - Níveis de precipitação no período de coleta dos dados. Verifica-se a baixa ocorrência de chuvas, característica das estações de outono e inverno na região de Curitiba-SC.



No dia 25 de Junho de 2019 foi realizada uma visita na área do experimento, onde se constatou que as maiorias das mudas avaliadas que havia no local, no início das medições, morreram (Figura 6). O total quantificado de árvores presentes foi de 208, a maioria destas localizadas na parte superior do terreno do experimento e também na linha da borda onde ao lado há um plantio de *Pinus* que atuou como proteção dos danos mais intensos da geada. Do total de mudas restantes 169 apresentam bifurcação e apenas 39 não estão bifurcadas. A mortalidade das mudas e a ocorrência da bifurcação é resultado das temperaturas abaixo de 0°C e ocorrência de geadas.

Em estudo sobre o efeito da cobertura de *Pinus taeda* na proteção contra geadas e no crescimento de plantas jovens da espécie *Eucalyptus dunnii*, o autor Dobner Júnior (2008), encontrou que uma cobertura de até 50 árvores por hectare de

*P. taeda* diminui os danos causados pela geada e também eleva a resiliência das plantas danificadas.

Os autores Higa et al. (2000), encontraram a formação de brotações na espécie *Eucalyptus dunnii* após a ocorrência de geadas. Os mesmos autores citam que a brotação é um resultado da morte da gema apical e por ter consequências de deformidades no fuste ou bifurcações.

Figura 6 - Experimento *E. pilularis* dia 25/06/18. Em (A) Mudas vivas que restaram ao lado plantio de Pinus e (B) Área total do experimento com as mudas que resistiram a geada.



Fonte: Autora.

Das 11 mudas que sobraram no experimento, estas apresentaram como taxa de crescimento, calculada pela divisão dos valores mensurados do diâmetro e altura total no início da estação e no final, acima de zero, indicando que as mudas que sobraram apresentaram um crescimento durante o período. Os valores para a estação do outono foram de 0,0153 cm/dia e 0,6665 cm/dia e para o inverno de 0,0103 cm/dia e 0,4025 cm/dia, para o diâmetro do colo e a altura total das mudas, respectivamente (Tabela 5). Observe que a taxa indica que no inverno o desenvolvimento das mudas é reduzido. Para verificar isso, vamos analisar o padrão do crescimento do diâmetro e da altura, de forma detalhada, na próxima seção.

Tabela 3 - Taxa de crescimento do Diâmetro (cm/dia) e Altura Total (cm/dia) para as 11 mudas resistentes no experimento realizando entre os dias 03/05/2018 a 25/08/2018.

Estação do Ano	Diâmetro (cm/dia)	Altura Total (cm/dia)
Outono	0,0153	0,6665
Inverno	0,0103	0,4025

## 5.2 COMPORTAMENTO DOS DADOS DETERMINADOS

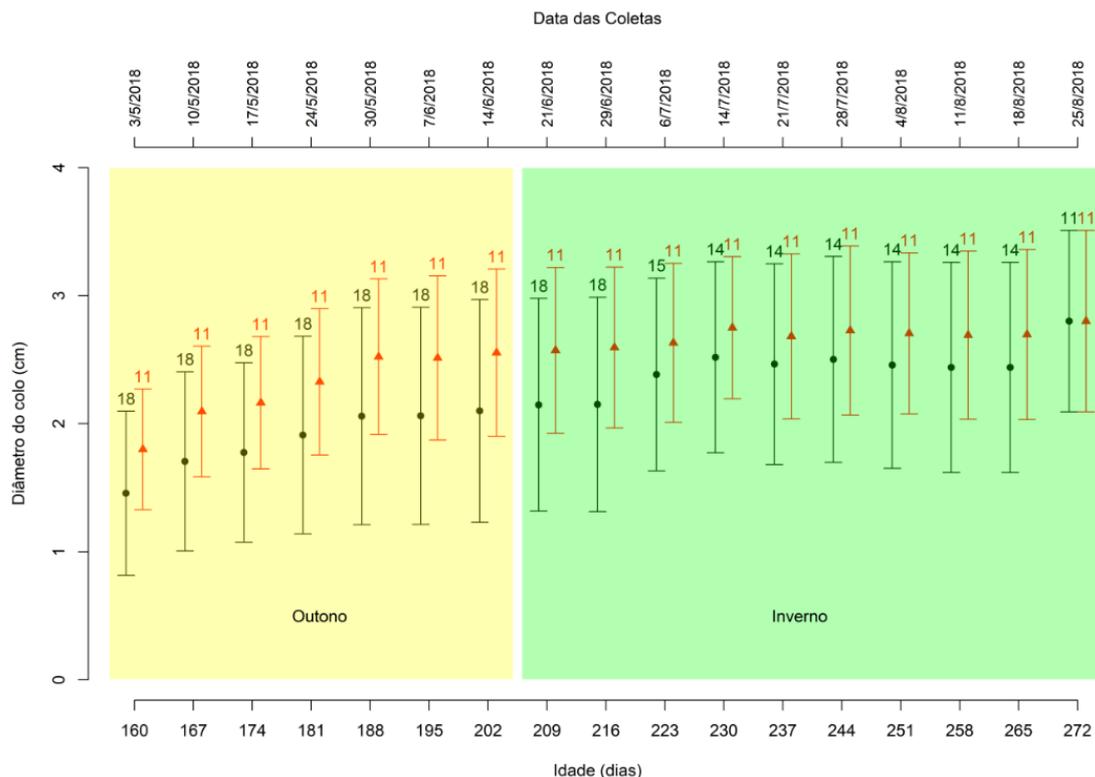
A seguir estão demonstrados os dados mensurados no período de 10/05/2018 a 21/07/18, pois não foi possível analisar os dados completos por conta da perda acentuada de mudas, e também pelos danos da geada que afetou as medidas, principalmente da variável altura. Como a altura foi medida desde a base do solo até a última folha do ápice, muitos ápices não permaneceram, causando redução nesta medida.

## 5.3 ANÁLISE DOS DADOS DA VARIÁVEL DIÂMETRO DO COLO

Na Figura 5 observa-se que no início do período das medições entre os dias 10/05 e 30/05 houve um crescimento maior, em relação ao restante do período. Fato esse comprovado pelas médias, identificadas por pontos e o desvio padrão que forma os intervalos, sendo +1 e -1 desvio com relação à média. Logo, após ocorre uma estabilização do desenvolvimento, demonstrando as consequências de temperaturas abaixo de 0°C e ocorrência de geadas. Ainda é possível verificar que o padrão apresentado, desde o início, pelas onze mudas resistentes pode ser verificado pelas médias superiores (pontos em vermelho) com menor desvio padrão, demonstrando a uniformidade entre as mudas que perduraram no experimento. Algumas destas mudas estavam na parte superior do terreno do experimento, e próximas a plantios de *Pinus* que proporcionou proteção contra geada, e conseqüentemente favorecendo o crescimento das mesmas. Todas as mudas apresentam o mesmo comportamento com relação a estabilização do crescimento em decorrência da temperatura, com destaque para a estação do inverno. Na Tabela 2, á apresentada, é possível verificar a mensuração desse padrão de crescimento, sendo menor no inverno. No final do período das medições as mudas com 9 meses de idade apresentaram um diâmetro médio de 2,49 cm. A média encontrada para *Eucalyptus dunnii* segundo Dias et al.

(2014), foi de 3,5 cm para diâmetro de mudas com idade de 340 dias, implantadas no Planalto Sul Catarinense.

Figura 7 - Padrão do crescimento do diâmetro do colo para as mudas avaliadas no experimento. Existem dois padrões expostos, sendo o composto por todas as mudas, inicialmente 18 e que foram sendo perdidas, passando a 15, 14 e culminando em 11. O segundo padrão apresentado pelas 11 mudas que persistiram durante todo o experimento. As médias estão representadas por pontos e os intervalos apresentados correspondem ao desvio padrão estimado para os grupos de mudas. Acima de cada intervalo apresentado está identificado o número de mudas avaliadas.



Para inferir ainda sobre o padrão de crescimento, na próxima seção, apresentamos a modelagem do crescimento por meio de modelos matemáticos com a intenção de estimar o crescimento pontual das mudas.

### 5.3.1 Modelos ajustados variável diâmetro do colo

Os modelos avaliados para a variável diâmetro do colo estão apresentados na Tabela 4, com seus respectivos coeficientes e parâmetros da qualidade do ajuste. Para valor  $R^2$  adaptado temos uma variação de 0,775 até 0,961, sendo estes dos

modelos Backman modificado, e o último para Chapman Richards e Gompertz. O maior valor de correlação também foi apresentado pelos modelos Chapman Richards e Gompertz. Em relação ao erro quadrático médio, novamente os modelos Chapman Richards e Gompertz obtiveram os menores resultados. Porém os modelos Chapman-Richards e Gompertz apresentaram coeficientes não significativos estatisticamente identificados pelo teste t apresentando p-valor superior a 5% (nível de significância adotado), inviabilizando o seu uso, pois estatisticamente são nulos.

Tabela 4 - Modelos e seus respectivos coeficientes e parâmetros do ajuste.

Modelos	Coeficientes				Parâmetros do ajuste		
	b0	b1	b2	b3	R <sup>2</sup>	COR	RSE
Prodan	29480,216	-241,102	0,862		0,956	0,978	0,046
Bertalanffy	2,996	0,014			0,869	0,933	0,933
Moissev	-12,342	0,177	-0,001	$9,165 \cdot 10^{-7}$	0,959	0,979	0,049
Chapman Richards	2,723	0,043	383,741		0,961	0,980	0,043
Gompertz	2,723	384,467	0,043		0,961	0,980	0,043

Fonte: Autora.

Para selecionar o melhor modelo, adotou-se a escolha dos modelos que apresentaram coeficientes significativos, utilizando os critérios de seleção AIC e BIC. Pode-se observar na Tabela 5 que os modelo com menores valores de AIC e BIC foram os modelos Chapman -Richards e Gompertz, mas optou-se em escolher o terceiro melhor modelo Prodan. A escolha do terceiro modelo foi em decorrência da exclusão dos dois primeiros já relatada. O modelo Prodan apresentou valores de AIC e BIC de -45,444 e -42,612, respectivamente. Os intervalos de confiança inferior (LI), superior (LS) e o p-valor para cada um dos parâmetros podem ser verificados na Tabela 6. Na Figura 8 está apresentado graficamente o ajuste da curva do modelo escolhido aos dados. É possível observar o crescimento em diâmetro nas primeiras medições, mas após o início do período de temperaturas abaixo de 0°C (a partir do

tempo 195), houve uma redução do desenvolvimento das mudas, visivelmente identificado na baixa inclinação do modelo. Fato que corrobora com as primeiras análises apresentadas, de que as temperaturas baixas prejudicaram o desenvolvimento das mudas.

Segundo Ferreira&Simões (1994), as geadas afetam o desenvolvimento da espécie. Em locais de ocorrência natural no continente Australiano ocorrem geadas leves, onde pode existir variação genética natural ligada à resistência a geadas. Os autores também citam que temperaturas abaixo de 0°C podem ser fatais para a espécie na fase de muda.

Tabela 5 - Valores de AIC e BIC para cada modelo ajustado.

Modelos	AIC	BIC
Prodan	-45,444	-42,612
Bertalanffy	-30,983	-28,859
Moissev	-44,477	-40,936
Chapman Richards	-47,116	-44,284
Gompertz	-47,116	-44,284

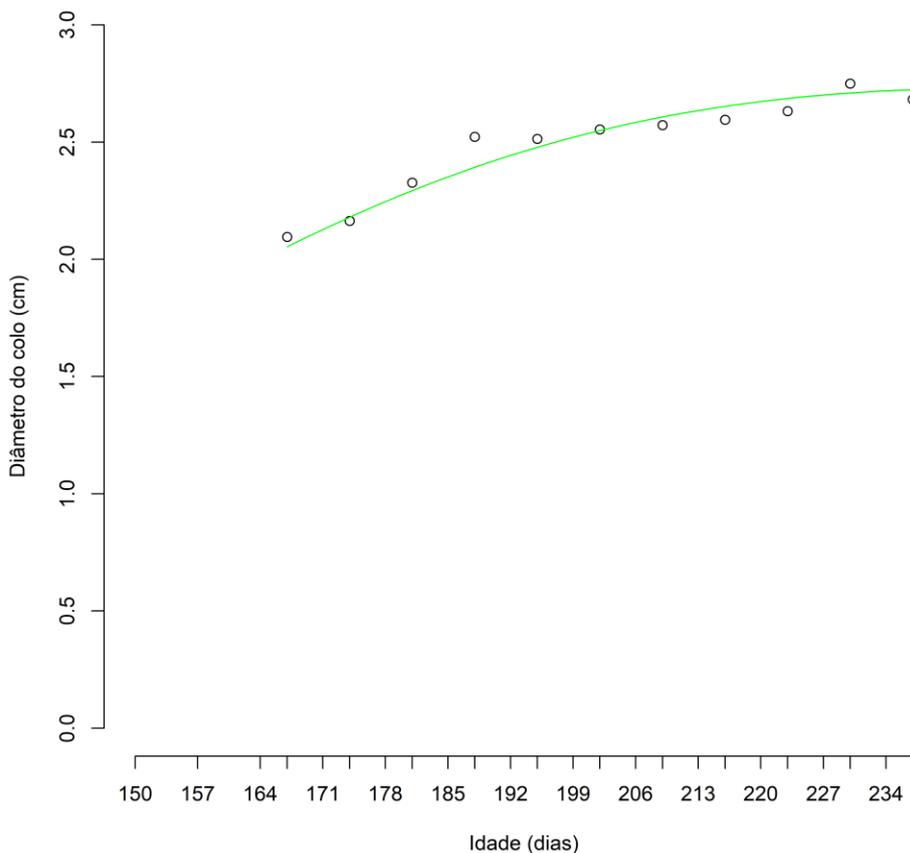
Fonte: Autora.

Tabela 6 - Estimativas, intervalos de confiança inferior (LI) e superior (LS) e os respectivos valores-p dos parâmetros do modelo Prodan.

Prodan	Estimativa	LI	LS	Valor-p
$b_0$	29480,216	19258,93	39869,12	<0,001
$b_1$	-241,102	-339,951	-143.691	0,00018
$b_2$	0,862	0,634	1,094	<0,001

Fonte: Autora.

Figura 8 - Representação gráfica do ajuste do modelo Prodan as médias de crescimento da variável diâmetro do colo em função da idade da mudas de *E. pilularis*.



Os autores Higa et al. (1997), analisando o comportamento de vinte espécies de eucaliptos em local de ocorrência de geadas no sul do Brasil, detectaram que no crescimento inicial do Eucalipto as geadas rigorosas são mais prejudiciais do que no estágio adulto. Sendo que a ocorrência de geadas pode comprometer o desenvolvimento e a sobrevivência das mudas.

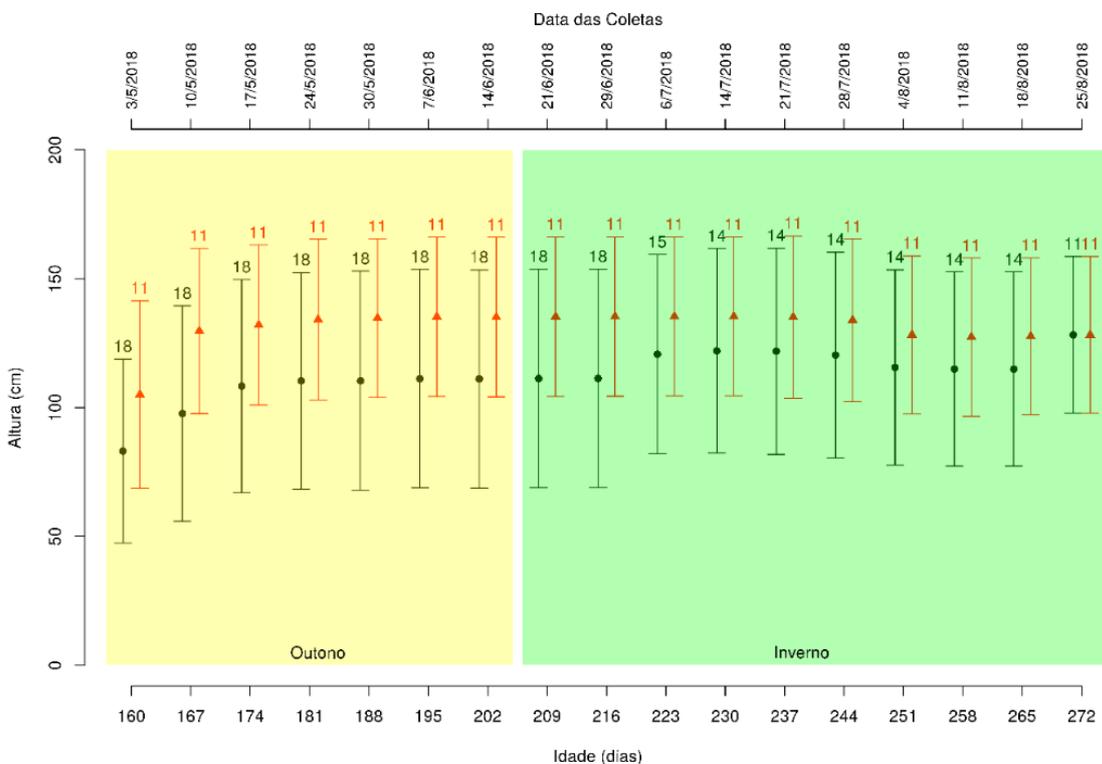
Segundo Paludzyszyn Filho & Santos (2005), plantas no estágio de mudas apresentam maiores danos nos ramos, caules e folhas por ação de geadas, pois neste período de desenvolvimento a planta é mais suscetível, sendo que seu material vegetativo ainda está muito próximo do solo, onde ocorre maior inversão térmica.

#### 5.4 ANÁLISE DOS DADOS DA VARIÁVEL ALTURA TOTAL

Na Figura 9 são apresentados dois padrões de crescimento, representado pelas médias (símbolos) e o intervalo construído a partir de -1 e +1 desvios com relação à média. O primeiro padrão está relacionado a todas as mudas avaliadas, que iniciaram com 18 mudas e sobraram apenas 11. O segundo padrão corresponde apenas aos valores das 11 mudas que persistiram no experimento. Os padrões podem ser identificados pelos valores acima dos intervalos apresentados, que representam a quantidade de mudas envolvida na estimativa das médias e dos desvios padrão. Observa-se que no início do período das medições, entre os dias 10/05 e 30/05 (outono), houve um crescimento maior em relação ao restante do período. Depois observa-se que o crescimento em altura se estabiliza, demonstrando as consequências de temperaturas abaixo de 0°C e ocorrência de geadas (inverno). O padrão das 11 mudas persistentes é superior ao das demais mudas como pode ser verificado no gráfico. Ainda no gráfico é possível verificar que ocorre uma redução da altura. Este fato ocorre em decorrência da geada que causou a queima do ápice apical das mudas, logo estas se curvaram e alguns quebraram diminuindo a altura das mesmas como constado nas mensurações. A média de altura das mudas com 9 meses de idade foi de 134,30 cm. Os autores Lopes et al. (2011), apresentaram resultados médios de altura de 88 a 114 cm para a espécie *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla* com 6 meses de idade.

Para tentar comprovar e descrever o padrão de crescimento da altura, pontualmente, realizou-se o ajuste dos modelos matemáticos, sendo os resultados apresentados na próxima seção.

Figura 9 - Padrão do crescimento da altura total avaliada durante o período de coleta dos dados. Dois padrões são apresentados, representados pelas médias (símbolos) e o intervalo criada a partir de -1 e +1 desvio com relação à média. O primeiro padrão está relacionado à todas as mudas avaliadas, que iniciaram com 18 e foram reduzidas a 11 e o segundo com as 11 mudas que persistiram no experimento. Verifica-se novamente um crescimento inicial, porém que se reduz em ambos os padrões no inverno. Acima de cada intervalo apresentado está identificado o número de mudas avaliadas.



#### 5.4.1 Modelos ajustados para a variável altura

Os modelos testados para o ajuste da variável altura estão apresentados na Tabela 7 com seus respectivos coeficientes e parâmetros da qualidade do ajuste. Para valor  $R^2$  adaptado, o modelo Schumacher apresentou o menor valor sendo 0,644 e o modelo Gompertz obteve o maior valor sendo 0,988. O maior valor de correlação também foi apresentado pelo modelo Gompertz. Em relação ao erro padrão da

estimativa Gompertz apresentou resultado de menor estimativa, mas o mesmo não pode ser utilizado pois não apresenta coeficientes significativos.

Tabela 7 - Modelos e seus respectivos coeficientes e parâmetros do ajuste.

Modelos	Coeficientes				Parâmetros do ajuste		
	b0	b1	b2	b3	R <sup>2</sup>	COR	RSE
Schumacher	4,992	-18,403			0,644	0,802	1,135
Backman modificado		1,763	-0,158		0,737	0,863	0,975
Prodan	195,348	-1,847	0,012		0,955	0,977	0,427
Moissev	-4,376	8,020	-0,037	$5,770 \cdot 10^{-5}$	0,984	0,992	0,273
Gompertz	1,353	8,246	0,100		0,988	0,994	0,219

Fonte: Autora.

Inicialmente foi escolhido os modelos que apresentaram coeficientes significativos, e então com estes modelos aplicou-se os critérios de seleção AIC e BIC. Pode-se observar na Tabela 8 que o modelo que resultou em menores valores de AIC e BIC foi o modelo Gompertz, porém o mesmo apresentou parâmetros não significativos, optou-se pela escolha do modelo Backman Modificado, pois este possui todos os coeficientes significativos. O modelo resultou em valores de 34,463 e 35,657 para AIC e BIC, respectivamente. Os intervalos de confiança inferior (LI), superior (LS) e o valor-p para cada um dos parâmetros podem ser verificados na Tabela 9. Como os parâmetros foram significativos, ou seja, menores que 5% (nível de significância adotado), o modelo foi selecionado. Em relação ao crescimento medido, observa-se inicialmente uma elevação dos valores da altura das mudas, o qual ocorreu no período antes das mudas sofrerem fortes danos das geadas. Com o início do período de baixa temperatura, o desenvolvimento foi imensamente reduzido, iniciando uma estabilização observada na Figura 10, a partir dos 202 dias (14/06/2018), pois a espécie foi afetada pela ocorrência de geadas. Novamente, pode-se verificar que a tendência da curva do modelo é indicar uma estabilização do crescimento.

Tabela 8 - Valores de AIC e BIC para cada modelo ajustado.

Modelos	AIC	BIC
Schumacker	37,790	38,983
Backman modificado	34,463	35,657
Prodan	17,014	18,606
Moissev	7,692	9,682
Gompertz	2,314	3,905

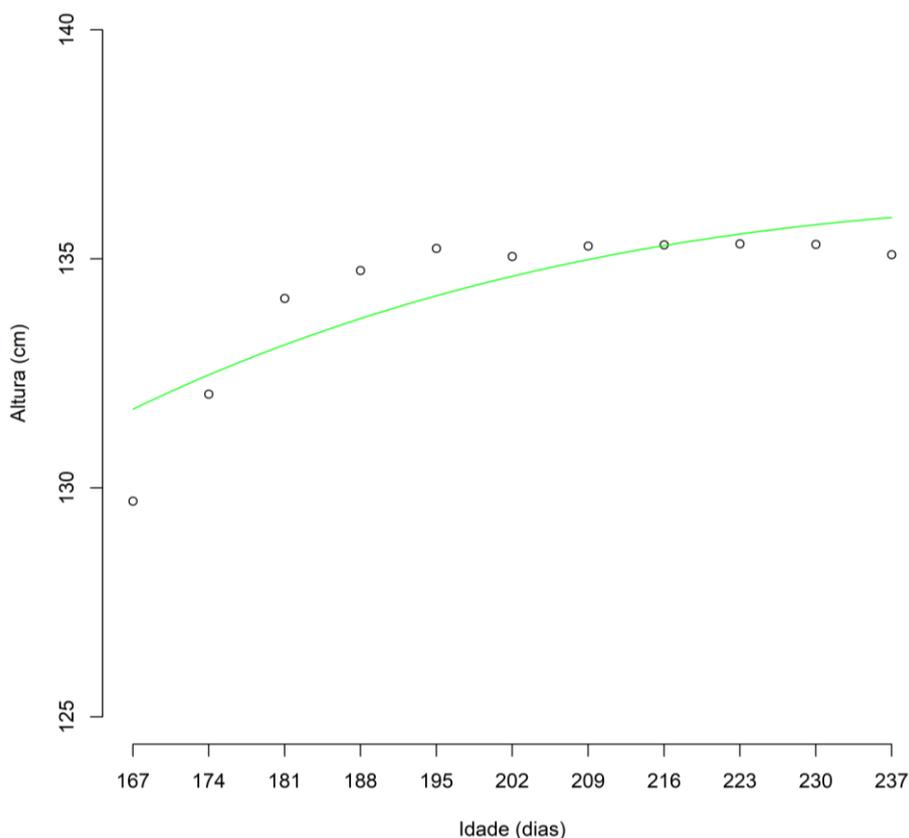
Fonte: Autora.

Tabela 9 - Estimativas, intervalos de confiança inferior (LI) e superior (LS) e os respectivos valores-p dos parâmetros do modelo Backman modificado.

Backman modificado	Estimativa	LI	LS	Valor-p
$b_0$	1,884	1,806	1,961	<0,001
$b_1$	-0,181	-0,195	-0.167	<0,001

Fonte: Autora.

Figura 10 - Representação gráfica do ajuste do modelo Backman modificado as médias de crescimento da variável altura total em função da idade das mudas de *E. pilularis*.



Em decorrência de geada, o crescimento das mudas foi interrompido, mas observou-se em algumas o aparecimento de brotações no caule próximo ao solo. Os sintomas apresentados por eucaliptos em fase juvenil, em decorrência do efeito da geada podem ser queima das folhas, desfolha total e também surgimento de brotações jovens de touças (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2005).

Os autores Higa et al., (2000) também encontraram a formação de brotações na espécie *Eucalyptus dunnii* após a ocorrência de geadas. Os mesmos autores citam que a brotação é um resultado da morte da gema apical e por ter consequências de deformidades no fuste ou bifurcações. No caso do presente estudo, foi possível observar a ocorrência de bifurcações nas mudas sobreviventes de *E. pilularis*.

## CONCLUSÃO

Avaliaram-se as variáveis de diâmetro do colo e altura total de mudas da espécie *Eucalyptus pilularis* pra descrever o padrão de crescimento. As variáveis dendrométricas utilizadas indicaram um desenvolvimento no início do período das medições (outono) e uma redução posterior (inverno).

Os modelos selecionados foram Prodan e Backman modificado para o diâmetro do colo e altura total, respectivamente. O modelo Prodan apresentou valores de  $R^2$  adaptado de 0,956, AIC -45,444 e BIC -42,612. O modelo Backman modificado apresentou valores de  $R^2$  adaptado 0,737, AIC 34,463 e BIC de 35,657.

A maioria das mudas espécies foi devastada pela geada, somente alguns indivíduos sobreviveram, provavelmente pela localização, pois as mesmas estavam protegidas por plantio de pinus e também o material genético das mudas pode ter resultado nesta resistência. Seria necessária a continuação do estudo para comprovar o fator que mais influenciou para a resistência das 208 mudas restantes no experimento.

Em decorrência das baixas temperaturas, algumas mudas morreram e prejudicaram a avaliação. Recomenda-se a continuação do estudo, por um período maior de avaliação para descrever de forma mais abrangente o desenvolvimento da espécie na região de Curitiba-SC.

## REFERÊNCIAS

- ALBINO, J. C.; TOMAZELLO, M. F.; **Variação da densidade básica da madeira e produtividade de *Eucalyptus* spp.** Boletim de pesquisa, n.26, 1985.
- ALCORN, P. J.; FORRESTER, D. I.; SMITH, R G. B.; THOMAS, D.S.; JAMES, R. N.; NICOTRA, A. B.; BAUHUS, J. Crown structure and vertical foliage distribution in 4-year-old plantation-grown *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus cloeziana*. **Trees**, Austrália, v.27, p. 555-566, 2013.
- ALGARVE, V. R.; CAVALCANTI, I. F. A **Características da circulação atmosférica associadas à ocorrência de geadas no sul do Brasil.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, 1994.
- BRITO, C. C. R.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, E. S.; FERRAZ, I. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações dos modelos de chapman-richards e silva-bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (lam.) De wit. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 175-185, 2007.
- CABARDO, S.J.; LANGRISH, T. A. G. Within-tree variability in the drying properties for blackbutt timber in New South Wales. **Maderas, Ciencia y tecnologia**. v.8, n.1, p.15-24, 2006.
- CAMPOS, J. C. **Mensuração Florestal-Perguntas e respostas**. 4 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2013.605 p.
- CHAVES, A. G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* Linn. F. até a idade de rotação.** 2013. 86f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) - Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.
- DIAS, Luciana Patrícia Rosa et al. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 516-523, 2014.
- CRUZ, P.J.; LEITE, H.C; SOARE, C. P. B.; CAMPOS, J. C. C.; SMIT, J.; NOGUEIRA, G. S. Curvas de crescimento de índice local para povoamento de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.679-685, 2008.
- DOBNE JÚNIOR, M. **Efeito da cobertura de *Pinus taeda* L. na proteção contra geadas e no crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus dunnii* Maiden.**2008.70f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba PR, 2008.
- ELEOTÉRIO, J. R.; PELLENS, G. C.; COMMANDULI, M. J. Crescimento em diâmetro, altura e volume de *Hovenia dulcis* na região sul de Blumenau, **SC. FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 733 - 740, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina**. 2002. Disponível em: <[http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=708&Itemid=483](http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=708&Itemid=483)>. Acesso em: 14 jun. 2019.

FERREIRA, M. J. SIMÕES, W. **FORMAÇÃO DE POPULAÇÃO BASE DE *Eucalyptus pilularis* Smith, VISANDO PRODUÇÃO DE MADEIRA PARA USOS MÚLTIPLOS**. IPEF, n.47, p.1-21, 1994.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **Visão Agrícola**, n.4, 2005.

FORRESTER, D. I.; SMITH, R. G. B. **Forest Ecology and Management**, v.286, n.6, p.81–86, 2012.

FLORIANO, P.; MULLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 177-199, 2006.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A.; Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 123-131, 2013.

GOUVEA, D. J. X.; LEITE, M. V. S.; ASSIS, A. L.; CABACINHA, C. D. **Seleção de modelo matemático para a classificação da capacidade produtiva a partir de parcelas temporárias**. In: IV SEEFLORES-Bahia. 2016.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p.7-22, 30, 2010.

HIGA, A. R. et al. Geadas, prejuízos à atividade florestal. **Silvicultura**, São Paulo, v. 15, n. 58, p. 40-43, 1994.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. **Comportamento de vinte espécies de eucalyptus em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil**. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. 1997.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V.R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 40, p.67-76, 2000.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual**. 2017.

J.J. Allaire manipulate: Interactive Plots for RStudio. R package version 1.0.1. 2014. Disponível em: < <https://CRAN.R-project.org/package=manipulate> >. Acesso em: 28 Abril 2019.

KLASSEN, W.; LANKREIJER, H. J. M.; VEEN, A. W. L. Rainfall interception near a forest edge. **Journal of Hydrology**, n.185, p.349-361, 1996.

LAMBERT, L. Crescimento de diferentes espécies de *Pinus* spp. Na região serrana de Santa Catarina. 2018. 108 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018. Universidade do Estado de Santa Catarina.

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **The Container Tree Nursery Manual**. Seedling Processing, Storage, and Outplanting Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service. Volume 7, 2010. 200 p.

LEI, Y. C.; ZHANG, S.Y. Features and Partial Derivatives of Bertalanffy-Richards Growth Model in Forestry. **Nonlinear Analysis: Modelling and Control**, v.9, n.1, p.65–73, 2004.

LIMA FILHO, L. M. A.; SILVA, J. A. A.; CORDEIRO, G. M.; FERREIRA, R. L. C. Modelagem do crescimento de clones de *Eucalyptus* usando o modelo de Chapman-Richards com diferentes distribuições simétricas dos erros. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 777-785, 2012.

LOPES, Jane Luísa Wadas et al. Crescimento inicial do eucalipto em função da aclimação em viveiro. **Irriga**, p. 199-211, 2011.

MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; SCOLFORO, J. R.; MACHADO, S. A. CORTE, A. P. D. Modelagem do crescimento florestal considerando variáveis do ambiente: revisão. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.14, n.3, p.103-110, 2013.

MONTEIRO, M. A.; Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, Florianópolis, v.16, n.31, p 69-78, 2001.

NICHOLS, J. Doland et al. Subtropical eucalypt plantations in eastern Australia. **Australian Forestry**, v. 73, n. 1, p. 53-62, 2010.

PALUDZYSZYN FILHO, E. P. SANTOS, E. T. **Considerações Sobre o Plantio de *Eucalyptus dunnii* no Estado do Paraná**. Comunicado Técnico 141, Colombo PR, 2005.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, (Documentos, 38), 2000. 113p. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/297469/1/doc38.pdf> >. Acesso em: 10 jun. 2019.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 28 abril 2019.

ROS, C.O. et al. Resistência à geadas e crescimento inicial de *Toona ciliata* em cultivos consorciados com *Eucalyptus grandis* em diferentes adubações. **Ciênc. Florest**, Santa Maria, v.28, n.2, 2018.

SANQUETTA, C. R.; WEBER, S. H. FORMAGINI, 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. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.1, p.001-008, 2010.

SANTOS, R. C. **Curvas de crescimento em altura e índice de sítio de povoamentos clonais de *Eucalyptus* ssp. na chapada do Araripe, Pernambuco.** 2012. 84 f. Dissertação. (Pós-Graduação em Ciências Florestais) -Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

SANTOS, L. D. T.; THADEO, M.; IAREMA, L.; MEIRA, R. M. S. A.; FERREIRA, F. A. Foliar anatomy and histochemistry in seven species of *Eucalyptus*. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.32, n.4, 2008.

SCHIKOWSKI, A. B.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 269-278, 2013.

SETTE JR., C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOUSADA, J. L.; LOPES, D.; LACLAU, J. P. Relationship between climate variables, trunk growth rate and wood density of *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden trees **Rev. Árvore**, Viçosa, v.40 n.2, 2016.

SEXTON, T. R.; HENRY, R. J.; MCMANUS, L. J.; HENSON, M.; THOMAS, D. S.; SHEPHERD, M. Genetic association studies in *Eucalyptus pilularis* Smith (blackbutt). **Australian Forestry**, v. 73, n.4, p. 254-258, 2010.

SILVA, G. F.; CURTO, R. A. SOARES, C. B. P.; PIASSI, L. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.36, n.2, 2012.

SILVA, H. D.; PIRES, I. E.; ARAÚJO, F. D. **Comportamento silvicultural e aptidão para produção de carvão de cinco espécies de *Eucalyptus*, na região dos Cerrados de Minas Gerais.** Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 24/25, p. 71-78, 1992.

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

SILVA, J. A. A.; ROCHA, K. D.; FERREIRA, R. L. C.; TAVARES, J. A. **Modelagem do crescimento volumétrico de clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) no polo gesseiro do Araripe-Pe.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, v. 13/14, p.173-190, 2017.

SOUZA, C. C. **Modelo de crescimento, com variáveis ambientais, para o ipê-felpudo em diferentes espaçamentos.** 2004. 96 f. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SOUZA, C. C. **Modelo de crescimento com variáveis ambientais para o Ipê Felpudo em diferentes espaçamentos.** 2004.114f. Dissertação. (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba-SP, 2004.

SOUZA, S. M.; SILVA, H. D.; PINTO JÚNIOR, J.E. **Variabilidade genética e interação genótipo x ambiente em *Eucalyptus pilularis*.** Parte do Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.26/27, p.3-16, 1993.

TOMAZELLO, M. F. **VARIAÇÃO RADIAL DA DENSIDADE BÁSICA E DA ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA DO *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*.** IPEF, Piracicaba, n.30, p.45-54, 1985.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; CHAVES, A. G. S.; MEDEIROS, R. A.; SILVA, R. S.; SOUZA<sup>1</sup>, H. S.; DRESCHER, R.; LEITE, H. G. Estimativa da altura de árvores de *Tectona grandis* L.f. utilizando regressão e redes neurais artificiais. **Nativa**, Sinop, v.5, n.1, p.52-58, 2017.

WENDLING, L. G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* mart. plantadas a céu aberto.** 1998. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

WENDLING, J. L. G.; SANQUETTA, C. R. AHRENS, S. Modelos matemáticos para crescimento e produção de peso de creme comestível de palmito, em árvores individuais de *Euterpe edulis* Mart. **Floresta**, v. 28, n. 1/2, p. 65-82, 1998b.

ZAMIN, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas.** 2013. 100 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

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

