

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

Luci Teixeira Stanck Tavares

**Modelagem matemática do crescimento de mudas de *Sequoia sempervirens* a partir de características dendrométricas individuais**

CURITIBANOS

2019

Luci Teixeira Stanck Tavares

**Modelagem matemática do crescimento de mudas de *Sequoia sempervirens* 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.

Tavares, Luci Teixeira Stanck  
MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Sequoia  
sempervirens* A PARTIR DE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS  
INDIVIDUAIS / Luci Teixeira Stanck Tavares ; orientador,  
Crysttian Arantes Paixão, 2019.  
33 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. *Sequoia sempervirens*. 5. Mudas. I.  
Arantes Paixão, Crysttian. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III.  
Título.



Luci Teixeira Stanck Tavares

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Sequoia  
sempervirens* 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.



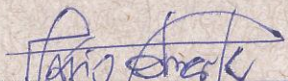
Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Prof. Crysttian Arantes Paixão, Dr.  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



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



Prof.<sup>a</sup> Pollyni Ricken, M<sup>a</sup>.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado aos meus pais que sempre me apoiaram nos momentos difíceis. Sem eles nada seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida e pela proteção durante toda minha caminhada. Aos meus pais Sebastião Stanck e Lúcia Sutil Teixeira Stanck pelos cuidados, orações e todo amor recebido nos momentos difíceis. Aos meus irmãos Alex Teixeira Stanck e Luciane Teixeira Stanck por todo carinho e incentivo para que eu não desistisse nos momentos de angústia. Ao meu esposo Lucas, por todo amor e compreensão nos momentos em que permaneci distante. Aos meus tios, tias, primos, primas e minha afilhada por todo carinho recebido durante essa importante fase da minha vida.

Não posso deixar de agradecer meu orientador Prof. Dr. Crysttian Arantes Paixão, pela ajuda recebida para que este trabalho fosse concretizado, pelos conselhos e palavras de incentivo recebidas durante essa fase. Às minhas amigas pela parceria e união durante a graduação, em especial à Francine, Hendria, Ana Paula e Mayrine. Aos professores que me acompanharam durante a graduação e compartilharam seus conhecimentos comigo. Agradeço aos professores participantes da banca examinadora que dividiram comigo este momento tão importante e esperado. À UFSC Campus Curitibanos/SC, pela oportunidade de realizar um sonho de cursar Engenharia Florestal. Enfim, dedico este trabalho a todos que fizeram parte desta etapa da minha vida. Muito obrigada!

## RESUMO

Atualmente, a *Sequoia sempervirens* tem se destacado no mercado mundial por apresentar características de interesse comercial. Além disso, a espécie apresenta excelente crescimento, sendo considerada uma das mais produtivas nos Estados Unidos. O objetivo do presente estudo foi a avaliação do crescimento da espécie no município de Curitibanos/SC, considerando o diâmetro de colo e a altura total. Foram avaliadas 15 mudas, durante o período de 09/01/2018 até 05/01/2019, contemplando as estações de verão, outono, inverno e primavera. A primavera e o verão foram caracterizados por altas temperaturas e elevados níveis de precipitação. Por outro lado, as estações do outono e inverno apresentaram baixas temperaturas e níveis de precipitação reduzidos. O diâmetro do colo e a altura total apresentaram um padrão de crescimento praticamente constante em todas as estações. Para comprovar esses padrões e realizar uma estimativa foram ajustados alguns modelos matemáticos, sendo selecionados os modelos Backman e Linear para descrever o comportamento do diâmetro e da altura total, respectivamente. Os modelos comprovaram um padrão de crescimento aproximadamente linear, sendo este persistente durante as previsões. Desta forma, pode-se inferir que *Sequoia sempervirens* apresentou um crescimento lento, comportamento característico dessa espécie. Como a avaliação foi realizada em mudas, recomenda-se que novos estudos sejam realizados, porém considerando um tempo maior de mensurações.

**Palavras-chave:** Altura total. Diâmetro do colo. Previsão.

## ABSTRACT

Currently, *Sequoia sempervirens* has stood out in the world market for presenting characteristics of commercial interest. In addition, the species presented an excellent growth being considered one of the most productive in the United States of America. The objective of this study was to evaluate the growth of this species in Curitiba/SC, considering collar diameter and overall height. Fifteen seedlings were evaluated during the period from 09/01/2018 to 05/01/2019, contemplating the seasons of summer, autumn, winter and spring. The spring and summer seasons were characterized by high temperatures and high levels of precipitation. On the other hand, the autumn and winter seasons were characterized by low temperatures and low levels of precipitation. The diameter and the total height presented a constant growth pattern in all seasons. Mathematical models were adjusted to verify this pattern and realize a prediction, with Backman and Linear models being selected to describe the diameter and the total height, respectively. The models showed an approximately linear pattern of growth, being this persistent during the predictions. Therefore, it can be inferred that *Sequoia sempervirens* presented a slow growth, characteristic behavior of this species. As the evaluation was realized with seedlings, it is recommended that new studies be performed, but considering a longer time of measurements.

**Keywords:** Total height. Lap diameter. Forecast.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demonstração das características dendrométricas diâmetro de colo e altura total avaliadas no estudo.....	18
Figura 2 - Localização da área utilizada para implantação do experimento no município de Curitibanos/SC. ....	20
Figura 3 - Temperaturas mínima, média e máxima mensuradas nos dias das coletas dos dados entre o dia 09/12/2018 até 05/01/2019 que corresponde ao período de desenvolvimento das mudas de 60 a 420 dias de vida. ....	23
Figura 4 - Nível de precipitação durante as mensurações das variáveis dendrométricas das mudas do experimento entre o dia 09/12/2018 até 05/01/2019 que corresponde ao período de desenvolvimento das mudas de 60 a 420 dias de vida. ....	24
Figura 5 - Padrão do crescimento do diâmetro do colo entre os 60 e 360 dias de vida das mudas de sequoia do experimento. As médias de crescimentos de 15 mudas estão apresentadas no gráfico (pontos) em conjunto com o desvio padrão, formando um intervalo com -1 e +1 desvio padrão com relação à média. ....	25
Figura 6 - Qualidade do ajuste do modelo Backman.....	28
Figura 7 - Padrão do crescimento da altura total entre os 60 e 360 dias de vida das mudas de sequoia do experimento. As médias de crescimentos de 15 mudas estão apresentadas no gráfico (pontos) em conjunto com o desvio padrão, formando um intervalo com -1 e +1 desvio padrão com relação à média. ....	29
Figura 8 - Qualidade do ajuste do modelo Linear.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados no ajuste. ....	22
Tabela 2 - Taxa de crescimento das mudas nas estações do ano para o diâmetro do colo e da altura total. Para o cálculo do crescimento, considerou-se a o crescimento do primeiro dia ao último, dividido pelo tempo decorrido. ....	25
Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros de cada modelo.....	26
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).....	26
Tabela 5 - Intervalos de confiança inferior e superior para cada parâmetro do modelo Backman. ....	27
Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros de cada modelo.....	30
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).....	30
Tabela 8 - Intervalos de confiança inferior e superior para cada parâmetro do modelo Moissev. ....	31

## 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>REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
3.1	<i>Sequoia sempervirens</i> .....	17
3.2	CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E MODELOS DE CRESCIMENTO.....	18
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	20
4.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS E ESCOLHA DOS MODELOS MATEMÁTICOS.....	21
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
5.1	DADOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS AO PERÍODO DE MONITORAMENTO DO EXPERIMENTO.....	23
5.2	AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO DO COLO .....	24
5.3	AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL ALTURA TOTAL.....	28
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor florestal brasileiro vem se destacando no cenário mundial. Segundo o SNIF (2018), a área de floresta plantada no Brasil em 2017 alcançou cerca de 9,8 milhões de hectares sendo que destes, 7,4 milhões correspondem aos plantios de Eucalipto e 2,0 milhões são áreas de Pinus. Segundo o SFB (2018), a base florestal plantada em Santa Catarina é basicamente formada por Pinus com 64%, seguido das plantações com Eucalipto chegando à 34% de acordo com o inventário florestal nacional realizado no estado.

Para a inserção de novas espécies no setor florestal, torna-se necessário uma avaliação e análise que deve considerar as características dendrométricas e estimar o crescimento para se obter o padrão de produção da espécie a ser selecionada. Dentre as inúmeras espécies, uma que merece atenção é a *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. A espécie apresenta um dos tipos de madeira mais produtivos e de alta qualidade dos Estados Unidos, seu local de origem. Além disso, apresenta uma capacidade de crescer e se desenvolver mesmo após incêndios, inundações e deslizamentos de terra (RUSSELL, 2010).

Segundo Toral et al. (2010), a adaptação da espécie depende da temperatura, pois em locais quentes ela não controla sua perda de água. Navroskiet al. (2015) indicou que o Sul do Brasil é considerado um local apropriado para o crescimento e desenvolvimento da espécie por apresentar clima semelhante ao seu local de origem.

A espécie apresenta como uma alternativa de matéria prima para as indústrias nacionais podendo ser utilizada para a produção comercial no município/região de Curitiba, e por esse motivo a sua avaliação é de extrema importância. Neste trabalho foi avaliado o crescimento de mudas de *Sequoia sempervirens* no município de Curitiba/SC, considerando as variáveis dendrométricas diâmetro do colo altura total no município de Curitiba/SC. As análises foram realizadas para determinar o padrão de crescimento utilizando modelos matemáticos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação do crescimento inicial de mudas de *Sequoia sempervirens* no município de Curitiba/SC.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características dendrométricas como diâmetro de colo e altura total;
- Selecionar, analisar e avaliar modelos matemáticos/estatísticos para descrever o crescimento da espécie;
- Realizar a previsão dos valores para as características mensuradas para descrever o crescimento.



### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 *Sequoia sempervirens*

A *Sequoia sempervirens* é originária do Noroeste dos Estados Unidos, mais especificamente do centro da Califórnia. Esta espécie é muito conhecida por apresentar indivíduos com maiores alturas do mundo. A sua chegada no Brasil ocorreu com interesse na arborização e não plantios comerciais (NAVROSKI et al., 2015). No entanto, atualmente a espécie vem sendo cada vez mais procurada no mercado mundial por apresentar características de interesse comercial como cerne marrom-avermelhado e alburno com tonalidade branca (PEREIRA, 2018). Além disso, a espécie apresenta excelente crescimento sendo considerada uma das mais produtivas nos Estados Unidos e apresenta vários extrativos que protegem a madeira contra o ataque de agentes biodegradadores, como fungos e insetos (RICKEN et al., 2011).

*Sequoia sempervirens* apresenta uma característica de resistência ao fogo, principalmente por causa da espessura da casca que forma uma crosta isolante. Além disso, a espécie tem alta capacidade de brotação. Isso proporciona uma vantagem competitiva para sequoias contra espécies que são menos resistentes ao fogo, brotam menos ou crescem mais lentamente. A espécie suporta inundações severas, solos encharcados e deposição de sedimentos. O movimento de massa, danos causados pelo vento, insetos e patógenos geralmente não são principais ameaças à sequoia (O'HARA et al., 2017).

De acordo com Ricken et al. (2011), o cultivo de *Sequoia sempervirens* é economicamente viável, tendo incremento médio anual em altura de 0,55 m/árvore/ano, em diâmetro de 2,5 cm/árvore/ano e em volume de 0,60 m<sup>3</sup>/árvore/ano, indicando crescimento ótimo da espécie na região de São Joaquim/SC. Já que no seu local de origem a espécie apresenta um crescimento maior que 45 m<sup>3</sup> /ha/ ano em alguns sítios da Nova Zelândia (PEREIRA, 2018).

O Sul do Brasil destaca-se como um local apropriado para o desenvolvimento da espécie, pois apresentam locais altos com fortes ocorrências de geadas, característica esta que pode prejudicar o desenvolvimento de outras espécies como o

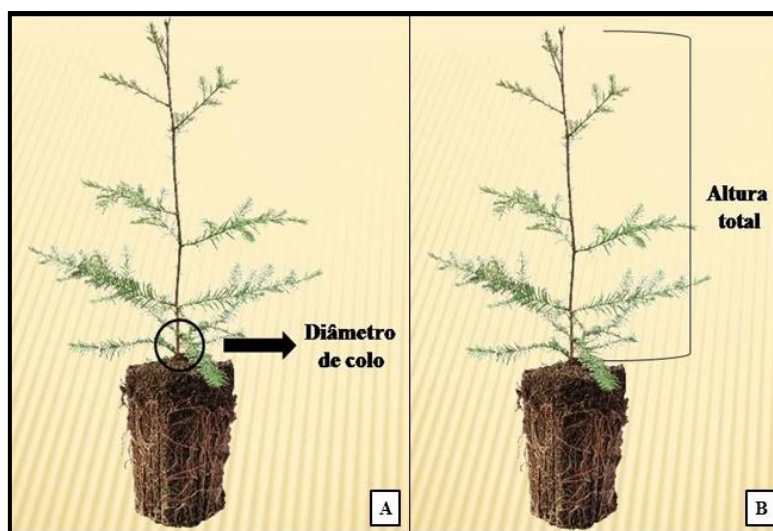
*Eucalyptus*. É importante levar em consideração este fator, pois a espécie pode-se tornar uma opção para o silvicultor (NAVROSKI et al., 2015). Atualmente, faltam pesquisas que tratam da avaliação da produtividade de *Sequoia sempervirens* com base em análises de características dendrométricas individuais da espécie no seu desenvolvimento inicial.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E MODELOS DE CRESCIMENTO

O diâmetro é a variável mensurável mais importante, pois é de fácil obtenção. O crescimento em diâmetro pode ser influenciado pelas condições do ambiente, espaçamento e pela genética da espécie (BIZ et al., 2012). O diâmetro de colo está identificado na Figura 1A.

A análise da altura das mudas é de extrema importância para a determinação do crescimento da planta, para a avaliação, classificação e seleção das mudas. Além disso, essa característica está diretamente relacionada com a variável diâmetro de colo (BERTOLINI; BRUN, 2014). Na Figura 1B é possível observar como mensurar a altura total das mudas.

Figura 1 - Demonstração das características dendrométricas diâmetro de colo e altura total avaliadas no estudo.



Fonte: A autora.

Os padrões de crescimento podem ser observados de duas formas diferentes, sendo ele exponencial e sigmóide. O padrão de crescimento exponencial indica que

o crescimento da planta é ilimitado. Já o padrão de crescimento sigmóide ocorre quando a curva de crescimento sofre inflexão, causada por diversas interações entre indivíduos. Dados como volume, massa ou superfície e altura apresentam padrão de crescimento sigmóide somente quando são analisados durante toda vida da planta (PEIXOTO; PINTO PEIXOTO, 2004).

Os modelos matemáticos se apresentam como uma técnica importante para expressar o crescimento e produção florestal. Além disso, com a utilização dos modelos matemáticos é possível explicar o comportamento de determinada espécie para a característica de interesse, como diâmetro e altura ao longo do tempo. Com aplicações como inventários florestais, tabelas de produção, os modelos matemáticos tomaram uma proporção maior, principalmente aqueles que apresentam explicações dos processos biológicos. Diferentemente dos modelos empíricos, que apresentam apenas uma expressão matemática da relação entre as variáveis em estudo, um modelo biológico é mais complexo, pois traz em seus coeficientes uma hipótese sobre a biologia do processo de crescimento (SANQUETTA et al., 2016). De acordo com Aragão et al. (2015), os modelos propostos para estimar altura e diâmetro de árvores apresentam muita eficiência em suas equações.

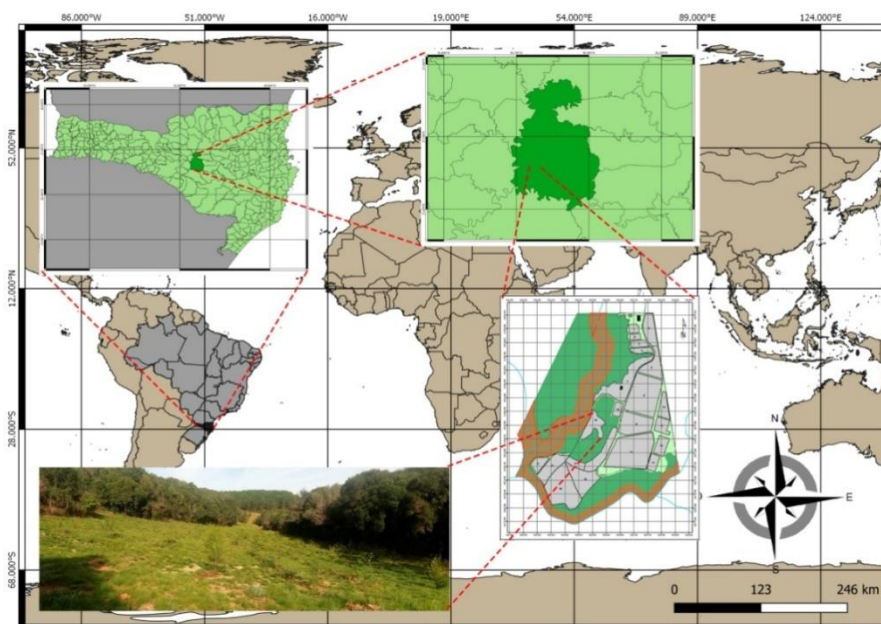
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado na Área Experimental Florestal (AEF), que está localizada no km 264 da Rodovia BR470 no município de Curitibaanos/SC. De acordo com Alvares et al. (2013), o clima predominante na área de estudo é tipo Cfb, mesotérmico úmido com verões amenos e a temperatura média anual varia entre 16 e 25 °C.

As mudas de *Sequoia sempervirens* foram doadas pela Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Foram plantadas 375 mudas numa área de 0,5ha e o plantio foi realizado em um esquema de 3m x 3m (Figura 2). As linhas de plantio foram subsoladas e o experimento foi implantado na área nos dias 06 e 09 de novembro de 2017.

Figura 2 - Localização da área utilizada para implantação do experimento no município de Curitibaanos/SC.



Fonte: A autora

As mensurações das características dendrométricas das mudas de *Sequoia sempervirens* foram realizadas com intervalo de 15 dias, durante um ano, totalizando 25 avaliações. As medições foram realizadas com auxílio de instrumentos como régua

graduada, paquímetro digital, trena e fita métrica. As variáveis estudadas foram diâmetro do colo e altura total de 15 mudas sorteadas utilizando linguagem R (CORE TEAM,2019).

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 20 árvores de um experimento similar. Desse experimento, utilizou-se o desvio padrão (s) no valor de 3,464 cm. O erro máximo ( $e_{max}$ ) utilizado no valor de 2, 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 15 mudas.

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

## 4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ESCOLHA DOS MODELOS MATEMÁTICOS

Os dados coletados a campo durante um ano foram processados utilizando linguagem R (CORE TEAM,2019). Os modelos avaliados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados no ajuste.

Modelo Matemático	Equação Matemática
Prodan	$y = \frac{t^2}{b_0 + b_1 t + b_2 t^2}$
Schumacher	$y = e^{b_0 + b_1 \left(\frac{1}{t}\right)}$
Moissev	$y = e^{b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3}$
Backman modificado	$y = e^{b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t}$
Linear	$y = b_0 + b_1 * t$
Backman	$y = e^{b_0 + b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t}$
Bertalanffy	$y = b_0(1 - e^{b_1 t})^3$

Em que: y e t são: a variável a ser analisada e o tempo, respectivamente. Os parâmetros de cada modelo são  $b_0, b_1, b_2$  e  $b_3$  os coeficientes a serem estimados.

Após a coleta dos dados dendrométricos, os modelos foram avaliados e realizou-se a escolha do melhor. A escolha do modelo matemático baseou-se na avaliação da qualidade de ajuste dos mesmos, considerando o coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$  adapt.), o índice de correlação entre os dados observados e os valores preditos, o erro quadrático médio e se os coeficientes a serem analisados eram significativos. Além disso, utilizou-se os critérios de seleção Akaike (AIC) e o critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC), os quais determinaram o melhor modelo.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Na Figura 3 está representada as temperaturas mínima, média e máxima mensuradas nos dias das coletas dos dados entre o dia 09/12/2018 até 05/01/2019 que corresponde ao período de desenvolvimento das mudas de 60 a 420 dias de vida. As estações primavera e verão apresentam as maiores temperaturas. Em contrapartida, no outono e inverno foram registradas as menores temperaturas. Na Figura 4 são apresentados os níveis de precipitação que ocorreram durante o monitoramento do experimento. Na primavera e verão apresentam os maiores índices, indicando a presença de chuvas nesse período. Já no outono e inverno ocorre os menores índices. Ao analisar essas duas figuras pode-se descrever que a Primavera e Verão são caracterizados por temperaturas mais altas com a presença de chuvas. O outono e inverno são caracterizados por baixas temperaturas e um período de poucas chuvas, fato esse que pode ser correlacionado a intensidade das ondas de frio na região.

Figura 3 - Temperaturas mínima, média e máxima mensuradas nos dias das coletas dos dados entre o dia 09/12/2018 até 05/01/2019 que corresponde ao período de desenvolvimento das mudas de 60 a 420 dias de vida.

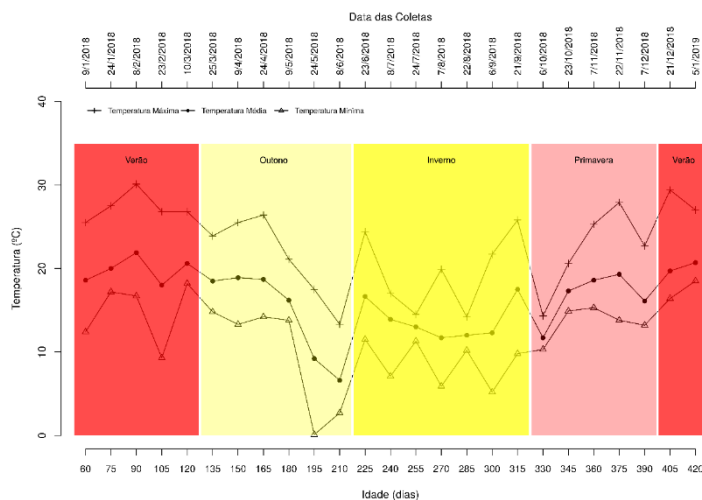
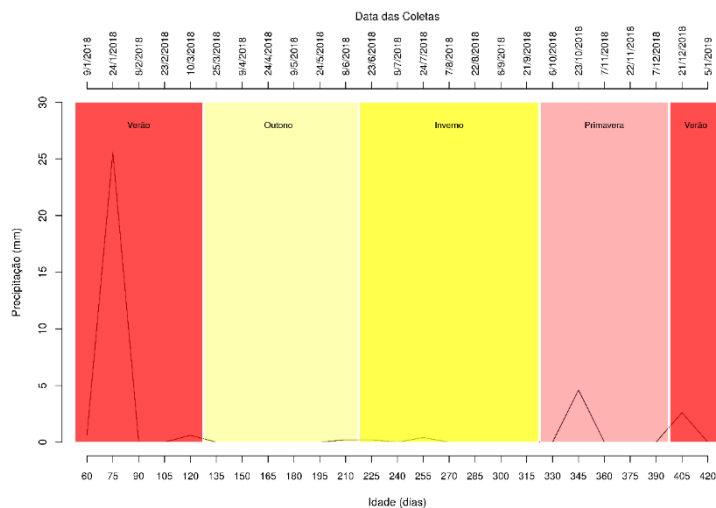


Figura 4 - Nível de precipitação durante as mensurações das variáveis dendrométricas das mudas do experimento entre o dia 09/12/2018 até 05/01/2019 que corresponde ao período de desenvolvimento das mudas de 60 a 420 dias de vida.

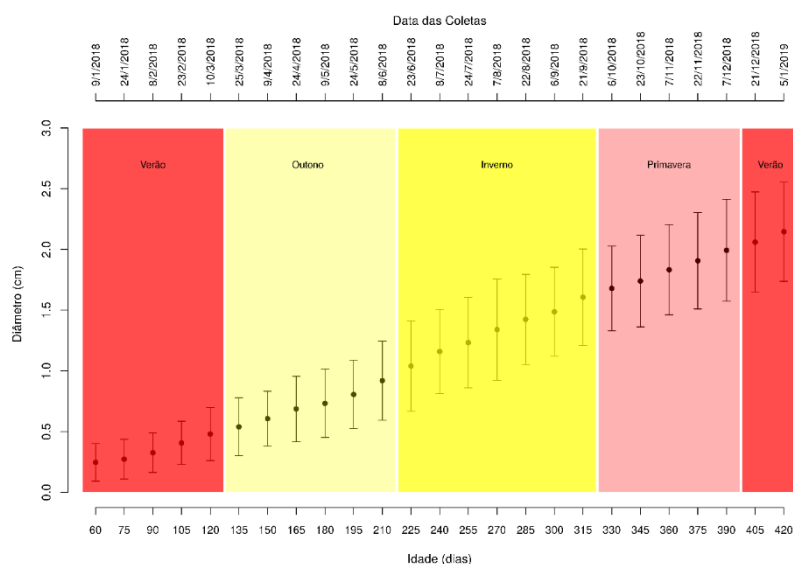


De acordo com OSLON et al. (1018), o clima ameno da região da floresta de sequoias poder ser classificado amplamente como super-húmido ou húmido. As temperaturas anuais variam entre 10 e 16 °C. Geralmente, janeiro é o mês mais chuvoso e julho é o mais seco. Os freqüentes nevoeiros de verão que cobrem a região de sequoias parecem ser mais significativos do que a quantidade de precipitação. O principal efeito do nevoeiro é diminuir a perda de água por evaporação e transpiração.

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

O diâmetro do colo foi uma das características avaliadas no experimento. O padrão de crescimento é apresentado na Figura 5. Pode-se verificar o aumento gradativo do diâmetro do colo com o desenvolvimento da muda. Outro fato relevante é o aumento do desvio padrão, indicando o aumento da variabilidade da medida entre as mudas.

Figura 5 - Padrão do crescimento do diâmetro do colo entre os 60 e 360 dias de vida das mudas de sequoia do experimento. As médias de crescimentos de 15 mudas estão apresentadas no gráfico (pontos) em conjunto com o desvio padrão, formando um intervalo com -1 e +1 desvio padrão com relação à média.



Na Tabela 2, pode-se verificar a taxa de crescimento para o diâmetro do colo nas estações do ano. Para o cálculo considerou-se a variação da variável avaliada pelo tempo de desenvolvimento. Os valores estimados são pequenos, porém indicam que as mudas apresentam um crescimento contínuo no período. Para modelar esse crescimento foram avaliados os modelos Schumacher, Bertalanffy, Prodan, Backman e Linear.

Tabela 2 - Taxa de crescimento das mudas nas estações do ano para o diâmetro do colo e da altura total. Para o cálculo do crescimento, considerou-se a o crescimento do primeiro dia ao último, dividido pelo tempo decorrido.

Estação do Ano	Diâmetro do Colo (cm/dia)	Altura Total (cm/dia)
Verão 2018	0,0039	0,0865
Outono 2018	0,0050	0,0824
Inverno 2018	0,0071	0,1045
Primavera 2018	0,0053	0,0947
Verão 2019	0,0044	0,0925

As estimativas dos parâmetros para descrever a característica dendrométrica diâmetro do colo estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros de cada modelo.

Modelos	Coeficientes			
	b0	b1	b2	b3
Schumacher	1,438	-299,221	-	-
Bertalanffy	2,707	-0,006	-	-
Prodan	11860,00 0	155,800	0,002	-
Backman	-9,254	2,216	-0,092	-
Linear	-0,1895	0,005	-	-

Fonte: A autora.

Com o objetivo de avaliar a qualidades dos ajustes dos modelos utilizados foi levado em consideração coeficiente de determinação adaptado ( $R^2$  adapt.), o índice de correlação (COR) entre os dados observados e os valores preditos, e ainda o erro quadrático médio (EQM) representados na Tabela 4. Com base na Tabela 4, é possível observar que em todos os modelos utilizados que o  $R^2$  adapt. e a COR indicam uma alta qualidade nos ajustes, com valores bem próximos de 1. De acordo com os índices encontrados para erro quadrático médio é possível observar que o erro foi baixo no ajuste nos modelos, reforçando a qualidade de ajuste.

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).

Modelos	$R^2$ adapt.	COR	EQM	AIC	BIC
Schumacher	0,977	0,992	0,100	-40,196	-36,540
Bertalanffy	0,986	0,996	0,080	-51,443	-47,787
Prodan	0,993	0,986	0,035	-91,272	-86,397
Backman*	0,997	0,999	0,034	-92,667	-87,791
Linear	0,996	0,998	0,041	-83,700	-80,044

\*Modelo selecionado.

O modelo de Backman foi o melhor modelo de acordo com os critérios de Akaike (AIC) e o critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC), devido a apresentação das menores estimativas cada critério como descrita na Tabela 4. Além disso, é possível observar que o modelo escolhido apresentou o maior  $R^2$  adaptado e menor EQM, confirmando a escolha do modelo juntamente com os critérios AIC e BIC. O modelo Backman apresentou menores valores de AIC e BIC, diferente do Schumacher que apresentou valores maiores, sendo considerado um modelo com baixa qualidade de ajuste.

Tabela 5 - Intervalos de confiança inferior e superior para cada parâmetro do modelo Backman.

Backman	Estimativa	LI	LS	Valor-p
$b_0$	-9,254	-11.851	- 6.816	<0,001
$b_1$	2,216	1.335	3.150	<0,001
$b_2$	-0,092	-0.176	-0.012	<0,001

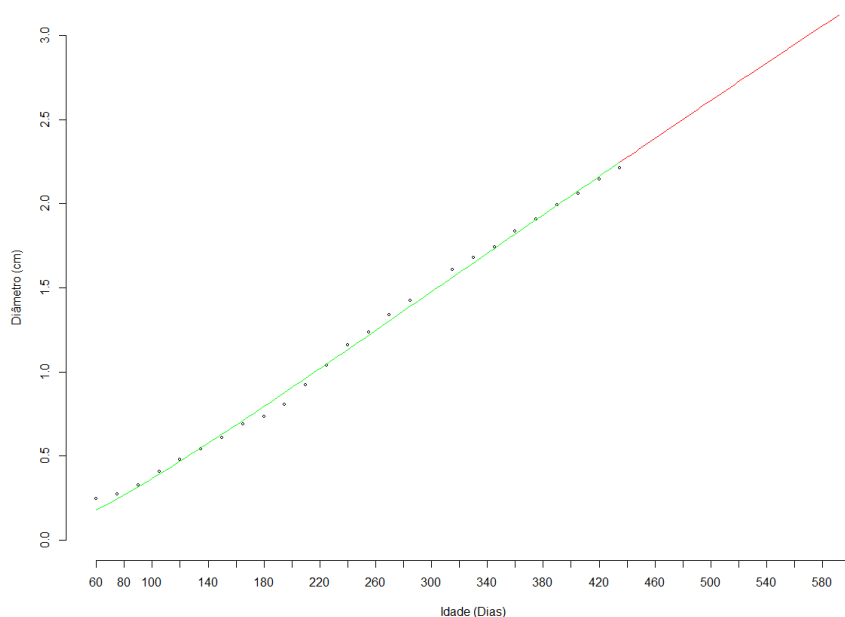
Onde: LI: Limite inferior e LS: Limite superior.  
Fonte: A autora.

Na Tabela 5 é possível observar as estimativas dos parâmetros do modelo escolhido, além do intervalo de confiança de cada um e ambos os parâmetros são significativos, pois o respectivo valor-p é menor que 5% (nível de significância adotado). O modelo com os respectivos parâmetros está representado na equação 1.

$$y = e^{-9,254+2,216\ln(t)-0,092\ln^2(t)} \quad (2)$$

A qualidade do ajuste do modelo Backman, na cor verde, pode ser observado na Figura 6. Também na figura é possível avaliar a estimativa do crescimento por seis meses após o término das mensurações das mudas, representada na cor vermelha.

Figura 6 - Qualidade do ajuste do modelo Backman.



Fonte: A autora.

No ajuste do modelo pode-se verificar um crescimento aproximadamente linear das mudas, sendo que no início apresentou um comportamento aproximadamente exponencial. Ricken et al. (2011), em seu estudo, determinou o padrão de crescimento da *Sequoia sempervirens* a partir da análise dos anéis de crescimento e identificaram um padrão semelhante ao descrito nesse estudo. Constatou-se um crescimento sigmoidal, onde no início a taxa de crescimento aumenta de forma lenta, como representado no presente estudo.

### 5.3 AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS PARA A VARIÁVEL ALTURA TOTAL

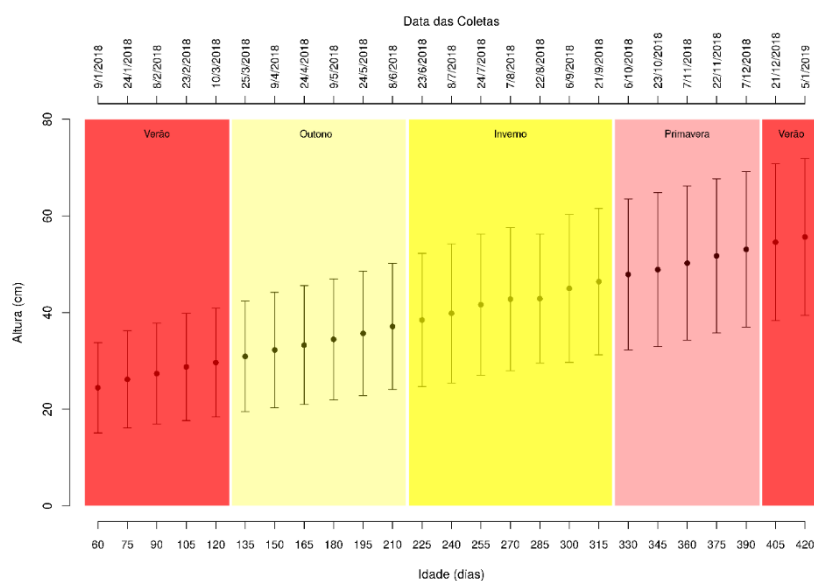
A altura total foi outra característica avaliada no experimento. O padrão de crescimento é apresentado na Figura 7. Pode-se verificar o aumento gradativo da altura total com o desenvolvimento da muda. Outro fato relevante é o aumento do desvio padrão, indicando o aumento da variabilidade da medida entre as mudas, padrão esse similar do diâmetro do colo já avaliado nesse estudo.

Na Tabela 2, pode-se também verificar a taxa de crescimento para a altura total. Os valores estimados são pequenos, porém indicam que as mudas apresentam



um crescimento contínuo no período. Para modelar esse crescimento foram avaliados os modelos Schumacher, Prodan, Linear, Moissev e Backman modificado.

Figura 7 - Padrão do crescimento da altura total entre os 60 e 360 dias de vida das mudas de sequoia do experimento. As médias de crescimentos de 15 mudas estão apresentadas no gráfico (pontos) em conjunto com o desvio padrão, formando um intervalo com -1 e +1 desvio padrão com relação à média.



As estimativas dos parâmetros para descrever a característica dendrométrica altura total estão apresentadas na Tabela 5. Com o objetivo de avaliar novamente a qualidade dos ajustes dos modelos, foram utilizadas as mesmas métricas de qualidade de ajuste do diâmetro do colo, sendo representados na Tabela 6. Com base na Tabela 6, é possível observar que a maioria dos modelos utilizados que o  $R^2$  adapt e a COR indicam uma alta qualidade nos ajustes, com valores bem próximos de 1. De acordo com os índices novamente estimados para erro quadrático médio é possível observar que o erro foi baixo no ajuste na maioria dos modelos, reforçando a qualidade de ajuste.

Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros de cada modelo.

Modelos	Coeficientes			
	b0	b1	b2	b3
Schumacher	4,113	-82,230	-	-
Prodan	-1,723	4,670	0,008	-
Linear	19,274	-0,086	-	-
Moissev	$2,008 \times 10^1$	$-7,743 \times 10^{-2}$	$2,121 \times 10^{-5}$	$-8,326 \times 10^{-9}$
Backman modificado	-	0,876	-0,035	-

Fonte: A autora.

Como descrito da Tabela 6, os modelos ajustados passaram pelos critérios de avaliação de qualidade de ajuste. Neste caso, novamente o modelo Schumacher apresentou pior desempenho com menor valor de coeficiente de determinação, menor correlação e maior erro no ajuste. Já o modelo Moissev apresentou maior  $R^2$  adaptado e menor erro, porém os seus parâmetros não foram significativos.

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).

Modelos	$R^2$ adapt.	COR	EQM	AIC	BIC
Schumacher	0,846	0,922	4,025	144,492	148,149
Prodan	0,999	0,995	1,011	76,344	81,22
Linear*	0,999	0,999	0,3212	18,083	21,74
Moissev	0,999	0,999	0,279	12,881	18,975
Backman modificado	0,966	0,984	1,878	106,392	110,048

\*Modelo escolhido.

Fonte: A autora.

Para a seleção do melhor modelo, novamente, adotou-se os critérios de Akaike (AIC) e o critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC), comparando os valores encontrados para cada modelo ajustado. Neste caso, o modelo que apresentou menor valor de AIC e BIC foi o Moissev, porém seus parâmetros não foram significativos, sendo o modelo Linear selecionado para realizar a previsão. Na Tabela 7 constam as estimativas dos parâmetros, bem como o intervalo de confiança para

cada parâmetro e o valor-p menor que 5% (nível de significância adotado), sendo significativos.

Tabela 8 - Intervalos de confiança inferior e superior para cada parâmetro do modelo Moissev.

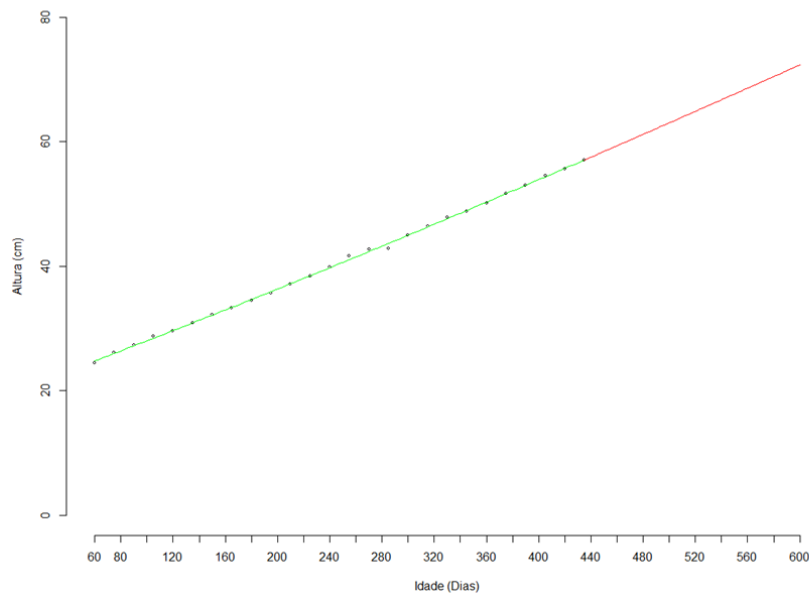
Linear	Estimativa	LI	LS	Valor-p
$b_0$	19,274	18.965	19.584	<0,001
$b_1$	-0,086	-0.087	-0.085	<0,001

Sendo: LI: Limite inferior e LS: Limite superior.  
Fonte: A autora.

Na Figura 8 é possível verificar a qualidade do ajuste do modelo selecionado (cor verde da curva do modelo) e a previsão do crescimento para os próximos seis meses após o término das mensurações. O modelo com os respectivos parâmetros está representado na equação 3.

$$y = 19,274 + (-0,086) * t \quad (3)$$

Figura 8 - Qualidade do ajuste do modelo Linear.



Fonte: A autora.

Com base na Figura 8 é possível observar que após a última avaliação aos 435 dias de vida das mudas de *Sequoia sempervirens*, o modelo fez a previsão do desenvolvimento em altura. Assim, após 6 meses as mudas estarão em média com aproximadamente 75 cm de altura. Pereira (2018) em seu estudo com plantio de mudas de diferentes clones de *Sequoia sempervirens*, implantado no município de Campo Belo do Sul/SC, encontrou uma altura média de 54,0 cm das mudas com um ano. A altura média observada pelo autor é bem próxima encontrada no presente estudo, com aproximadamente 42,11 cm nas 25 coletas a campo.

## CONCLUSÃO

Levando em consideração os dados obtidos com o presente estudo, a *Sequoia sempervirens* é uma espécie que apresenta ótimo crescimento inicial no município de Curitibanos/SC. Além disso, as mudas do experimento apresentaram crescimento constante em diâmetro de colo e altura total.

O modelo que melhor descreve o crescimento em diâmetro de colo e altura total da espécie é o Backman e Linear, respectivamente. De acordo com a previsão realizada, utilizando os modelos escolhidos, após 6 meses da última coleta no campo, o crescimento e desenvolvimento das mudas pode ser considerado ótimo comparado com outras mudas implantadas em outros experimentos em Santa Catarina.

Recomenda-se que seja realizado novos estudos, por um período maior de tempo, para que o padrão de crescimento seja validado.

## REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, M. A.; BARRETO, P. A. B.; DE PAULA, A.; CARVALHO, F. F.; FRAGA, M. P. Modelos de altura para *Pterogynenitenstul.* em plantio puro no Sudoeste da Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 12, 2015.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M., 2013. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorol. Z. 22, 711–728.
- BERTOLINI, I. C.; BRUN, E. J. A influência do método de semeadura no crescimento de mudas de Flamboyant (*Delonix regia* (BojerexHook) Raf.) em viveiro florestal. **REVSBAU** Piracicaba/SP , v.9, n.4, p. 181-198, 2014.
- BIZ, S.; BRITO, N. M.; REGO, G. M. S.; AMARAL, I. M. G.; BRUN, E. J. **Crescimento inicial em diâmetro de colo de espécies florestais nativas madeiras plantadas em Dois Vizinhos-PR**, p. 09, 2012.
- O'HARA, K. L.; COX, L. E.; NIKOLAEVA, S.; BAUER, J. J.; HEDGES, R. Regeneration Dynamics of Coast Redwood, a Sprouting Conifer Species: A Review with Implications for Management and Restoration. **Forests**, California, v. 8, n. 1, p. 144, 2017.
- NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. O.; HESS, A. F.; SILVESTRE, R.; ÂNGELO, A. C.; FAZZINI, A. J. Resgate e Propagação Vegetativa de *Sequoia sempervirens*. **FLORESTA**, Curitiba - PR, v. 45, n. 2, p. 383 – 392, 2015.
- OSLON, D. F.; ROY, D. F.; WALTERS, G. A. *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.: Taxodiaceae Redwood Family. 2018. Disponível em: <http://dendro.cnre.vt.edu/dendrology/USDAFSSilvics/180.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2019.
- PEIXOTO, C. P.; PINTO PEIXOTO, M. F. S. **Dinâmica do crescimento vegetal (Princípios Básicos)**. Cruz das Almas/BA, 2004.
- PEREIRA, M. O. **Resgate, propagação vegetativa e crescimento inicial de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.** 2018. 225 f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná –UFPR, Curitiba/PR, 2018.
- 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/>.
- RICKEN, P.; HESS, A.F.; DE MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M. **Crescimento e Incremento de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.** São Joaquim, SC, 2011.



RUSSELL, W.; MICHELS, K. H. Stand development on a 127-yr chronosequence of naturally regenerating *Sequoia sempervirens* (Taxodiaceae) forests. **Madroño**, San José, v. 57, n. 4, p. 229-241, 2010.

SANQUETTA, C. R.; DURIGAN, A.; SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D.; MAAS, G. C. B. Modelos biológicos de crescimento em diâmetro para aroeira. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 10, 2016.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional em Santa Catarina**, 2018. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/informacoes-florestais/inventario-florestal-nacional-ifn/resultados-ifn/3656-relatorio-ifn-sc-2017/file>. Acesso em: 15 jun. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. **Os Biomas e suas Florestas**, 2018. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/4092-boletim-snif-2018-ed1/file>. Acesso em: 15 jun. 2019.

TORAL, M.; MANRÍQUEZA, A.; NAVARRO-CERRILLO, R.; TERSI, D.; NAULIN, P. Características de los estomas, densidad e índice estomático en secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. **BOSQUE**, v. 31, n. 2, p.157-164, 2010.