

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**Pierre André Bellé**

**CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE *Pinus sp* E *Eucalyptus saligna* SM. EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2018**



Pierre André Bellé

**CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE *Pinus sp* E *Eucalyptus saligna* SM.  
EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração, Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Schneider

Co-orientador: Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger

Participante: Prof. Dr. Jorge Antônio de Farias

Santa Maria, RS, Brasil

2018



**Pierre André Bellé**

**CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE *Pinus sp* E *Eucalyptus saligna* SM.  
EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração, Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal**

**Aprovado em 26 de janeiro de 2018**

---

**Paulo Renato Schneider, Dr.**  
(Presidente /Orientador)

---

**Luciane Almeri Tabaldi, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**

---

**Jussara Cabral Cruz, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**

---

**Márcio Carlos Navrosky, Dr. (UDESC)**

---

**Jonas Eduardo Bianchin, Dr. (UFPR)**

Santa Maria, RS 2018

Belle, Pierre

CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE Pinus sp E  
Eucalyptus saligna SM. EM DIFERENTES CONDIÇÕES  
AMBIENTAIS / Pierre Belle.- 2018.  
160 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Renato Schneider  
Coorientadores: César Augusto Guimarães Finger,  
Jorge Antônio de Farias  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2018

1. Pinus radiata, 2. Transpiração 3. Fotossíntese, 4.  
Fluxo de seiva 5. Pinus elliotii I. Schneider, Paulo  
Renato II. Finger, César Augusto Guimarães III.  
Farias, Jorge Antônio de IV. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

## RESUMO

### CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE *Pinus sp* E *Eucalyptus saligna* SM. EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

AUTOR: Pierre André Bellé

ORIENTADOR: Paulo Renato Schneider

Espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* estão entre as mais plantadas em diversos países do mundo. Em muitas destas áreas, os plantios florestais encontram-se sujeitos a períodos de déficit hídrico de diferentes severidade, duração e recorrência, somando-se a isso eventos climáticos advindos da mudança climática causado pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. A quantificação da água consumida assim como a influência de seu déficit no crescimento e produção florestal devem ser levados em consideração para uma gestão racional e ecologicamente responsável não apenas nos recursos florestais mas também dos recursos hídricos. Esta pesquisa teve como objetivo principal a quantificação do consumo de água por árvores, sendo dois experimentos distintos a base para estes resultados. O primeiro estudando o consumo de água de plantas jovens de *P. elliottii* e *E. saligna*, submetidos a diferentes épocas de déficit hídrico e sua influência no crescimento. O ensaio foi conduzido em vasos de 20 litros e usou a técnica de diferença entre pesagens para estimar a água consumida. Este ensaio mostrou uma diferença significativa entre a espécie no consumo de água em período de déficit assim como um comportamento contrastante com relação as condições climáticas em que ocorre a seca. Houve períodos com maior perda de incremento e pode ser relacionada com o déficit de pressão de vapor da atmosfera. O segundo experimento foi realizado para a diferenciação fenotípica de três clones de *P. radiata* quanto a eficiência no uso de água. Foram realizadas medições contínuas de fluxo de seiva, assim como medições sazonais de trocas gasosas, índice de área foliar e incremento volumétrico dos clones na floresta de Balmoral, em Canterbury na ilha sul da Nova Zelândia, uma região com precipitação restrita. Da mesma maneira os mesmos clones foram avaliados nos mesmos parâmetros em Creigeburn, West Coast, local com precipitação muito elevada. Os resultados apontaram que existem clones com maior uso total e proporcional de água, taxas de transpiração foliar e máxima assimilação de dióxido de carbono foram variáveis entre as estações e os clones apresentaram interação sitio vs. ambiente, mostrando que a plasticidade de seu aparato fisiológico pode estar relacionada com seu genótipo, sendo recomendada a utilização de clones mais eficientes em áreas de hidrologia mais sensível. Ambos os experimentos, mesmo usando técnicas de sofisticação muito diferentes mostraram ser possível a quantificação satisfatória do uso de água por árvores desde que adequando a escala temporal e resolução física desejada. O uso de variáveis climáticas foi relacionado satisfatoriamente com o crescimento e uso de água em ambos experimentos.

Palavras-Chave: *Pinus radiata*, *Pinus elliottii*, Fluxo de seiva, Fotossíntese, Transpiração.

## ABSTRACT

### GROWTH AND WATER USE OF *Pinus sp* and *Eucalyptus saligna* SM. IN DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

AUTHOR: Pierre André Bellé  
ADVISOR: Paulo Renato Schneider

Species of the genus *Pinus* and *Eucalyptus* are among the most planted in several countries in the world. In many of these areas, forest plantations are subject to periods of water deficit of different severity, duration and recurrence, adding to this climatic events arising from climate change caused by the increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. The quantification of water consumed as well as the influence of its deficit on forest growth and production should be taken into account for a rational and ecologically responsible management not only of forest resources but also of water resources. This research had as main objective the quantification of the water consumption by trees, in two different experiments that were the basis for these results. The first one studying the water consumption of young plants *P. elliotii* and *E. saligna*, submitted to different times of water deficit and its influence on growth. The essay was conducted in 20-liter vessels and used the difference-weighing technique to estimate the water consumed. This trial showed a significant difference between species in the consumption of water during the period of deficit as well as a contrasting behavior with respect to the climatic conditions in which the drought occurs. There were periods with greater loss of increment and this was related to the vapor pressure deficit of the atmosphere. The second experiment was carried out for the phenotypic differentiation of three *P. radiata* clones regarding water use efficiency. Continuous measurements of sap flow, as well as seasonal measurements of gas exchange, leaf area index and volumetric trunc increment of the clones were carried out in the Balmoral forest in Canterbury on the South island of New Zealand, a region with restricted precipitation. Likewise the same clones were evaluated on the same parameters in Creigeburn, West Coast, a site with very high precipitation. The results indicated that there are clones with greater total and proportional water use, leaf transpiration rates and maximum carbon dioxide assimilation were variable between the seasons and the clones presented interaction site vs. environment, showing that the plasticity of its physiological apparatus may be related to its genotype, and it is recommended to use more efficient clones in areas of more sensitive hydrology. Both experiments, even using very different techniques, have shown that it is possible to satisfactorily quantify the use of water by trees as long as it suits the desired temporal scale and physical resolution. The use of climatic variables was satisfactorily related to growth and water use in both experiments.

Key words: *Pinus radiata*, *Pinus elliotii*. Sap Flow, Photosynthesis, Transpiration



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que colaboraram com a concepção, implantações, conduções e análises dos experimentos. Minha gratidão pela participação neste período intenso de aprendizado e crescimento.

Agradeço a colaboração de meus orientadores, professores, e membros da banca examinadora.



## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Al	Alumínio	ml	Mililitros
Amax	Maximal CO <sub>2</sub> assimilation rate	MO	Matéria orgânica
ANCOVA	Analysis of Covariation (Análise de covariância)	Mg	Magnésio
ANOVA	Analysis of Variation (Análise de Variação)	mm	Milímetro
B	Boro	Mn	Manganês
Ca	Cálcio	N	Nitrogênio
Ci	Concentração de CO <sub>2</sub> intercelular	NPK	Nitrogênio, Fósforo, Potássio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions	NS	Não-significativo
CV%	Coeficiente de Variação Percentual	°C	Graus Celsius
cm	Centímetro	P	Fósforo
Cu	Cobre	Ph	Potencial Hidrogênio do solo
D	diâmetro	Prob. F	Probabilidade de significância para F
DAP	Diâmetro a altura do peito	QM	Quadrado Médio
DPV	Déficit de pressão de vapor	RS	Rio Grande do Sul
e	base do logaritmo natural	S	Enxofre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	SAS	Statistical Analysis System
EUA	Estados Unidos da América	SEM	Standard error of the mean
F	Valor de F calculado	SQ	Soma de Quadrados
Fe	Ferro	SQE	Soma de quadrados do erro
FV	Fonte de Variação	SyX	Erro padrão da estimativa
GL	Graus de Liberdade	Trat.	Tratamento
h	Hora	TNT	Tecido não Tecido
H	Altura	UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
ha	Hectares	USGS	United States Geological Service
hPa	Hecto Pascal	VPD	Vapour pressure deficit
K	Potássio	Zn	Zinco
KPa	Kilo Pascal	δC <sup>13</sup>	Variação da assinatura do isótopo de carbono 13
Kg	Quilograma	*	Probabilidade estatística inferior ou igual a 0,05
Ln	Logaritmo natural	**	Probabilidade estatística inferior ou igual a 0,01
LTDA	Limitada	***	Probabilidade estatística inferior ou igual a 0,001
m	Metro		



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Médias dos parâmetros climáticos os diferentes períodos de indução de déficit hídrico. ....	56
Tabela 2 - Quantidade de água disponibilizada para cada tratamento e para os tratamentos de déficit hídrico e suas respectivas quantidades relativas à testemunha. ....	57
Tabela 3 – Covariância dos modelos lineares para o crescimento em altura e diâmetro <i>Eucalyptus saligna</i> .....	63
Tabela 4 – Covariância dos modelos lineares para o crescimento em altura e diâmetro de <i>Pinus elliottii</i> . ....	65
Tabela 7- Significância das diferença do teste t e dos coeficientes ANCOVA para cada período de déficit hídrico para <i>P. elliottii</i> . ....	72
Tabela 8- Significância das diferença do teste t e dos coeficientes da ANCOVA para cada período de déficit hídrico para <i>E. saligna</i> .....	73
Tabela 9 - Análise de Variância da relação entre o DPV e o incremento do diâmetro. ....	75
Tabela 10 - Análise de Variância da relação entre o DPV e diferença de incremento em relação a testemunha. ....	76



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região de ocorrência natural de <i>Pinus elliottii</i> . ....	12
Figura 2 - Área de ocorrência natural de <i>E. saligna</i> . ....	14
Figura 3 - Cobertura plástica usada durante o tratamento de seca (A). Pesagem usando tripé e dinamômetro (B) .....	49
Figura 4 - Instrumentos meteorológicos usados no para a aquisição de dados, A) pluviômetro. B) mini tanque de evaporação. C) Termômetro de máxima e mínima.....	52
Figura 5 - Metodologia de medição de altura (A, C) e diâmetro do colo (B).....	53
Figura 6 - Registros de temperatura média, déficit de pressão de vapor e precipitação. ....	56
Figura 7 - Precipitação e irrigação fornecida à testemunha nos respectivos períodos. ....	57
Figura- 8.- Percentagem de água no solo nos diferentes períodos de déficit hídrico em <i>E saligna</i> .....	59
Figura 9 - Percentagem de água no solo nos diferentes períodos de déficit hídrico em <i>P. elliottii</i> . ....	60
Figura 10 - Uso total de água durante os diferentes períodos de déficit hídrico.....	61
Figura 11 – Modelos lineares para o crescimento em diâmetro e altura estimados para os tratamentos de épocas de seca em <i>E. saligna</i> .....	63
Figura 12 - Modelos lineares para o crescimento em diâmetro e altura estimados para os tratamentos de épocas de seca em <i>P. elliottii</i> . ....	65
Figura 13 – Modelos não lineares para o crescimento estimado em diâmetro e altura para os tratamentos de épocas de seca em <i>Pinus elliottii</i> .....	66
Figura 14 - Modelos não lineares para o crescimento em diâmetro e altura estimados para os tratamentos de épocas de seca em <i>Eucalyptus saligna</i> .....	67
Figura 15 - Médias de incrementos em diâmetro do colo e respectivos erros padrão da média, para os 6 períodos de seca, para tratamentos e testemunha de <i>P. elliottii</i> e <i>E. saligna</i> . ....	68

Figura 16- Médias de incrementos em altura e respectivos erros padrão da média, para os 6 períodos de seca, para tratamentos e testemunha de <i>P. elliotii</i> e <i>E. saligna</i> .....	69
Figura 17 -Incremento periódico quinzenal em diâmetro e sua diferença à testemunha.....	70
Figura 18 - Incremento periódico quinzenal em altura e sua diferença à testemunha. ....	71
Figura 19 - Relação do déficit de pressão de vapor com o incremento periódico quinzenal em diâmetro do colo. ....	75
Figura 20 - Relação do déficit de pressão de vapor com a diferença relativa à testemunha do incremento periódico quinzenal em diâmetro do colo. ..	77
Figura 21 - A) Relação do total de água fornecida pela irrigação e a transpiração no período de seca. B) Relação do déficit de pressão de vapor com a transpiração em cada período de seca.....	78



## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice I – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de <i>P. elliottii</i> para a testemunha .....	119
Apêndice II – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliottii</i> para a testemunha. ....	119
Apêndice III– Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 1. (Set-Out). ....	120
Apêndice IV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 1. (Set-Out). ....	120
Apêndice V – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 2. (Out-Nov). ....	121
Apêndice VI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 2. (Out-Nov). ....	121
Apêndice VII – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 3. (Dez-Jan). ....	122
Apêndice VIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 3. (Dez-Jan). ....	122
Apêndice IX – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 4. (Jan.-Fev). ....	122
Apêndice X – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 4. (Jan.-Fev). ....	123
Apêndice XI – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 5. (Mar-Abr). ....	123
Apêndice XII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 5. (Mar-Abr). ....	123
Apêndice XIII – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 6. (Abr-Mai). ....	124
Apêndice XIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliottii</i> para o tratamento 6. (Abr-Mai). ....	124
Apêndice XV – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de <i>P. elliottii</i> para o tratamento testemunha. ....	125

Apêndice XVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento testemunha.....	125
Apêndice XVII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 1 (Set Out). ....	125
Apêndice XVIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 1 (Set Out).....	125
Apêndice XIX – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 2 (Out-Nov). ....	127
Apêndice XX – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 2 (Out-Nov).....	127
Apêndice XXI – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 3 (Dez-Jan). ....	127
Apêndice XXII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 3. (Dez-Jan).....	128
Apêndice XXIII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 4 (Jan-Fev). ....	128
Apêndice XXIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 4 (Jan-Fev). ....	128
Apêndice XXV – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 5 (Mar-Abr). ....	129
Apêndice XXVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 5 (Mar-Abr). ....	129
Apêndice XXVII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 6 (Abr Mai). ....	129
Apêndice XXVIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 6 (Abr Mai).....	130
Apêndice XXIX – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento testemunha.....	130
Apêndice XXX – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliotii</i> para o tratamento testemunha.....	131
Apêndice XXXI – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 1 (Set Out).....	131
Apêndice XXXII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 1 (Set Out).....	131

Apêndice XXXIII – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 2 (Out-Nov).....	131
Apêndice XXXIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 2 (Out-Nov). ....	132
Apêndice XXXV – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 3 (Dez-Jan). ....	132
Apêndice XXXVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 3 (Dez-Jan). ....	133
Apêndice XXXVII – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 4 (Jan-Fev). ....	133
Apêndice XXXVIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 4 (Jan –Fev).....	133
Apêndice XXXIX – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 5 (Mar-Abr). ....	134
Apêndice XL – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 5 (Mar-Abr).....	134
Apêndice XLI – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 6 (Abr-Mai).....	134
Apêndice XLII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 6 (Abr- Mai). ....	135
Apêndice XLIII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para a altura e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento testemunha. ....	135
Apêndice XLIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento testemunha. ....	135
Apêndice XLV – Modelo de Chapman-Richards ajustado para a altura e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 1 (Set Out). ....	136
Apêndice XLVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 1 (Set Out). ....	136
Apêndice XLVII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 2 (Out-Nov).....	136
Apêndice XLVIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 2 (Out-Nov). ....	137

Apêndice XLIX – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 3 (Dez-Jan). .....	137
Apêndice L – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 3 (Dez-Jan).....	137
Apêndice LI – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 4 (Jan-Fev). .....	138
Apêndice LII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 4 (Jan-Fev). .....	138
Apêndice LIII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 5 (Fev-Mar). .....	138
Apêndice LIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 5 (Fev-Mar).....	139
Apêndice LV – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de <i>E. saligna</i> para o tratamento 6 (Abr-Mai). .....	139
Apêndice LVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de <i>P. elliotii</i> para o tratamento 6 (Abr-Mai). .....	139

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
2.1 O ESTUDO DA ÁGUA NA PLANTA	6
2.2. TEORÍA FÍSICA E MATEMÁTICA DA <i>HEAT RATIO METHOD</i> (HRM)	8
2.2.1. Correção para ferimentos	10
2.3 SOBRE <i>PINUS ELLIOTTII</i> .	11
2.4 SOBRE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> .	13
2.5. IMPACTOS DA TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA FLORESTA	14
2.6. EFEITOS GENÉRICOS DO CO <sub>2</sub> ATMOSFÉRICOS NA PRODUTIVIDADE DE ÁRVORES	15
2.7. INTERAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E CO <sub>2</sub>	16
2.8. EFEITOS GENÉRICOS DA PRECIPITAÇÃO NA ÁRVORE	17
2.9. CRESCIMENTO, RELAÇÕES HÍDRICAS E MUDANÇA CLIMÁTICA	20
2.10. SECA	22
2.11. USO DE ÁGUA	27
REFERÊNCIAS .....	30
<b>3. CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE <i>PINUS ELLIOTTII</i> ENGELM. E <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> SM. EM DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS</b> .....	42
3.1 INTRODUÇÃO	45
3.2 OBJETIVOS	47
3.2.1 Objetivo geral.....	47
3.2.2 Objetivos específicos.	47
3.4. MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.4.1. Condução Do Ensaio .....	48
3.4.2. Avaliações .....	50
3.4.3 Delineamento Experimental E Estatística .....	53
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	55
3.5.1 Parâmetros climáticos observados durante o ensaio.....	55
3.5.2 Caracterização dos períodos de déficit e consumo hídrico	57
3.5.3. Análise do crescimento .....	62

3.5.3.1 Altura e diâmetro de colo	62
3.5.3.2 <i>Análise das diferenças de incrementos</i> .....	67
2.5.3.3. Análise de covariância nos períodos de déficit hídrico.	71
2.5.4 Relações entre as variáveis climáticas e os incrementos .....	74
3.6. CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS .....	80
<b>4. PHENOTYPIC DIFFERENCES IN PINUS RADIATA D. DON IN WATER TRANSPIRATION AND GAS EXCHANGE BETWEEN THREE GENOTYPES UNDER CONTRASTING WATER STRESS CONDITIONS IN SITU.</b> .....	82
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	111
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	114
<b>ANEXOS</b> .....	118
<b>APÊNDICES</b> .....	119

## 1. APRESENTAÇÃO

Na presente pesquisa dois experimentos distintos e independentes foram desenvolvidos e proveram dados de crescimento e consumo de água para árvores jovens e adultas com diferentes técnicas em ambientes contrastantes.

O primeiro experimento deu origem ao capítulo 3 desta obra, foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Manejo Florestal da UFSM entre 2014 e 2015. Neste ensaio foi abordada a influência de diferentes épocas de déficit hídrico assim como as diferenças em consumo de água nessas épocas por *Pinus elliotti* e *Eucalyptus saligna*.

Este experimento foi desenvolvido de maneira semi controlada, fazendo uso de vasos para o crescimento dos espécimes, sendo feito o controle para irrigação de quantidade de água no vaso por diferença gravimétrica com uso de dinamômetro. Esta trabalho é apresentado de uma maneira tradicional, ou seja, tem todos os detalhes presentes no texto, já o segundo experimento foi feito em redação mais sucinta, em língua inglesa, estando assim pronto para a submissão em forma de artigo para publicação.

O segundo experimento originou o capítulo 4, executado na Nova Zelândia sob coordenação da New Zealand Forest Research Institute. Este trabalho visou quantificar e diferenciar a eficiência no uso de água por três diferentes genótipos de *Pinus radiata* in situ. Para tanto foram utilizadas medidas de fluxo de seiva, fotossíntese, água no solo e também medidas dendrométricas em quanto estações do ano em Balmoral Forest, North Canterbury, um sítio seco, havendo também o monitoramento das variáveis dendrométricas e da fotossíntese em um sítio em Creigeburn Forest, West Coast, um sítio sem restrição hídrica com a presença dos mesmos clones.

Os experimentos contaram com técnicas de sofisticação contrastante, demonstrando a suas adequações quando em usados em ressonância com os objetivos a serem alcançados, provendo dados de diferentes níveis de detalhamento e resoluções.

A revisão bibliográfica no próximo item contempla os dois experimentos, abordando as influencias de deficit hídrico no crescimento de árvores e povoamentos florestais, reações ecofisiológicas e dendrométricas e morfométricas,

contando com uma breve revisão dos prós e contras de diversas técnicas de medição de uso de água por árvores. Nesta revisão também conta com uma parte dedicada à técnica de medição de fluxo de seiva HRM usada no capítulo 4, se concentrando na teoria física e correções de simetria e ferimentos causados ao tronco. Optou-se por incluir essas informações por não estarem completamente elucidadas no artigo do capítulo 4 e para permitir ao leitor um complemento sobre a base desta técnica a qual não apresenta muita disponibilidade de bibliografia em língua portuguesa. A revisão bibliográfica do capítulo 4 foi mantida em língua inglesa e também inserida no capítulo 2, isso foi feito para não descaracterizar o artigo e assim completar a revisão bibliográfica em língua portuguesa.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O ESTUDO DA ÁGUA NA PLANTA

Os cientistas florestais têm procurado desenvolver técnicas confiáveis para estimar o uso de água nas plantas e em árvores. Tentativas iniciais tentavam inferir as taxas de uso de água do dossel a partir dos dados coletados em folhas e ramos excisados, os quais foram em grande parte mal sucedidos (PARKER, 1957, RUTTER, 1966), assim como os esforços para fornecer estimativas quantitativas de uso de água para grandes árvores com base em dados obtidos apenas com sensores de solo.

Essas falhas não são surpreendentes porque a grande maioria dos primeiros estudos foram realizados sob condições que não reproduziram o clima e, mais importante ainda, a estrutura dos vertical da floresta. O uso de água por árvores abaixo do dossel, por exemplo, fora demonstrado diferente dos indivíduos emergentes (ARNETH et al., 1996). Devido também a influência da condução de camadas de fronteira (*boundry layer conductance*) mal quantificada na limitação da transpiração da planta inteira (JARVIS E MCNAUGHTON, 1986) e devido à caracterização inadequada de variação no uso de água ao longo de gradientes de copa, idade da folha, radiação e umidade, a caracterização do uso de água pelo dossel mostra-se desafiadora

Tentativas de obter estimativas *in situ* de transpiração de folhas usando porômetros e cuvetes, e a extrapolação de tais resultados ao dossel encontraram sucesso satisfatório (SCHULZE et al., 1985, ROBERTS et al., 1993, ANSLEY et al., 1994).

As estimativas do uso de água estão se tornando cada vez mais importantes na ciência florestal. Os fisiologistas utilizam estimativas do uso da água para particionar o controle da transpiração do dossel entre os limites de condução estomática (HINCKLEY et al., 1994, MEINZER et al., 1995) e avaliar o padrão radial de fluxo de água do xilema em formas não difusas e de superfície em espécies arbóreas (PHILLIPS et al., 1996).

Hidrologistas florestais confiam em tais informações para ajudar a resolver problemas de gestão de recursos hídricos (SCHILLER E COHEN 1995, LOUSTAU

et al.1996), para avaliar o papel da transpiração da floresta em bacias florestadas (BARRETT et al., 1996) e para quantificar o sustentabilidade de florestas de rotação curta.

Desde meados da década de 1930, lisímetros de pesagem, potenciômetros, câmaras ventiladas, radioisótopos, isótopos estáveis e vários métodos baseados em difusão térmica foram usados para obter estimativas quantitativas do uso de água em plantas inteiras. Esta revisão examina como essas técnicas contribuíram para a nossa compreensão do transporte de água, armazenamento e uso em árvores.

Técnicas para medir o uso de água na planta inteira permitiram estimativas quantitativas da utilização da água e podem assim serem derivadas. Estas técnicas também fornecem informações valiosas sobre a fisiologia da árvore quando as estimativas do fluxo de água do xilema são suplementadas com medidas de condutância estomática, potencial de água da folha, e quando as estimativas do fluxo de água são feitas em várias alturas em uma árvore.

Várias áreas de pesquisa são destacadas para ilustrar como esses conceitos estão sendo usados para alargar a nossa compreensão das relações da água na planta como um todo.

Uma descrição completa das técnicas disponíveis para estimar o uso de água de grandes árvores está além do escopo desta apresentação, a qual fará uma descrição um pouco mais aprofundada sobre as bases físicas e matemáticas teóricas do método usado no artigo do capítulo 4, a razão térmica, ou *heat ratio method* (HRM) em inglês.

O leitor deve consultar alguns dos muitos artigos e comentários que fornecem informações detalhadas sobre cada técnica: por exemplo, lisímetros (Fritschen et al., 1973, Edwards, 1986), potenciômetros (ROBERTS 1977, KNIGHT et al., 1981), tenda ou câmaras ventiladas (GREENWOOD E BERESFORD 1979, DUNIN E GREENWOOD 1986), marcadores químicos (GREENIDGE 1955), radioisótopos, como o trítio (KLINE et al., 1970, WARING e ROBERTS 1979), isótopos estáveis como o deutério (CALDER et al., 1986, DYE et al., 1992) e equilíbrio energético, dissipação térmica e técnicas de pulso de calor (SWANSON 1994, SMITH E ALLEN, 1996).

Cada uma dessas técnicas tem méritos e desvantagens. Pesagem com lisímetros são sensíveis a pequenas mudanças na água perdida no sistema solo - planta, mas as raízes ocupam um volume limitado de solo e os lisímetros são caros

de construir e manter. O uso de potenciômetros para árvores grandes, nos chamados experimentos de "árvore cortada" são intrusivos e muitas vezes induzem mudanças no potencial hídrico das folhas, condutividade potencial e estomática que de outra forma pode impedir a interpretação fisiológica dos dados (ROBERTS, 1978).

As câmaras ventiladas oferecem um método para medir tanto o vapor de água e troca de CO<sub>2</sub> em árvores (DENMEAD et al., 1993), embora argumenta-se que as estimativas da eficiência do uso da água derivadas desta técnica são confundidas pelos efeitos do déficit de pressão de vapor gerados e um local confinado (LINDROTH E CIENCIALA 1995).

O uso de rádio-traçadores como o trítio e o P<sup>32</sup> estão cada vez mais sujeitos à regulamentação. As restrições e os padrões sazonais de uso da água são difíceis de obter com estes métodos. O uso de deutério supera muitas dessas limitações e isótopos estáveis têm amplamente substituído o trítio como técnica baseada em marcadores para quantificar as taxas de uso da água.

Estimativas do uso da água derivadas do balanço energético, dissipação térmica e as técnicas de pulso de calor sofrem incertezas como resultado de calibrações empíricas, gradientes térmicos e variação no fluxo de água com profundidade do alburno (GRANIER et al., 1996), mas esses sistemas são relativamente baratos, de uso simples e facilmente interagem com registradores de dados automáticos.

Métodos de balanço energético, como por exemplo o uso da equação de Penman-Monteigh, que relaciona variáveis físicas, como as energias latentes e sensibilizantes de aumento e transição de estado físico da água, e de variáveis biológicas, como área foliar e a condutância estomática, esta última de difícil apreciação devido inúmeros fatores de variação física e temporal.

Quando a qualidade e variedade de dados se faz disponível para aquisição, esta técnica é uma boa alternativa especialmente em dosséis relativamente homogêneos.

## 2.2. TEORÍA FÍSICA E MATEMÁTICA DA *HEAT RATIO METHOD* (HRM)

As técnicas termométricas incluem três grandes categorias; aquelas que rastreiam o movimento de um curto pulso de calor na seiva fluxo, aqueles que medem o calor transportado para longe de uma fonte controlada de calor e aquelas que relacionam a dissipação do calor ao fluxo de seiva por uma relação empírica. Existem variantes nas duas primeiras categorias e a adequação de cada técnica para aplicações específicas difere de acordo para suas respectivas capacidades e restrições. Métodos que utilizam um pulso de calor são freqüentemente favorecidos por sua instrumentação simples e pela baixa potência elétrica necessária (SWANSON 1994, SMITH E ALLEN, 1996).

O método da taxa de calor (HRM) mede a proporção do aumento da temperatura, após a liberação de um pulso de calor, em pontos equidistantes a jusante e a montante de um aquecedor de linha. A velocidade do pulso de calor é calculada pela equação 1: (MARSHALL 1958):

$$V_h = \frac{k}{x} \cdot \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \cdot 3600 \quad \text{Equação 1}$$

Onde: k é a difusividade térmica da madeira verde (fresca), x é a distância (cm) entre o aquecedor e a sonda de temperatura e v1 e v2 são aumentos de temperatura (a partir das temperaturas iniciais) em pontos equidistantes a jusante e a montante, respectivamente ao aquecedor.

Com o HRM, a colocação da sonda in situ, que leva em consideração a simetria térmica e física (por exemplo, se termopares ou termistores se encontram simetricamente dentro da carcaça da sonda (BECKER, 1998)). Em  $V_h = 0$  (que pode ser imposta cortando a raiz ou a haste), o espaçamento da sonda é calculado como:

$$x_2 = \sqrt{(4kt \cdot \ln(v_1/v_2)) + x_1^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde  $x_2$  denota a sonda incorretamente espaçada,  $x_1$  é assumido como estar corretamente espaçadas e t é o tempo de medição.

Porque o tempo tem um efeito essencialmente linear sobre Equação 3 sobre 60-100 s, pode ser resolvida usando a mediana tempo de medição (80 s) ou

por meio de soluções calculadas para cada valor de tempo usado na série de medição. Resultados da duas abordagens diferem em <1% em casos extremos. Uma vez calculados, os valores  $x_1$  e  $x_2$  podem ser derivados com Equação 3, e corrigido  $V_h$  calculado como (MARSHALL, 1958):

$$V_h = \frac{4kt \cdot \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) - (x_1^2) + (x_2^2)}{2t(x_1 - x_2)} \cdot 3600 \text{ Equação 3}$$

Ao corrigir uma pequena amostra de dados e comparar valores não corrigidos valores com valores corrigidos, um relacionamento linear simples pode ser derivado que pode ser usado para corrigir o restante dos dados.

Como não se sabe qual sonda está incorretamente posicionada, nossa abordagem era também resolver Equações 2 e 3 assumindo que  $x_1$  está incorretamente posicionado e, em seguida, média os dois soluções para produzir uma solução intermediária. O uso desta solução intermediária evita correções de polarização de fluxo de seiva em qualquer direção.

### **2.2.1. Correção para ferimentos**

Instalar sensores no tecido do xilema causa danos mecânicos substanciais. Além da interrupção das vasos pela inserção das sondas, os vasos intactos podem ficar ocluídos pela maneira como a planta responde ao ferimento formando tilóses (BARRETT et al., 1995). A região de madeira não-condutiva resultante da da inserção da sonda afeta a medição de  $V_h$  ao diminuir  $v_1 / v_2$ . Swanson e Whitfield (1981) usaram um modelo algébrico numérico de diferenças finitas para produzir uma equação para correção de ferimentos. Porém esta equação tem como propriedade não passar pela origem cartesiana, causando erros maiores em velocidades de seiva próximas a zero.

Para solucionar esta questão Burgess et al. (2000) desenvolveram um novo modelo numérico com a característica de poder ter uma origem nula, para fornecer correção adequada de ferimentos. Para corrigir a velocidade do pulso de calor medido com o HRM, três coeficientes:  $b$ ,  $c$  e  $d$  são usados na Equação 4:

$$Vc = bVh + cVh^2 + dVh^3 \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:  $Vc$  a velocidade da seiva corrigida e  $b$ ,  $c$  e  $d$  os coeficientes calculados. Determinando a velocidade da seiva com apenas uma porção do tecido do xilema (o lúmen do xilema) contém seqüência em movimento. As sondas de pulso de calor medem efetivamente uma ponderação média das velocidades da seiva móvel e da madeira "estacionária" (MARSHALL, 1958). A velocidade da seiva pode ser determinada em área, medindo as frações da seiva e da madeira no xilema e representando suas diferentes densidades e capacidades de calor específicas. Barrett et al. (1995) modificou a equação de Marshall (1958) relativa á  $Vc$  e velocidade da seiva:

$$Vs = \frac{Vc \cdot pb(Cw + Mc \cdot Cs)}{\rho_s \cdot Cs} \quad \text{Equação 5}$$

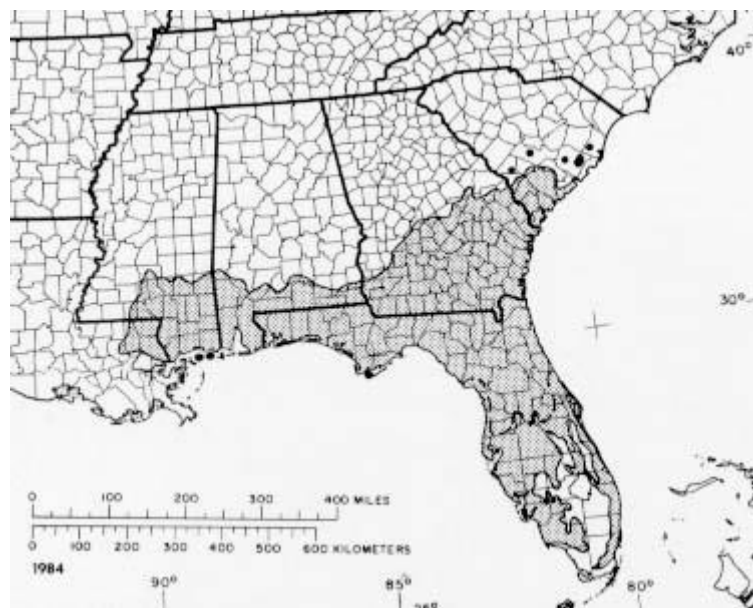
Onde:  $pb$  é a densidade básica da madeira (peso seco / volume verde)  $Cw$  e  $Cs$  são capacidade de calor específica da matriz de madeira ( $1200 \text{ j /kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$  a  $20 \text{ °C}$  (BECKER E EDWARDS, 1999)) e seiva (semelhante a da água,  $4182 \text{ J/kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$  a  $20\text{°C}$  (Lide, 1992)), respectivamente  $Mc$  é o teor de água da alburno e  $\rho_s$  é a densidade da água.

O fluxo volumétrico pode ser facilmente derivado como produto da velocidade da seiva ( $Vs$ ) e área de seção transversal de alburno condutor. A área bruta de seção transversal da madeira é calculada a partir do interior da casca. A área de cerne é descontada, seja pela coloração diferenciada da do alburno (GOLDSTEIN et al., 1998) ou observando a cor escura muitas vezes associado com a região mais úmida que conduz seiva . Onde a velocidade da seiva é estimada em várias profundidades radiais, a área total de alburno é dividida em anéis concêntricos delimitados pelos pontos médios entre profundidades de medição. Desta forma, estimativas pontuais da velocidade da seiva são ponderadas de acordo com a quantidade de seiva em cada profundidade..

### 2.3 SOBRE *PINUS ELLIOTTII*.

O *Pinus elliottii* Engelm é a espécie com menor área de ocorrência natural entre os quatro principais pinheiros do sul dos EUA. Os estados de ocorrência natural vão desde a Carolina do Sul até a Florida, chegando a Louisiana mais a oeste (Figura 1). Há duas variedades reconhecidas de *P. elliottii*: *P. elliottii* var. *elliottii*, e *P. elliottii* var. *densa*, esta última de ocorrência bem mais restrita à metade sul da península da Florida e Ilhas Keys (LOHREY e KOSSUTH, 1990).

Figura 1- Região de ocorrência natural de *Pinus elliottii*.



Fonte: Atlas of United States trees. LITTLE, E. L. Jr. USGS (1971).

O clima na região de ocorrência natural de *Pinus elliottii* é quente e úmido, com verões chuvosos e outonos e primaveras secos. A precipitação média anual chega a 1270 mm, com temperaturas média de 17°C, e extremas de 41°C a -18°C.

Os solos com maior dispersão são podosolos, ultisolos e entisolos. Embora *Pinus elliottii* seja adaptado a uma variedade de condições de solo e topografia, seu melhor crescimento é apresentado em margens de lagos, onde a umidade do solo é ampla, mas não excessiva, e com boa aeração (LOHREY e KOSSUTH, 1990).

Exemplos de plantios de reabilitação de solos arenosos e degradados com espécies do gênero de *Pinus* são citados para os estados de Wisconsin (DOSEN *et al.*, 1950) e Carolina do Sul, (MCGREGOR e GOEBEL, 1968) nos EUA, Mongólia Interior, na China (SHI *et al.*, 2012), Escócia (PROE *et al.*, 1992).

## 2.4 SOBRE *EUCALYPTUS SALIGNA*.

O gênero *Eucalyptus* tem espécies originárias desde a Tasmânia, no sul da Austrália, até ilhas da Indonésia e Papua-nova-guiné. Assim está presente em áreas de clima temperado até tropicais, tendo ocorrência em diversas regiões fisiogeográficas, desde o litoral até maiores altitudes e regiões continentais, como no continente australiano.

Vulgarmente conhecida como a Sydney blue Gum ou simplesmente Blue gum, *Eucalyptus saligna* foi descrito pelo naturalista Inglês James Edward Smith, em 1797, e ainda leva seu nome original. O nome da espécie *saligna*, se refere à semelhança com um salgueiro, embora o atributo a este não é claro (BOLAND ET AL., 2006). Os dois parentes mais próximos são flooded gum (*Eucalyptus grandis*) e Blue mountain Gum (*E. deanei*). Ao Sul de Sydney Harbour e Parramatta River, povoamentos puros de *E. saligna* dão lugar a populações híbridas com bangalay (*E. botryoides*).

*Eucalyptus saligna* cresce como uma árvore de floresta de fuste reto e alto, crescendo à alturas de 30 a 55m (ou raramente 65m) de altura com um DAP de até 2 ou até 2,5 m. O tronco tem cinza pálido suave ou casca branca com uma longa 'saia' (1-4 m de altura) de casca marrom áspera na base. As folhas verdes escuras são dispostas alternadamente ao longo das hastes e são 10-17 cm no comprimento por 2-3 cm de largura. As flores brancas aparecem de dezembro a fevereiro e são organizados em grupos de sete a onze em umbela. O *Eucalyptus saligna* regenera por renováveis a partir de gemas epicórnico na base do tronco após o incêndio florestal. As árvores vivem por mais de 200 anos (BENSON e MCDUGALL, 1998). O *Eucalyptus saligna* é, geralmente, encontrado dentro de 120 km do litoral em uma faixa da costa sul de Nova Gales do Sul perto de Maryborough, no centro de Queensland.

Uma carta com sua distribuição natural é encontrada na Figura 2. *E saligna* cresce em florestas altas nas áreas mais abrigadas, em solos com argila ou barro e areias aluviais. É um componente ameaçado da Floresta Alta de Blue Gum, comunidade ecológica na região de Sydney (BENSON e MCDUGALL, 1998)



Figura 2- Área de ocorrência natural de *E. saligna*.



Fonte: Slee A.V., Connors, J., Brooker, M.I.H., Duffy, S.M., West, J.G., Eucalypts of Australia. (2006).

## 2.5. IMPACTOS DA TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA FLORESTA

A maioria dos processos biológicos e químicos nos ecossistemas florestais são afetados pela temperatura e os impactos sobre a produtividade das árvores são complexas, envolvendo efeitos interdependentes sobre a fotossíntese, respiração, transpiração, nutrição e desenvolvimento da planta (LAMBERS et al., 2008). A taxa fotossintética geralmente é fortemente afetada pela temperatura. As plantas que não são esperadas para detectar problemas de um aumento de temperatura por si só, Isso ocorre porque as plantas podem ser tolerantes a temperaturas mais elevadas do que as temperaturas atuais, podendo se aclimatar ao novo ambiente de temperatura, apesar disso, para além de uma certa temperatura, o crescimento e sobrevivência diminuirá (WAY e OREN 2010). Isso pode (ou não pode) estar relacionado ao estresse hídrico (VAN MANTGEM e STEPHENSON 2007; PIAO et al., 2008).

Qualquer resposta ao aumento da temperatura é o principal responsável pelo alongamento do período de crescimento (LIETH, 1973; KIRSCHBAUM, 2004;

PINKARD et al., 2010). No entanto, extremos e rápidos aumentos de temperatura podem ser prejudiciais, resultando em lesões importantes nos tecidos, desnaturação de proteínas e mortalidade (ÖGREN e EVANS, 1992). Os autores Way e Oren (2010) concluíram que o aumento da temperatura irá aumentar o crescimento das árvores para as espécies caducifólias mais do que para as espécies de coníferas, e, qualquer aumento do crescimento irá variar entre as espécies.

## 2.6. EFEITOS GENÉRICOS DO CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICOS NA PRODUTIVIDADE DE ÁRVORES

O impacto de concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> em árvores é complexo, com efeitos bem caracterizados de concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> na fotossíntese, sugerindo o potencial de respostas de crescimento substanciais. (CURTIS, 1996; AINSWORTH e LONG 2005;). Os resultados representativos incluem: Turnbull et al. (1998) verificaram que a fotossíntese aumentou entre 30% e 50% para a duplicação da concentração de CO<sub>2</sub> sob condições sem limitação de nutrientes ou de água. Ainsworth e Long (2005), em sua meta-análise informam uma contínua estimulação do ganho de carbono fotossintético em 29%, o que levou a um aumento de 28% no incremento de biomassa.

Norby et al. (2005) descobriu que, para sete espécies diferentes estudadas em quatro experimentos diferentes, o reforço do crescimento da concentração elevada de CO<sub>2</sub> foi um consistente em 23%. Como as espécies e as condições de crescimento para os quais as taxas de crescimento variaram quase cinco vezes, é sugerido que a resposta não era dependente da taxa de crescimento inerente de plantas e refere-se a condições em que a resposta foi grandemente controlada pelo impacto da concentração de CO<sub>2</sub> no processos fisiológicos da planta direta. Todos os sete locais tinham acesso adequado a água suficiente, e as limitações de nutrientes eram praticamente inexistentes a partir desses sites. Há um debate em torno da magnitude das respostas de crescimento a concentrações elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> (NOWAK et al., 2004; KÖRNER et al., 2007).

Reduzindo a certeza de respostas projetadas de produtividade decorrente de aumentos das concentrações futuras de CO<sub>2</sub>, plantas que conseguem regular vários processos metabólicos para um equilíbrio global, por isso, se um recurso (por exemplo, o carbono) torna-se mais facilmente disponíveis, o crescimento adicional

só ocorrerá se as plantas podem utilizá-lo. Quando a capacidade da planta para utilizar carbono é limitada qualquer aumento da fotossíntese não poderá ser sustentada e será reduzida através de processos de feedback chamados 'aclimatação para baixo', (MEASON e MASON; 2014).

As respostas às concentrações crescentes de CO<sub>2</sub> serão limitadas se aumentarem o ganho fotossintético, se o carbono não pode ser igualado por fornecimento de nutrientes. Nestas circunstâncias, as menores concentrações de nutrientes nas folhas são suscetíveis de reduzir as taxas fotossintéticas inerentes (por exemplo, RASTETTER et al., 1997;. KIRSCHBAUM,1998;. NOWAK et al., 2004;. NORBY et al., 2010). Alocação de carbono em condições elevadas de CO<sub>2</sub> pode mudar dentro da árvore. Sob estas condições alguns estudos têm encontrado relativamente maior alocação em acículas e raízes finas (NORBY et al., 2002;. HYVÖNEN et al., 2007), enquanto outros estudos encontraram um aumento no crescimento radicular (MATAMALA e SCHLESINGER, 2000; PREGITZER et al., 2000. PRITCHARD et al., 2001). Não está claro se haverá uma mudança na alocação de carbono (ou seja, a mudança na razão) com o aumento do CO<sub>2</sub> entre as espécies (MEDLYN et al., 2001; KARNOSKY, 2003.). Há pouca evidência de um aumento líquido de disponibilidade de nutrientes de ciclagem de nutrientes sob condições elevadas de CO<sub>2</sub> (MILLARD et al., 2007).

## 2.7. INTERAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E CO<sub>2</sub>

A sensibilidade da fotossíntese à concentração de CO<sub>2</sub> aumenta com o aumento da temperatura (KIRSCHBAUM, 2004), com aumentos nas taxas de fotossíntese e fotorrespiração (SAGE e KUBIEN, 2007). O crescimento das plantas irá aumentar com a elevação da concentração de CO<sub>2</sub> e também com temperaturas mais elevadas, com pouco ou nenhum crescimento a baixas temperaturas (KIMBALL, 1983). No entanto, Norby e Liu (2004) alertam que será difícil tirar conclusões sobre a forma como esta observação experimental vai afetar a produção, por causa dos muitos outros fatores influenciados pela temperatura - incluindo a temperatura ideal para o crescimento de determinadas espécies.

A temperatura é projetada para aumentar em simultâneo com as concentrações de CO<sub>2</sub>, no entanto, existem poucos estudos que examinaram esta

interação no crescimento das árvores (WAY e OREN, 2010). Até que mais pesquisas sejam realizadas, não está claro se qualquer aumento na produtividade se deve principalmente ao elevado CO<sub>2</sub> e/ou temperatura.

## 2.8. EFEITOS GENÉRICOS DA PRECIPITAÇÃO NA ÁRVORE

A limitação da produtividade da água é um fator importante que afeta diretamente o crescimento da planta (Schulze et al. 1987), com aumento da mortalidade e, indiretamente, com aumento da suscetibilidade a danos de pragas e incêndios (PINKARD et al., 2010). As respostas da planta à reduzida disponibilidade de água são multifatoriais (WULLSCHLEGER et al., 2002), com base na disponibilidade de água no solo e impactos de níveis de temperatura e CO<sub>2</sub> em troca de água com árvores. A gestão da água da planta é controlada pela resposta do estômato para alterações nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera. As plantas adquirem CO<sub>2</sub> e emitem vapor de água através de seus estômatos (poros microscópicos nas folhas). Para maximizar o crescimento, as plantas precisam de estômatos que possam abrir tanto quanto possível para assimilar o CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, mas isto também permite que o vapor de água para ser emitido (na prática, desperdiçando-o). Para as plantas otimizarem o “*trade-off*” entre a assimilação de CO<sub>2</sub> e transpiração de água (COWAN e FARQUHAR, 1983) fechando e abrindo estômatos, resultando em mudanças para a condutância estomática. Limites inferiores de condutância e perda de água (transpiração) limita a assimilação de CO<sub>2</sub> (FARQUHAR e VON C, 1982); mas reduz a assimilação de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, a fotossíntese (LAMBERS et al. 2008).

A condutância estomática está inversamente relacionada com as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>, embora diferentes grupos de plantas têm diferentes respostas a um aumento dos níveis de CO<sub>2</sub>, com coníferas sendo significativamente menos sensível do que angiospermas especialmente em concentrações de CO<sub>2</sub> acima de 380 ppm. Foi descoberto que, a condutância estomática das coníferas não diminuiu muito após as concentrações de CO<sub>2</sub> atingirem 380 ppm, o que proporcionou um aumento na assimilação de CO<sub>2</sub> em 600 ppm, gerando assim, maior produtividade em níveis mais elevados de concentração de CO<sub>2</sub> (BRODRIBB et al., 2009).

Allen (1990) e Urban (2003) compilaram uma série de observações a partir da literatura e mostraram que a condutância de estômatos em toda uma gama de espécies foi reduzida em cerca de 40% quando a concentração de CO<sub>2</sub> foi duplicada. No entanto, a condutância estomática em espécies lenhosas foi, geralmente, observada como sendo menos sensível à concentração de CO<sub>2</sub>, com a meta-análise de indicando redução da condutância estomática não significativa por apenas 11%. (CURTIS e WANG, 1998).

Curtis e Wang (1998) relataram no entanto, numerosos estudos de ter negativo, ou não significativo os efeitos positivos de concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> na condutância estomática. Já Medlyn et al., (2001) relataram uma redução de 21% da condutância estomática através de uma variedade de experimentos. Medlyn et al., (2001) também relataram que a resposta pareceu ser mais fraca em árvores mais velhas em vez de mais jovens e mais fracas para as coníferas do que árvores de folha caduca. A aclimação tem sido observada principalmente em ensaios de cânhamo (ARP 1991) e podem ser em grande parte relacionada a artefatos experimentais pautados ao crescimento em pequenos vasos, onde a incapacidade das plantas a crescer maior induz uma limitação (KIRSCHBAUM, 2011). Aclimação “para baixo” é observada com menor frequência em grandes vasos ou ensaios de campo.

A eficiência do uso da água (EUA) é a relação entre CO<sub>2</sub> assimilado e a água perdida e, é fortemente afetada pela condutância estomática (WANG et al., 2012). Os aumentos de até 40% foram observados em coníferas (a 600 ppm). Melhoria da EUA significa que em condições melhoradas de CO<sub>2</sub>, menos água é perdida e a fotossíntese pode continuar por mais tempo sem estresse hídrico em desenvolvimento. Isso proporciona um crescimento contínuo quando há redução na precipitação. Os ganhos de produtividade da melhoria da EUA são substancialmente maiores do que os ganhos de concentrações de CO<sub>2</sub> aprimorados sozinho. Portanto, os maiores ganhos relativos provavelmente em sites limitada em água com uma nutrição adequada, uma vez que a inibição do feedback será minimizado, e a EUA (em vez de respostas diretas de CO<sub>2</sub> da fotossíntese) será de maior importância (KIRSCHBAUM, 1999. KÖRNER et al., 2007).

Enquanto os argumentos a favor de aumentar a capacidade de resposta CO<sub>2</sub> com a diminuição da precipitação são convincentes, o suporte experimental para

este teste padrão é menos forte. Aumentar a EUA tem sido geralmente observado em estudos de pequena escala de espécies lenhosas e herbáceas (EAMUS,1991).

Nowak et al. (2004) resumiram os resultados dos locais face existente. Quando os resultados para cada local foram em média, eles conformam com o padrão esperado de aumentar a resposta de crescimento com a diminuição da precipitação. No entanto, os mesmos dados de proporcionar um padrão diferente, se anos e locais foram analisados separadamente. Os resultados, nas condições desérticas mais extremos mostraram que houve uma maior valorização CO<sub>2</sub> de crescimento acima do solo em níveis de precipitação moderada do que nos níveis mais baixos de precipitação. As razões para esses padrões inconsistentes não são claras, mas lança algumas dúvidas sobre as maiores melhorias de crescimento esperadas em condições limitadas de água, (MEASON e MASON, 2014).

Wang et al. (2012), em locais com limitação de água na China, encontraram redução do crescimento, mesmo com o aumento da EUA - o que é consistente com outros resultados (WANG et al.2012, p.21). Peñuelas et al. (2011) encontraram resultados semelhantes ao rever a EUA e o crescimento, com apenas 50% dos sítios que mostram ganhos de crescimento, o restante revelando nenhuma mudança ou perdas de crescimento. Wang et al., (2012) também observou que o aumento da EUA é provavelmente influenciado pela seca e impulsionado por uma grande diminuição na perda de água através fechamento dos estômatos (como denominador da EUA), em vez de por um aumento na assimilação de CO<sub>2</sub>.

Dentro de locais com escassez de água, o aumento das temperaturas poderia produzir altas taxas de evapotranspiração exacerbando qualquer estresse hídrico (WANG et al. 2012). O aumento sustentado na temperatura do ar pode aumentar a transpiração (TURNBULL, et al., 2001) que pode diminuir o crescimento. Esta redução na condutância estomática é provável que seja menos pronunciada se a fotossíntese aumenta em resposta a concentrações crescentes de CO<sub>2</sub>. Diminuindo condutância estomática irá reduzir a taxa de transpiração, mas qualquer aumento da temperatura, tanto como um fator direto, quanto indiretamente, através do aumento do déficit de pressão de vapor do ar, irá resultar em um aumento de taxas de transpiração da copa. Os efeitos físicos diretos de aumento da temperatura, juntamente com o efeito fisiológico da planta de diminuir a condutância estomática, irá, em parte, se anular mutuamente.

O crescimento é reduzido em sítios com falhas de precipitação (por exemplo, ARNETH et al., 1998, MCMURTRIE et al., 1990, RICHARDSON et al., 2002) e pode ser intensificado em locais com baixa capacidade de retenção de água. Esta pesquisa é consistente com simulações que mostraram que a produtividade aumentou com até cerca de 2.000 milímetros de chuva, (KIRSCHBAUM e WATT, 2011). O balanço hídrico é afetado pelas alterações combinadas em entradas e saídas de água, a capacidade de retenção de água do solo e por evapotranspiração (que é geralmente o componente mais importante de perda de água a partir do sistema). Quaisquer mudanças na distribuição anual de chuvas são susceptíveis de afetar a disponibilidade de água no solo em diferentes épocas do ano.

## 2.9. CRESCIMENTO, RELAÇÕES HÍDRICAS E MUDANÇA CLIMÁTICA

O sucesso do crescimento de árvores requer quantidades adequadas de água e nutrientes, suficiente oxigênio no solo para o funcionamento efetivo das raízes, luz adequada para a fotossíntese e temperatura favorável.

A água é o principal constituinte do protoplasma, que consiste de uma rede proteica na qual uma grande quantidade de água está ligada. Água constitui cerca de 90% do peso fresco de raízes em crescimento e meristemas apicais, assim como outras partes da planta também são ricas em água, até o tronco, compondo mais da metade de seu peso (KOZLOWSKI, 1962).

O papel da água na planta vai desde um reagente na fotossíntese, processos hidrolíticos, como a digestão do amido, até como solvente de gases e sais pelo quais é dada a entrada na célula. O turgor celular, necessário no alongamento celular, a manutenção da forma e posição de folhas, brotos e raízes, além do controle estomático, também dependem diretamente da água disponível (KOZLOWSKI, 1962).

Muitas espécies de clima temperado produzem brotos anuais a partir da abertura e alongação de uma única gema, que na primavera está formada em uma forma “telescópica”. O crescimento destes brotos é um estágio de dois anos, sendo a diferenciação da gema no primeiro ano e sua consequente alongação no segundo. Entretanto esse comportamento pode produzir brotos adicionais tardios em gemas criadas no ano corrente (KOZLOWSKI, 1971).

O crescimento de espécies temperadas em regiões tropicais e subtropicais pode modificar esse comportamento de maneiras diferentes, até com a emissão de brotos apicais sem formação de brotos e ramos laterais, conhecido como “foxtail” (LANNER, 1966).

Na América do Norte, Kramer (1943) relata que *P. taeda*, *P. echinata* e *P. caribaea* apresentam um “flush” de crescimento recorrente, podendo estender-se por até cinco meses. Estas espécies realizam de 15 a 20% do seu crescimento em altura, em cada mês, de abril a agosto.

Combinações de padrões geográficos e climáticos ocorrem em características do crescimento em altura de *P. elliotii*, tendo comportamento de grande amplitude em seu limite norte de ocorrência, devido à grandes variedades graduais na Flórida, onde a variabilidade de sítios é consideravelmente menor, tendo maior influência o clima (SQUILLACE, 1966).

Burley (1966) revisou as variações de características de procedências de sementes de *Pinus taeda* e *P. elliotii* no sudeste dos EUA. Essas variações tenderam a serem maiores em *P. taeda* do que em *P. elliotii*, mas em ambas espécies a variação das procedências por vezes obscureceu a variação entre procedências. Para algumas características a variação da procedência era aleatória, mas para a maioria dos traços, o padrão de variabilidade tendeu a ser gradual, seguindo uma linha noroeste a sudeste. Este padrão estaria ligado à distribuição de baixas temperaturas, chuvas da estação quente e respostas ao fotoperíodo.

Além das características ambientais, é importante considerar as características da planta e de seu processo de crescimento, como, por exemplo, o tecido fotossintético ativo. Esse tecido é chamado de mesófilo das folhas e possui pigmentos especializados para a captação de luz, é característico das plantas superiores, as clorofilas. A energia solar captada pela planta durante a fotossíntese é usada para oxidar a água, produzir oxigênio e reduzir o gás carbônico, produzindo compostos orgânicos como açúcares. A velocidade com que a planta realiza a fotossíntese depende da capacidade de assimilação imediata dos nutrientes mineralizados a partir da decomposição da serapilheira e de elementos químicos do solo (SCHNEIDER, 2008).

O crescimento de lenho tardio segundo Kozlowski, (1962) é dependente do suprimento hídrico. A parada do crescimento em verões secos é antecipada em comparação a quando o fim do verão que apresenta chuvas abundantes. Em *Pinus*



*taeda*, uma vez que o lenho tardio inicia sua formação, esta não pode ser revertida em formação de lenho inicial, por ocorrência de situações favoráveis. Foi sugerido que a espessura da parede celular é dependente da quantidade de fotossintatos disponíveis, que por sua vez são dependentes da quantidade de água entre outros fatores ambientais (KOZLOWSKI, 1962).

Assmann (1970) credita o crescimento em altura não só às condições climáticas do ano em que ocorre, mas também às condições do clima no ano anterior, especialmente entre os meses de julho e setembro, quando há formação de botões no hemisfério norte. Estes meses do ano anterior são vitais para o desenvolvimento de substâncias de reserva, com a qual a alongação dos brotos do ano seguinte é inicialmente impulsionada. O desenvolvimento em altura das árvores é descrito pelo autor como sendo a expressão de sucessivos ganhos em altura e correspondente aumento da altura em relação com a idade.

## 2.10. SECA

A seca é difícil de ser definida objetivamente, mas pode ser tratada como o fenômeno meteorológico, por um período sem precipitação suficiente, de duração consequente, em que haja estresse para as plantas e redução de crescimento (MAY e MILTHORPE, 1962). Decker (1983) discutiu vários métodos de quantificação e definição de seca, suas probabilidades, impacto na produtividade de culturas e avaliabilidade de água no solo, e, concluiu que a definição mais racional de seca é aquela baseada em um período após a exaustão do estoque de água disponível no solo.

A seca é suscetível a conduzir uma redução do crescimento de plantas e alterar o recrutamento de plantas jovens. O estresse hídrico das árvores também pode predispor florestas à uma infestação por insetos herbívoros e doenças fúngicas (KOLSTROM et al., 2011). Há uma variedade de processos fisiológicos nas plantas que respondem aos potenciais de água na planta (HSIAO 1973; DITMAROVÁ et al. 2009) de modo que a severidade de uma seca irá influenciar a resposta fisiológica (RYAN, 2011).

Os efeitos da seca são relativos: espécies de árvores de biomas mais úmidos serão mais suscetíveis a reduções na precipitação do que as espécies de biomas mais secos, que podem sobreviver com baixo teor de água no solo (RYAN 2011).

A disponibilidade hídrica, se reduzida, afeta vários processos metabólicos da planta, provocando fechamento total ou parcial dos estômatos e limitando a perda de água e fixação do CO<sub>2</sub>. Além disso, também afeta a distribuição dos nutrientes, uma vez que a água se constitui no meio de transporte que permite aos nutrientes serem absorvidos pela planta e levados a todos os pontos de processamento fisiológico (NOBEL, 1974).

A radiação solar, temperatura, umidade do ar e precipitação são os principais fatores climáticos que influenciam no crescimento de uma floresta (TROVATI, 1982). Em plantio de *Pinus taeda*, a baixa disponibilidade de água no solo e temperaturas extremas têm sido os principais fatores que afetam negativamente a área foliar e, conseqüentemente, reduzem a interceptação e uso da radiação pelas plantas. Para as coníferas do hemisfério norte, a ótima capacidade de fotossíntese requer uma temperatura que varia entre 10 a 20°C. Por isso, as plantas podem reduzir a assimilação de carbono devido ao aumento da transpiração e ao fechamento dos estômatos (LARCHER, 2006).

Para Barros e Novais (1990) uma planta mesmo em solo fértil pode estar mal nutrida de um determinado nutriente, devido à umidade insuficiente para o transporte deste na planta, ficando na dependência, assim, de fontes mais distantes. Isso pode sugerir outras soluções que não a simples adição de doses desse nutriente ao solo.

Em regiões com maior pluviosidade, tanto na quantidade quanto na distribuição, os solos com maior retenção, sistemas de manejo conservador de água e plantas com sistema radicular mais profundo são situações que podem contribuir para a nutrição da planta. Quando fatores como disponibilidade do nutriente no solo, quantidade e qualidade do tecido amostrado, idade fisiológica, época, condições climáticas, entre outros, permanecem constantes, a concentração crítica de um nutriente pode variar de um solo para outro. Para estes autores, a disponibilidade de umidade do solo tem grande influência na deficiência nutricional das plantas, que geralmente desaparecem em períodos chuvosos.

Um estudo de desempenho do crescimento de *P. taeda* e *P. elliotti* em solos arenosos e degradados no sudoeste do Rio Grande Do Sul, indicou curvas de crescimento com maiores diâmetros e volumes para *P. elliotti*. Este fato foi atribuído a

origem geográfica da espécie do material, proveniente de solos mais pobres e arenosos e, a capacidade de formação de uma manta de acículas com ciclo de decomposição menor, resultando assim em acelerada ciclagem e reutilização de nutrientes (ELESBÃO, 2011).

Jose *et al.* (2003), geriram um experimento de disponibilidade hídrica, luz e nitrogênio para *Pinus ponderosa* conduzido em casa de vegetação, na Flórida, em vasos com substrato organo-arenoso. Os autores afirmam que a proporção de raízes/acículas foi maior em condições de quantidades inferiores de recursos. O nitrogênio do solo teve maior influência no aumento da relação raízes/acículas, com média superior a 69% em relação ao tratamento de maior disponibilidade de nitrogênio foi 19% maior, em relação ao tratamento de maior disponibilidade de água. Ainda, Jose *et al.* (2003), concluem que o alto conteúdo de nitrogênio no solo tendeu a aumentar a produção de acículas e de tronco nos tratamentos com déficit hídrico, em detrimento da produção de raízes, resultando em menor relação raízes/acículas.

Em sítios com tratamento de adequadas condições de água e fertilidade Albaugh *et al.* (2004) encontraram uma proporção maior de acículas (19%), em relação ao sítio considerado como controle (8%). Estes autores citam que as repostas de *P. taeda* de 9 anos em solos arenosos da Carolina do Norte nos Estados Unidos, sob regimes de nutrição e disponibilidade hídricas em patamares ótimos, são maiores em tratamentos de fertilidade ideal do que em condições de disponibilidade de água. Outra conclusão de Albaugh *et al.* (2004), é o aumento na eficiência de produção de massa total por unidade foliar em 32,15% e 53% com os tratamentos de fertilização e fertilização mais irrigação, respectivamente.

Em experimento de irrigação e fertilização de *Pinus taeda* de 7 anos, em solo arenoso, localizado na Carolina do Norte nos EUA, Abrahamson *et al.* (1998) não encontraram diferenças significativas para valores de área basal e o índice de área foliar para os tratamentos de fertilização e irrigação com fertilização.

Em um ensaio de déficit hídrico com diversas progêneses de *Pinus leiophylla*, Martínez-Trinidad *et al.*, (2002), afirma que, a disponibilidade de água no solo afeta a taxa de consumo das plantas e também indica que, em condições de umidade favoráveis, estas populações consomem grandes quantidades de água, porém, conforme a diminuição da quantidade disponível, esse consumo tende a diminuir

drasticamente. O autor também afirma que, a taxa de umidade do solo é significativa para a taxa de crescimento em altura e, que plantas submetidas a um déficit hídrico anterior apresentam taxas superiores de crescimento quando em período de recuperação.

As condições climáticas e fisiográficas são um tanto homogêneas na região de ocorrência natural de *P. elliotii*. Entretanto, acredita-se que alguns gradientes influenciem o crescimento, por outro lado diferenças consideráveis na produtividade de sítios podem ser atribuídas a variações nas propriedades do solo, especialmente a umidade e a disponibilidade de nutrientes, ambas influenciadas pelo micro-relevo (PRITCHETT e SMITH, 1968).

Segundo McGregor e Gorbel (1968) a fertilização nitrogenada influencia positivamente a taxa de crescimento e o comprimento das acículas de *P. taeda* e *P. elliotii* plantados em sítios com severa deficiência de minerais e matéria orgânica.

Para condições de umidade do solo próximas a capacidade de campo, Kozlowski (1949) afirma que um amplo e denso sistema radicial é formado em *P. taeda* e *P. echinata*, entretanto, quando o solo permanece seco próximo ao ponto de murcha, um sistema radicular esparso é formado.

Em *Pinus ponderosa*, Zhang et al. (1997) encontraram plantas provenientes de populações distintas com diferentes tolerâncias ao déficit hídrico e sensíveis ao déficit hídrico e com maior redução no grau de consumo de água.

Da mesma forma, Wu et al. (2008) encontraram resultados de melhoria da eficiência do uso da água com o uso de fertilização nitrogenada em mudas jovens de *Sophora davidii*, tanto altas e baixas disponibilidades hídricas, porém a eficiência do uso da água foi decrescente com menores disponibilidades hídricas.

Em experimento de irrigação a campo, realizado por El-Juhany et al., (2008) com *Eucalyptus microtheca* e *Conocarpus erecta*, na Arábia Saudita, após um ano de tratamento com plantas de um ano e meio, comprovou que os tratamentos de irrigação afetam significativamente o diâmetro do tronco destas espécies. E quanto à altura, a irrigação não foi significativamente influente.

Leaf et al. (1968) em experimento de fertilização e irrigação, nas montanhas Adirondack no estado americano de Nova York, constataram que o crescimento percentual em diâmetro de árvores adultas de *P. resinosa* em relação ao tratamento testemunha, se estendia por mais tempo, ou seja, os tratamentos de ferti-irrigação

estendiam o crescimento de maneira mais distribuída. Este comportamento também foi observado para a altura percentual, porém com menor magnitude.

Sobre isto, El-Juhany et al., (2008) também relata que a produção de matéria seca foi significativamente reduzida pelos tratamentos de irrigação, além da repartição desta matéria seca em diferentes partes da planta. A proporção do peso das raízes e relação raiz/broto aumentou consideravelmente nas plantas conduzidas sob estresse severo. Além disso, os incrementos deste tratamento também foram inferiores aos dos tratamentos de irrigação intermediários e superiores.

Em geral, o crescimento das árvores aumenta com a precipitação (MURPHY e LUGO, 1986) e diminui com a seca (NATH, 2006; LOLA DA COSTA et al., 2010). Independentemente da chuva, a fertilidade do solo também pode afetar a taxa de crescimento das árvores (MALHI et al., 2004), com melhor crescimento em solos mais ricos em nutrientes (RUSSO et al., 2005).

Para Gonçalves (1990) frequentemente a disponibilidade de água no solo é o fator que mais determina o crescimento das árvores, sendo importante a avaliação de seus determinantes. Schultz (1997) afirma que a produtividade do gênero *Pinus* está positivamente associada aos sítios com regimes hídricos mais favoráveis ao crescimento da espécie, com temperaturas amenas e menor déficit hídrico. O efeito do déficit hídrico sobre o rendimento em uma cultura vai depender da intensidade, duração, época de ocorrência e interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (CUNHA e BERGAMASCHI, 1992).

Em solos com maior disponibilidade de água, ar e nutrientes, a planta tem a possibilidade de melhor desenvolvimento e distribuição do seu sistema radicular no perfil do solo, estando mais bem preparada para enfrentar um estresse hídrico (GATTO, 2000).

Snowdon e Waring (1991) testaram seca e irrigação em *P. radiata* e durante este período não identificaram diferença significativa entre as alturas dos controles e terrenos irrigados. A diferença entre o tratamento de seca e os demais tratamentos tornou-se significativa ao nível de 5% depois de quatro anos como o crescimento altura. Os resultados são consistentes com os obtidos por Jackson et al. (1975), que constataram que a seca imposta durante o inverno / primavera causa crescimento consideravelmente reduzido na altura durante o final da primavera, enquanto a seca

de verão / outono praticamente eliminou o pico secundário de incrementos de altura, que normalmente ocorre no outono.

Reissmann e Wisniewski (2005) relatam que as espécies de *Pinus* demonstram capacidade extraordinária de gerenciamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade, sem, no entanto, manifestar sintomas visuais de deficiência. Esses aspectos, embora positivos sob determinado ponto de vista, geraram uma expectativa que se mostrou negativa no sentido do manejo nutricional dessas espécies. A rapidez de crescimento e ausência de sintomas de deficiência, especialmente durante as primeiras rotações, reforça a expectativa de que os *Pinus* sp., em geral, dispensariam grandes cuidados com a adubação, ou que esta fosse totalmente dispensável.

Um importante fato que ocorre a várias espécies, e em especial as do gênero *Pinus*, é a associação com fungos micorrizicos. Considerados como uma “extensão” do sistema radicular, uma fina rede de hifas explora e extrai os nutrientes de um volume de solo além das fronteiras das raízes. Muitos destes nutrientes são deslocados das hifas para a micorriza, onde são liberados para as raízes para a utilização do hospedeiro, em contrapartida, este fornece uma fonte primária de energia ao fungo provendo açúcares simples e outros compostos derivados dos fotossintatos derivados do hospedeiro. Adicionalmente ao aumento da absorção de nutrientes, especialmente fósforo, as micorrizas conferem outros benefícios aos seus hospedeiros, como aumento na capacidade de uso da água e aumento da resistência à seca de mudas, auxiliando a suportar alta temperatura e acidez extrema do solo, e até protegendo as raízes do ataque de patógenos (MOLINA e TRAPPE, 1984).

## 2.11. USO DE ÁGUA

A água desempenha um papel essencial em vários processos vitais das plantas e é o fator limitante mais importante nos ecossistemas terrestres. A troca de gases nas plantas, a fotossíntese, e a produtividade terrestre são limitadas pela capacidade de transporte de água de raiz a folha (SPERRY, 2000). De fato, a absorção de CO<sub>2</sub> através dos estômatos é inevitavelmente acoplada à perda maciça de água do tecido fotossintético para a atmosfera (JONES, 1998). Apenas a eficiência hidráulica adequada dos sistemas de transporte de água da planta pode

garantir a substituição contínua de água perdida pela transpiração e manutenção da hidratação celular nas folhas, raízes e regiões meristemáticas para o crescimento normal da planta e desenvolvimento e produção de biomassa. É teorizado que a hidráulica da planta restringe a produtividade do ecossistema, estabelecendo limites físicos para o transporte de água e, portanto, absorção de carbono por folhas (MANZONI et al., 2013).

Desta forma, o transporte de água e a fotossíntese nas árvores são reguladas pela condutância hidráulica (MENCUCCINI, 2003; TYREE, 2003). De acordo com a hipótese de limitação hidráulica (RYAN E YODER, 1997), o aumento das restrições hidráulicas com a altura da árvore reduz a condutância estomática e isso pode explicar o declínio relacionado ao tamanho na capacidade fotossintética (BOND, 2000; HUBBARD et al., 2001), que pode eventualmente, traduzem-se no declínio da produtividade florestal e do solo (RYAN e YODER.1997).

Ainda não está claro como o tamanho da árvore, uma resposta aos seus fatores genéticos de maquiagem e ambiente, afeta a eficiência do uso da água da planta (WUE, uma relação entre o ganho de carbono e a perda de água), o que é uma característica importante para o acoplamento da produtividade da planta e da exploração eficiente de recursos hídricos (DEWAR, 1997).

Em vários estudos, descobriu-se que a eficiência do uso da água aumenta à medida que as árvores crescem, o que muitas vezes é interpretado como um efeito do aumento das limitações hidráulicas e estomáticas que restringem as perdas de água por transpiração ao invés de ganho de carbono por fotossíntese (MCDOWELI et al., 2002; DELZON et al. 2004). A coordenação entre os dois sistemas de transporte de longa distância em árvores, xilema e floema foi sugerida teoricamente (HÖLTTÄ et al., 2006, 2009) e recentemente demonstrada (SEVANTO et al., 2003, 2014, SOKOLOWSKA E ZAGORSKA-MAREK, 2012,; PFAUTSCH et al. 2015). Ryan e Yoder. (2006) sugerem que não há mecanismos universais para explicar o declínio da produtividade à medida que a árvore cresce em altura, mas mais componentes podem estar envolvidos em conjunto. Vincular a água total de árvores e assimilar transporte, troca de gás e alocação de carbono tem um grande potencial para explicar as diferenças de genótipos na produtividade em diferentes ambientes.

Existem poucos estudos que mediram o uso de água de *P. radiata* diretamente (HATTON E VERTESSY, 1990; TESKEY E SHERIFF, 1996), e menos

ainda o mediram na Nova Zelândia (BENECKE, 1980; GIFFORD et al., 1982; WHITEHEAD et al., 1983). Hatton e Vertessy (1990) não encontraram diferença na transpiração entre clones na Austrália e Whitehead e outros (1983) não encontraram diferença na condutância estomática e na transpiração calculada entre os clones. Por outro lado, Bennett e Rook (1978) encontraram um clone transpirando uma taxa significativamente menor do que o outro clone. Vários estudos mais recentes demonstraram que o genótipo pode influenciar a assinatura de WUE e assinatura isotópica de carbono foliar ( $\delta^{13}C$ ) de *P. radiata* (CODESIDO et al., 2012; XUE et al. 2013) em ambientes de baixa precipitação. No entanto, essas medidas são indiretas, podem ser confundidas por outras limitações ambientais e não quantificam o uso total de água na árvore entre os genótipos. De fato, um estudo com *P. radiata* no centro do Chile não encontrou-se diferença na WUE ou na troca de gases na cobertura entre genótipos (EPINOZA et al., 2017).

Outro estudo que examinou o  $\delta^{13}C$  em anéis de crescimento de diferentes genótipos de *P. radiata* cultivados em áreas de baixa precipitação da Austrália encontrou as assinaturas isotópicas semelhantes e concluiu que a eficiência do uso da água da espécie foi resposta direta do estômato às condições do local. Um recente estudo de estufa em três genótipos diferentes de um ano de idade em que mediu-se a troca de gás do dossel e a condutância hidráulica das árvores, descobriu que alguns genótipos não têm apenas maior WUE e menor condutância hidráulica, mas também que as aquaporinas de raiz foram importantes na regulação da condutância hidráulica condições secas (GAMIR et al., sob revisão). No entanto, os resultados deste estudo podem ser um artefato da estufa e / ou a idade jovem das árvores. Investigar diretamente a mudança de gás e o uso de água entre os genótipos de *P. radiata in situ* não só quantifica o uso da água, mas também determina se as possíveis diferenças de genótipos no uso de água não são superadas pelo impacto das limitações do local no crescimento.



## REFERÊNCIAS

- ABRAHAMSON, D. A.; DOUGHERTY P. M.; ZARNOCH, S. J. Hydrological components of a young loblolly pine plantation on a sandy soil with estimates of water use and loss. **Water resources research**, Urbana-Champaign IL, vol. 34, no. 12, p. 3503-3513, 1998.
- AINSWORTH, E.A., S.P. LONG,: What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy. **New Phytologist**, Blackwell, n. 165 v. 2, p. 351–371. 2005.
- ALBAUGH, T. J., ALLEN ,H. L.; DOUGHERTY, P. M.; JOHNSEN, K. H. Long term growth responses of loblolly pine to optimal nutrient and water resource availability. **Forest Ecology and Management**, Fort Collins CO. n. 192, p. 3–19, 2004.
- ALLEN, L.H. JR. Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. **Journal of Environmental Quality** Madison, WI, v.19, p.15–34. 1990.
- ANSLEY, R.J.; DUGAS, W.A.; HEUER, M.L.; TREVINO, B.A. Stem flow and porometer measurements of transpiration from honey mesquite (*Prosopis glandulosa*). **Journal of Experimental Botany**, v.45, p.847-856, 1994.
- ARNETH, A.; KELLIHER, F.M.; MCSEVENY, T.M.; BYERS, J.N. Assessment of annual carbon exchange in a water–stressed *Pinus Radiata* plantation: an analysis based on eddy covariance measurements and an integrated biophysical model. **Global Change Biology**, Oxford, v.5, p. 531– 545. 1998.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon press. 506p, 1970.
- BARRETT DJ, HATTON TJ, ASH JE, BALL MC Evaluation of the heat pulse velocity technique for measurement of sap flow in rainforest and eucalypt forest species of south-eastern Australia. **Plant Cell Environ**, n.18, p.463-469. 1995.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Relação solo-eucalipto. **Folha de Viçosa**, Viçosa, n. 12, p.127-181,1990.
- BECKER, P. Limitations of a compensation heat pulse velocity system at low sap flow: implications for measurements at night and in shaded trees. **Tree Physiol**. N.18:p177–184, 1998.
- BECKER, P., W.R.N. EDWARDS. Corrected heat capacity of wood for sap flow calculations. **Tree Physiol**. n. 19, p. 767–768, 1999.
- BENECKE U. Photosynthesis and transpiration of *Pinus radiata* D. Don under natural conditions in a forest stand. **Oecologia**, n. 44, p. 192–198. 1980.

- BENNETT, K.J, ROOK, D.A. Stomatal and mesophyll resistances in two clones of *Pinus radiata* D. Don known to differ in transpiration and survival rate. **Aust J Plant Physiol** n. 5, p. 231–238. 1978.
- BENSON, D.; MCDOUGALL, L. "Ecology of Sydney plant species: Dicotyledon family Myrtaceae". **Cunninghamia**, Sydney. v.5 n. 4, p. 926. 1998.
- BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; MCDONALD, MAURICE, W. **Forest trees of Australia**. Collingwood, Victoria: CSIRO Publishing. p.84.ISBN 0-643-06969-0. 2006.
- BOND, B.J. Age-related changes in photosynthesis of woody plants. **Trends Plant Sci.** n. 5, p. 349–53. 2000.
- BRODRIBB, T.J.; MCADAM, S.A.M.; JORDAN, G.J.; FIELD, T.S. Evolution of stomatal responsiveness to CO<sub>2</sub> and optimization of water–use efficiency among land plants. **New Phytologist**, Blackwell UK, n.183 p. 839–847. 2009.
- BURGESS, S.S.O., M.A. ADAMS, T.M. BLEBY. Measurement of sap flow in roots of woody plants: a commentary. **Tree Physiol.** n. 20. P. 909–913. 2000.
- BURLEY, J. Review of variation in slash pine (*P. elliotii* Engelm.) and loblolly pine (*P.taeda*L.) in relation I provenance research. **Community forest review** Raleigh, North Carolina, n. 45, p. 322-338. 1966.
- CODESIDO V, ZAS R, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J. Juvenile–mature genetic correlations in *Pinus radiata* D. Don. under different nutrient x water regimes in Spain. **Eur J Forest Res.** n. 131, p. 297–308. 2012.
- COWAN, I.R.; FARQUHAR, G.D. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment. In: Jennings, D.H. (ed.), *Integration of activity in the higher plants*, pp. 471–505. Cambridge University Press, Cambridge. Cown, D.J.; McConchie, D.L. *Radiata Pine wood properties survey (1997–1982)*. FRI Bulletin No 50. **Forest Research Institute**, New Zealand Forest Service. 1983.
- CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 1992. p. 85-97.
- CURTIS, P. S.; WANG, W. A meta-analysis of elevated CO<sub>2</sub> effects on woody plant mass, form and physiology, **Oecologia**, Berlin, N.113, p. 299-313. 1998.
- CURTIS, P.S. A meta–analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees grown under elevated carbon dioxide. **Plant, Cell and Environment**, Logan UT, n.19, p. 127–137. 1996.
- DECKER, W. L. Probability of drought for humid and sub humid regions. **Crop reactions to water and temperature stress in humid temperate climates**. Boulder Colorado Westwiew press. p. 11-19. 1983.

DELZON S., SARTORE M., BURLETT R., DEWAR R.; LOUSTAU D. Hydraulic responses to height growth in maritime pine trees. *Plant, Cell and Environment*. n. 27, p. 1077–1087. 2004.

DENMEAD, O.T., RAUPACH, M. R.. Methods for measuring atmospheric gas transport in agricultural and forest systems *Agricultural Ecosystem Effect on Trace Gases and Global Climatic Change*. ASA Special Publication no. 55, pp. 19-43. 1993.

DEWAR, R.C. A simple model of light and water use evaluated for *Pinus radiata*. *Tree Physiol.*, n. 17, pp. 259-265. 1997.

DITMAROVÁ L. KURJAK D. PALMROTH S. KMET' J. STŘELCOVÁ K. Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. *Tree Physiol.* n. 30, p. 205–213. 2010.

DOSEN, R. C.; PETERSON, S. F.; PRONIN, D. T. **Effect of ground water on the growth of red pine and white pine in central Wisconsin**. Wisconsin Academy Of Science, Arts And Letters Annual Report, Madison, WI, p. 79-82, 1950.

DUNIN, F.X., GREENWOOD, E.A.N. Evaluation of the ventilated chamber for measuring evaporation from a forest. *Hydrol. Proc.* n.1, p. 47--62. 1986.

DYE, P. J. Estimating water use by *Eucalyptus grandis* with the Penman-Monteith equation," in **Proceedings of the Vancouver Symposium of Forest Hydrology and Watershed Management**, R. H. Swanson, P. Y. Bernier, and P. D. Woodard, Eds., pp. 329–337, IAHS Publication, Oxfordshire, UK. 1987.

EAMUS, D. The interaction of rising CO<sub>2</sub> and temperatures interactions with wather use efficiency. *Plant cel environment*, Logan UT, n. 13, p. 329-337, 1991.

EDWARDS, W.R.N. Precision weighing lysimetry for trees, using a simplified tared-balance design. *Tree Physiol.* n. 1, p. 127--144. 1986.

ELESBÃO, L. E. G. **Performance do *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus Taeda* L. Em áreas arenizadas e degradadas no oeste do Rio Grande do Sul**. 2011. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

EL-JUHANY, L.; AREF, I. M.; AL-HARBY, A. A. Effects of water deficit on the growth and physiological performance of *Conocarpus erectus* and *Eucalyptus microtheca* trees under field conditions. In: The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum. **Annals The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum**, Riyadh, 2008.

ESPINOZA, D. N., AND J. C. SANTAMARINA. Water-CO<sub>2</sub>-mineral systems: Interfacial tension, contact angle, and diffusion—Implications to CO<sub>2</sub> geological storage, *Water Resour. Res.*, n.46. 2010

FARQUHAR, G.D.; VON C. Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In: Lange, O.L.; Nobel, P.S.; Osmond, C.B.; Ziegler, H. (eds.), *Physiological Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation*, **Encyclopedia of Plant Physiology**, New Series Vol. 12B. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, pp. 549–588. 1982.

FRITSCHEN, L.J., COX, L, KINERSON, R. A 28-meter Douglas-fir in a weighing lysimeter. **For. Sci.** n. 19, p. 256--261. 1973.

GATTO, A. **Manejo do solo em áreas de reforma de floresta de eucalipto e seus reflexos na produtividade**. 2000. 62 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

GIFFORD, H. H., WHITEHEAD, D., THOMAS, R. S., AND JACKSON, D. S. Design of a new weighing lysimeter for measuring water use by individual trees. **New Zealand Journal of Forestry Science**, n. 12, p. 448-456. 1982.

GOLDSTEIN, G., J.L. ANDRADE, F.C. MEINZER, N.M. HOLBROOK, J. CAVELIER, P. JACKSON; A. CELIS. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. **Plant Cell Environ.** n. 21:p. 397–406. 1998.

GONÇALVES, J. L. M. **Interações genótipo-ambiente e relação entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no estado de São Paulo**.1990. 135f. Tese (Doutorado em engenharia florestal ESALQ-USP) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

GRANIER, A., P. BIRON, N. BRÉDA, J.-Y. PONTAILLER AND B. SAUGIER. Transpiration of trees and forest stands: short and longterm monitor. **Can. J. Bot.** n. 33, p. 202--221. 1955. 1996.

GREENWOOD, E.A.N., J.D. BERESFORD. Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated-chamber technique. I. Comparative transpiration from juvenile *Eucalyptus* above saline ground-water seeps. **J. Hydrol.** n. 42,p. 369—382. 1979.

HATTON, T.J., R.A. VERTESSY. Transpiration of plantation *Pinus radiata* estimated by the heat pulse method and the Bowen ratio. **Hydrol. Proc.** n. 4, p. 289—298. 1990.

HINCKLEY, T.M., J.R. BROOKS, J. ÈERMÁK, R. CEULMANS, J. KUÈERA, F.C. MEINZER, D.A. ROBERTS. Water flux in a hybrid poplar stand. **Tree Physiol.** n. 14, p. 1005—1018. 1994.

HÖLTTÄ T., VESALA T., SEVANTO S., PERÄMÄKI M., AND NIKINMAA E. Modeling xylem and phloem water flows in trees according to cohesion theory and Münch hypothesis. **Trees.** n. 20, p. 67-78. 2006.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology**, Palo alto, CA, n. 24, p.519–570. 1973.

HYVONEN, R. The likely impact of elevated [CO<sub>2</sub>], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review. **New Phytol.** n. 173, p. 463–480. 2007.

I.R. CALDER, I.R. WRIGHT, D. MURDIYARSO. A study of evaporation from tropical rain forest — West Java. **Journal of Hydrology**, n.89 pp. 13-31. 1986.

JARVIS, P. G., MCNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Adv. Ecol. Res.** n. 15, p. 1-49. 1986.

JONES, H. G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**. n. 49, p. 387-398. 1998.

JOSE, S., MERRITT, S., RAMSEY, C.L. Growth, nutrition, photosynthesis and transpiration responses of longleaf pine seedlings to light, water and nitrogen. **Forest Ecology and Management**. n. 180, p. 335–344. 2003.

KARNOSKY, D.F. Impacts of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on forest trees and forest ecosystems: knowledge gaps. **Environment International**, London, n. 29, p.161–169. 2003.

KIRSCHBAUM, M. U. F., B. E. MEDLYN, D. A. KING, S. PONGRACIC, D. MURTY, H. KEITH, P. K. KHANNA, P. SNOWDON, R. J. RAISON. Modelling forest-growth response to increasing CO<sub>2</sub> concentration in relation to various factors affecting nutrient supply. **Global Change Biology** n.4, p. 23–41. 1998.

KIRSCHBAUM, M.U.F. The effect of climate change on forest growth in Australia. In: Howden, S.M.; Gorman, J.T. (eds.) Impacts of global change on Australian temperate forests. **CSIRO Working Paper Series**, Sydney, p. 62–68. 1999.

KIRSCHBAUM, M.U.F., WATT, M.S., TAIT, A., AND AUSSEIL, A.-G.E. Future wood productivity of *Pinus radiata* in New Zealand under expected climatic changes. **Global Change Biol.** n. 18. v. 4, p. 1342–1356. 2011.

KLINE, J.R., J.R. MARTIN, C.F. JORDAN, J.J. KORANDA. Measurement of transpiration in tropical trees with tritiated water. **Ecology**. n. 5, p.1068--1073. 1970.

KNIGHT, D.H., T.J. FAHEY, S.W. RUNNING, A.T. HARRISON, L.L. WALLACE.. Transpiration from 100-year-old lodgepole pine forests estimated with whole-tree potometers. **Ecology**. n. 62, p. 717--726. 1981.

KOLSTRÖM, M., M. LINDNER, T. VILÉN, M. MAROSCHEK, R. SEIDL, M. J. LEXER, S. NETHERER, A. KREMER, S. DELZON, A. BARBATI, M. MARCHETTI., P. CORONA. Reviewing the science and implementation of climate change adaptation measures in European forestry. **Forests**. n. 2, p. 961–982. 2011.

KÖRNER CH, DIEMER M, SCHÄPPI B, NIKLAUS P, ARNONE J. The responses of alpine grassland to four seasons of CO<sub>2</sub> enrichment: a synthesis. **Acta Oecologica**. n. 18, p. 165–175. 1997.

KÖRNER, C.; MORGAN, J.; NORBY, R. CO<sub>2</sub> fertilization: when, where, how much? In: CANADELL, J.G.; PATAKI, D.E.; PITELKA, L.F., (Eds). **Terrestrial ecosystems in a changing world**. Springer Verlag Berlin/Heidelberg, .2007, 247p.

KOZLOWSKI, T. T. **Growth and development of Trees**. New York, Academic Press, v. 1, 1971. 443p.

KOZLOWSKI, T. T. Light and water in relation to growth and competition of Piedmont forest trees. **Ecology monographs** Washington DC, v. 19, p. 207-231. 1949.

KOZLOWSKI, T. T. **Tree growth**. New York, The Ronald Press, 1962. 441 p.

KRAMER, P. J. Amount and duration of growth of various species os tree seedlings. **Plant physiology**, Rockville MD, n. 18, p. 239-251, 1943.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. Second edition. Springer, New York, 2008 610 p

LANNER, R. M. The phenology and growth habits of pines in Hawaii. US forest service. **Research paper**, Honolulu, n. 29, 1966.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.

LEAF, L. A.; LEONARD, R. E.; BERGLUND, J. V.; ESCHNER, A. R.; COCHRAN, P. H.; HART JR., J. B.; MARION, M. M.; CUNNINGHAM, R. A. Growth of *Pinus resinosa* plantations subjected to irrigation-fertilization treatments.in: **Proceedings of the third North American forest soil conference**. 1968. Raleigh, North Carolina. p. 97-118.

LIETH, H. Primary production: Terrestrial ecosystems. **Human Ecology**, New York n. 1, 303–332, 1973.

LINDROTH, A., CIENCIALA, E. Measuring water use efficiency of eucalypt trees with chambers and micrometeorological techniques. **J. Hydrol**. n. 169, p. 281—283. 1995.

LITTLE, E. L. Jr. **Atlas of United States trees**. USGS .1971.

LOHREY R.E., KOSSUTH S.V. *Pinus elliottii* (Engelm.) Silvics of North America, Conifers, **Agriculture Handbook** n. 654, Vol. 1, United States Forest Service, pp. 338-347. 1990.

LOLA-DACOSTA, A. C. L. Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. **New Phytol**. n. 187, p. 579–591. 2010.

LOUSTAU, D., P. BERBIGIER, P. ROUMAGNAC, C. ARRUDA-PACHECO, J.S. DAVID, M.I. FERREIRA, J.S. PEREIRA, R. TAVARES. Transpiration of a 64-year-old maritime pine stand in Portugal. Seasonal course of water flux through maritime pine. **Oecologia**. n. 107, p. 33-- 42. 1996.

MALHI, Y., BAKER, T.R., PHILLIPS, O.L., ALMEIDA, S., ALVAREZ, E., ARROYO, L., CHAVE, J., CZIMCZIK, C.I., DI FIORE, A., HIGUCHI, N., KILLEEN, T.J., LAURANCE, S.G., LAURANCE, W.F., LEWIS, S.L., MONTOYA, L.M.M., MONTEAGUDO, A., NEILL, D.A., NUNEZ-VARGAS, P., PATIÑO, S., PITMAN, N.C.A., QUESADA, C.A., SILVA, J.N.M., LEZAMA, A.T., VASQUES-MARTINEZ, R., TERBORGH, J., VINCETI, B., LLOYD, J. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. **Glob Change Biol** n. 10, p. 563–591. 2004

MANZONI S, VICO G, PORPORATO A, KATUL G. Biological constraints on water transport in the soil–plant–atmosphere system. **Advances in Water Resources** n. 51: p. 292–304. 2013.

MARSHALL, D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiol.** n. 33, p. 385–396, 1958.

MARTÍNEZ, T., J. VARGAS, A. MUÑOZ, J. LÓPEZ. Respuesta al déficit hídrico em *Pinus leiophylla*: consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. **Agrociencia** n. 36, p. 365-376. 2002.

MATAMALA R., SCHLESINGER, W.H. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on fine root production and activity in an intact temperate forest ecosystem **Global Change Biol.**, n. 6, pp. 967-979. 2000.

MAY L.H, MILTHORPE, F. L. **Field crops abstracts**. N.15, P 93-98. 1962

MCDOWELL, R.W., SHARPLEY, A.N. Phosphorus transport in overland flow in response to position of manure application. **Journal of Environmental Quality**, n.31, p. 217–227. 2002.

MCGREGOR, W.H.D., AND N.B. GOEBEL. Effectiveness of nitrogen fertilizers and mulch for the amelioration of severe planting sites. p. 65-72. In C.H. Youngberg and C.B. Davey (ed.) **Proc. 3rd North Am. For. Soils Conf.**, Oregon State Univ. Press, Corvallis. 1968.

MCMURTRIE, R.E.; ROOK, D.A.; KELLIHER, F.M. Modelling the yield of *Pinus Radiata* on a site limited by water and nitrogen. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam n.30, p. 381– 413, 1990.

MEASON, D. F.; MASON, W.L. Evaluating the deployment of alternative species in planted conifer forests as a means of adaptation to climate change—case studies in New Zealand and Scotland. **Annals of Forest Science**, Rotorua, n. 71, v.2. 2014.

MEDLYN, B. E.; BARTON, C. V.; BROADMEADOW, M.; CEULEMANS, R.; DEANGELIS, P.; FORSTREUTER, M.; FREEMAN, M.; JACKSON, S. B.; KELLOMÄKI, S.; LAITAT, E.; REY, A.; ROBERTZ, P.; SIGURDSSON, B. D.; STRASSEMAYER, J.; WANG, K.; CURTIS, P. S.; JARVIS, P. G. Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to elevated CO<sub>2</sub> concentrations, a synthesis. **New Phytologist**, Blackwell, n. 149, p. 234–240, 2001.

MEINZER F. C, GOLDSTEIN G, JACKSON P, HOLBROOK N. M, GUTIERREZ M. V, CAVELIER J. Environmental and physiological regulation of transpiration in tropical forest gap species: the influence of boundary layer and hydraulic conductance properties. **Oecologia**, n. 101, p. 514-522. 1995.

MENCUCCINI M, BONOSI L. Leaf/sapwood area ratios in Scots pine show acclimation across Europe. **Canadian Journal of Forest Research** n.31, p. 442–456. 2001.

MOLINA, R.; TRAPPE, J. M. mycorrhiza Management in bareroot Nurseries. In: Forestry Nursery Manual: Production of bareroot Seedlings. Springer Amsterdam, 254p.1984.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto CA, n. 17, p. 67-88, 1986.

NATH, D. C. Patterns of tree growth in relation to environmental variability in the tropical dry deciduous forest at Mudumalai, southern India. **Journal of Biosciences**, Bangalore, n. 31, p. 651-669, 2006.

NOBEL, P. S. **Introduction to biophysical plant physiology**. San Francisco: W. H. Freeman, 1974. 488p.

NORBY, R. J.; DELUCIA, E. H.; GIELEN, B.; CALFAPIETRA, C.; GIARDINA, C.P.; KING, J. S.; LEDFORD, J.; MCCARTHY, H. R.; MOORE, D. J. P.; CEULEMANS, R.; DE ANGELIS, P.; FINZI, A. C.; KARNOSKY, D. F.; KUBISKE, M. E.; LUKAC, M.; PREGITZER, K. S.; SCARASCIA–MUGNOZZA, G. E.; SCHLESINGER, W. H.; OREN, R. Forest response to elevated CO<sub>2</sub> is conserved across a broad range of productivity. **Proceedings of the National Academy of Science**. Washington, n.102, p. 18052–18056. 2005.

NORBY, R. J.; WARREN, J. M.; IVERSEN, C, M.; MEDLYN, B. E.; MCMURTRIE, R, E. Net primary productivity of a CO<sub>2</sub>-enriched deciduous forest and the implications for carbon storage. **Ecology Applications**, New York, n.12, p. 1261–1266. 2002.

NORBY, R.J.; LIU, Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO<sub>2</sub> and global warming in a multi-factor world. **New Phytologist**. Blackwell n. 162, p. 281–293. 2004.

NOWAK, R.S.; ELLSWORTH, D.S.; SMITH, S.D. Functional responses of plants to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> – do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? **New Phytologist**, Blackwell, n. 162, p. 253–280. 2004.

ÖGREN, E.; EVANS, J.R. Photoinhibition of photosynthesis in situ in six species of Eucalyptus. **Australian Journal of Plant Physiology**. Sydney, n.19, p. 223–232. 1992.

PARKER, J. The cut-leaf method and estimations of diurnal trends in transpiration from different heights and sides of an oak and a pine. **Bot. Gaz.** n. 119, p.93–101. 1957.



PEÑUELAS, J.; CANADELL, J. G.; OGAYA, R. Increased water-use efficiency during the 20th century did not translate into enhanced tree growth. **Global Ecology and Biogeography**, Blackwell, n. 20, v. 4, p. 597–608. 2011.

PFAUTSCH, S., RENARD, J., TJOELKER, M.G., SALIH, A. Phloem as capacitor: radial transfer of water into xylem of tree stems occurs via symplastic transport in ray parenchyma. **Plant Physiol.** n. 167, p. 963–971. 2015.

PHILLIPS, N., R. OREN, R. ZIMMERMANN. Radial patterns of xylem sap flow in non-diffuse- and ring-porous tree species. **Plant Cell Environ.** n. 19, p. 983–990. 1996.

PIAO, S.; CIAIS, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; PEYLIN, P.; REICHSTEIN, M.; LUYSSAERT, S.; MARGOLIS, H.; FANG, J.; BARR, A.; CHEN, A.; GRELLER, A.; HOLLINGER, D.Y.; LAUILA, T.; LINDROTH, A.; RICHARDSON, A.D.; VESALA, T. Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. **Nature**, London, n. 451 p.49–53. 2008

PINKARD, L.; BATTAGLIA, M.; HOWDEN, M.; BRUCE, J.; POTTER, K. **Adaptation to climate change in Australia's plantation industry**. CSIRO, 81 p. 2010.

PREGITZER, K. S.; KING, J. S.; BURTON, A. J.; BROWN, S.E.; Responses of tree fine roots to temperature. **New Phytologist**, Blackwell, n. 147, p. 105–115, 2000.

PRITCHARD, J. K.; STEPHENS, P.; DONNELLY, P. Inference of population structure using multilocus genotype data. **Genetics**, New York, n. 155, p. 945–959, 2001.

PRITCHETT, W, L.; SMITH, W. H. Fertilizing slash pine on sandy soils of the lower coastal plain. **Proceedings of the third North American forest soil conference**. Raleigh, North Carolina EUA, p. 19-42. 1968.

PROE, M. F.; DUTCH, J.; MILLER, H. G.; SUTHERLAND, J. Long-term partitioning of biomass and nitrogen following application of nitrogen fertilizer to Corsican pine. **Canadian journal of forestry research**, Ottawa ON, n. 22, p. 82-87. 1992.

RASTETTER, E.B.; ÅGREN, G.I.; SHAVER, G.R. Responses of N-limited ecosystems to increased CO<sub>2</sub>: a balanced-nutrition, coupled-element-cycles model. **Ecological Applications**, New York, n. 7, p. 444–460. 1997.

REISSMANN, C. B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba. IPEF, 2005. p. 135-166.

RICHARDSON, B.; WHITEHEAD, D.; MCCRACKEN, I.J. Root-zone water storage and growth of *Pinus Radiata* in the presence of a broom understorey. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, n. 32, p. 208–220. 2002.

ROBERTS, J. The use of the “tree cutting” technique in the study of the water relations of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. **J. Exp. Bot.** n. 29, p. 465--471. 1978.

ROBERTS, J. The use of tree-cutting techniques in the study of the water relations of mature *Pinus sylvestris* L. **J. Exp. Bot.** n. 28, p. 751-- 767. 1977.

ROBERTS, J., O.M.R. CABRAL, G. FISCH, L.C.B. MOLION, C.J. MOORE, W.J. SHUTTLEWORTH. Transpiration from an Amazonian rainforest calculated from stomatal conductance measurements. **Agric. For. Meteorol.** n. 65, p. 175-196. 1993.

RODRIGUEZ-GAMIR, J., PRIMO-MILLO, E., FORNER-GINER, M. A. An Integrated View of Whole-Tree Hydraulic Architecture. Does Stomatal or Hydraulic Conductance Determine Whole Tree Transpiration? **Plos One.** n. 11 p. 19-29. 2017.

RUSSO, S. E. et al. Soil-related performance variation and distributions of tree species in a Bornean rain forest. **Journal of Ecology**, London, n. 93, p. 879-889, 2005.

RUTTER, A.J. Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. 4. Direct observations on the rates of transpiration, evaporation of intercepted water, and evaporation from the soil surface. **J. Ecol.** n. 3, p. 393--405. 1966.

RYAN, M. G.; YODER, B. J. Hydraulic limits to tree height and tree growth. **Bioscience**, n. 47, p. 235–242. 1997.

RYAN, M.G. Tree responses to drought. **Tree Physiology**, London, n.31, p. 237–239. 2011.

RYAN, M.G.; PHILLIPS, N.; BOND, B.J. The hydraulic limitation hypothesis revisited. **Plant, Cell and Environment**, n.29, p. 367-381. 2006.

RYAN. M.G. Tree responses to drought. **Tree Physiol.** n.31, p. :237–39. 2011

SCHILLER, G. AND Y. COHEN. Water regime of a pine forest under a Mediterranean climate. **Agric. For. Meteorol.** v.74, p. 181--193. 1995.

SCHNEIDER, K., HUISMAN, J.A. BREUER L., ZHAO, Y., FREDE, H.-G. Temporal stability of soil moisture in various semi-arid steppe ecosystems and its application in remote sensing. **Journal of Hydrology**, n.359, pp. 16-29. 2008.

SCHULTZ, R. P. **Loblolly pine**: the ecology and culture of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.). New Orleans: USDA, Forest Service, Southern Experiment Station, 1997. 493p.

SCHULZE, E.D.; HANTSCH, R.; WERK, K. S.; HORN, R. Water relations of two Norway spruce stands at different stages of decline. In: SCHULZE, E. D.; LANGE, O. L.; OREN, R. (eds.). **Ecological Studies** n. 77, 341–351. Springer, New York. 1987.

SEVANTO S., MCDOWELL N.G., DICKMAN L.T., PANGLE R., POCKMAN W.T. How do trees die? A test of the hydraulic failure and carbon starvation hypotheses. **Plant, Cell & Environment** n. 37, p. 153-161. 2014.

SEVANTO S., VESALA T., PERÄMÄKI M., AND NIKINMAA E. Sugar transport together with environmental conditions controls time lags between xylem and stem diameter changes. **Plant, Cell & Environment** n. 26, p. 1257-1265. 2003.

SHI, Z.; GAO. J.; YANG X.; JIA, Z.; SHANG, J.; FENG C.; LÜ, S. Response of Mongolian pine radial growth to climate in Hulunbuir Sand Land, Inner Mongolia, China. **Journal of Food, Agriculture e Environment**. Helsinki: n.10 v. 2, p. 884-890. 2012.

SLEE, A.V.; CONNORS, J.; BROOKER, M. I. H.; DUFFY, S. M.; WEST, J. G. **Eucalypts of Australia**. Third Edition CD ROM Centre for Plant Biodiversity Research. CSIRO Publishing, Melbourne. 2006.

SMITH, D.M., ALLEN, S.J. Measurement of sap flow in plant stems **J. Exp. Bot**, n.47, p. 1833-1844. 1996.

SNOWDON, P., WARING, H.D. Effects of irrigation and artificial drought on the growth and health of *Pinus radiata* near Canberra ACT **Aust. For.**, n. 54 p. 174-186. 1991.

SOKOLOWSKA K ZAGORSKA-MAREK B. Symplasmic, long-distance transport in xylem and cambial regions in branches of *Acer pseudoplatanus* (Aceraceae) and *Populus tremula* × *P. tremuloides* (Salicaceae). **American Journal of Botany** n. 99, pp. 1745–1755. 2012.

SPERRY, J. S. Hydraulic constraints on plant gas exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.10, p. 13-23. 2000.

SWANSON, R.H. Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. **Agric. For. Meteorol.** n. 72, p.113–132. 1994.

SWANSON, R.H., WHITFIELD, W A. A numerical analysis of heat pulse velocity theory and practice. **J Exp Bot** n. 32, p. 221-239. 1981.

TESKEY, R.O., SHERIFF, D.W. Water use by *Pinus radiata* trees in a plantation. **Tree Physiol.** n. 16, p. 273—279. 1996.

TROVATI, R. **Resposta da densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa* aos fatores climáticos**. 1982. 107f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

TURNBULL, M. H.; WHITEHEAD, D.; TISSUE, D. T.; SCHUSTER, W.; BROWN, K. J.; GRIFFIN, K. L. The response of leaf respiration to temperature and leaf characteristics in three deciduous tree species differs at sites of contrasting soil moisture. **Tree Physiology**, London n.21 p. 21:571–578, 2001.

TYREE M. Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. **Trees** n. 17, p. 95–100. 2003.

URBAN, O. Physiological impacts of elevated CO<sub>2</sub> concentration ranging from molecular to whole plant responses. **Photosynthetica**, London, n. 41, p. 9–20. 2003.

VAN MANTGEM, P.J., STEPHENSON, N. L., BYRNE, J.C., DANIELS, L. D., FRANKLIN, J. F., FULÉ, P.Z., HARMON, M. E., LARSON, A. J., SMITH, J. M., TAYLOR, A. H., VEBLEN, T.T. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States **Science**, n. 323, p. 521-524. 2009.

WANG, W.; LIU, X.; AN, W.; XU, G.; ZENG, Z. Increased intrinsic water-use efficiency during a period with persistent decreased tree radial growth in northwestern China: Causes and implications. **Forest Ecology and Management**, London, n. 275, v.1, p. 14–22. 2012.

WARING, R.H., J.M. ROBERTS. Estimating water flux through stems of Scots pine with tritiated water and phosphorus-32. **J. Exp. Bot.** n. 30, p.59--471. 1979.

WAY, D. A.; OREN, R. Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. **Tree Physiol**, London, n. 30, p. 669–688. 2010.

WHITEHEAD, D. An ecological overview of plantation forestry. **New Zealand. J. For.** n. 26, v.1, p. 14–19. 1981.

WU, F.; BAO, W.; LI, F.; WU, N. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, n. 63. v. 3. p. 248-255, 2008.

WULLSCHLEGER, S. D.; TSCHAPLINSKI, T. J.; NORBY, R. J. Plant water relations at elevated CO<sub>2</sub> – implications for water-limited environments. **Plant, Cell e Environment**, New York, n. 25, 319–331. 2002.

XUE, J., CLINTON, P., DAVIS, M.R., SIDDIQUI, T., BEETS, P., LECKIE, A.C.. Genotypic variation in foliar nutrient concentrations,  $\delta^{13}\text{C}$ , and chlorophyll fluorescence in relation to tree growth of radiata pine clones in a serpentine soil. **Journal of Plant Nutrient and Soil Science** n. 176, p. 724-733. 2013.

ZHANG, J. W.; FENG Z.; CREGG, B. M.; SCHUMANN C. M. Carbon isotopic composition, gas exchange, and growth of three populations of ponderosa pine differing in drought tolerance. **Tree physiol**, London, n. 17 v. 7, p. 461-466. 1997.

2. CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE *PINUS ELLIOTTII*  
ENGELM. E *EUCALYPTUS SALIGNA* SM. EM DIFERENTES  
REGIMES HÍDRICOS

## RESUMO

O uso de água pelas árvores tem sido e continua como um fator de preocupação e discussão no meio acadêmico e na sociedade. Somando os efeitos de eventos climáticos erráticos e o contexto de mudança climática, a importância desta questão continua merecendo a devida atenção. Espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* são as amplamente plantadas no país, encontrando-se muitas vezes relegadas a solos de baixa qualidade e até degradados. Na década de 2000 o Rio Grande do Sul conheceu uma significativa expansão de suas áreas de florestas plantadas, entre elas os solos arenosos da região da campanha gaúcha. A baixa fertilidade e retenção de água nestes ambientes ampliam os efeitos na produtividade em momentos de déficit hídrico. Este estudo buscou quantificar e avaliar o uso de água por *P. elliotii* e *E. saligna* e diferentes épocas de déficit hídrico assim como seu eventual impacto no crescimento e incrementos periódicos. O experimento foi conduzido em vasos de 20 litros com 5 repetições para cada espécie em um período de seca de 45 dias iniciando em setembro de 2014 e se repetindo até maio de 2015. Totalizando seis períodos de seca e a testemunha. Durante o período de seca as plantas foram mantidas com no máximo 20% da capacidade de retenção de água do vaso, sendo avaliado por pesagem com dinamômetro. Medições quinzenais de altura total e de diâmetro do colo, assim como o acompanhamento das variáveis climáticas também foram obtidas. Análise de covariância do crescimento foi significativa, porém quando realizado para o incremento apresenta melhor caracterização da seca sobre o mesmo. O teste t de comparação de médias demonstrou que consumo de água diferente entre os períodos e entre espécies. O incremento em diâmetro apresentou maior variação em reação a seca tendo efeito mais significativo nos meses de verão e outono para *E. saligna* e *P. elliotii*, respectivamente. Foi observada uma relação contrastante entre o déficit de pressão de vapor e a perda de incremento das espécies assim como na influência do consumo hídrico.

**Palavras chave: Déficit Hídrico; Incremento; Seca.**

## ABSTRACT

The use of water by trees has been and continues as a factor of concern and discussion in academic circles and society in general. Adding to this, the effects of erratic weather events and the context of climate change, the importance of this issue continues to deserve due attention. Species of the genus *Pinus* and *Eucalyptus* are widely planted in Brazil, often being relegated to low quality and even degraded soils. In the 2000s Rio Grande do Sul state experienced a significant expansion of its planted forest areas, among them the sandy soils of the campaign' region. The low fertility and water retention in these environments increase the effects on productivity at times of water deficit. This study sought to quantify and evaluate water use by *P. elliotii* and *E. saligna* at different times of water deficit as well as its possible impact on growth and periodic increment. The experiment was conducted in 20-liter pots with 5 replicates for each species in a drought period of 45 days beginning September 2014 and repeating until May 2015. Totalling six drought periods and the control. During the drought simulation the plants were maintained with a maximum of 20% of the water retention capacity of the pot, being evaluated by weighing. Fortnightly measurements of total height and basal diameter as well as the monitoring of climatic variables were also obtained. Analysis of covariance for growth was significant, but when performed for the increment it presents a better characterization of the drought effects. The t test of means showed different water consumption between periods and between species. The increment in diameter showed greater variation in reaction to drought, having a more significant effect in the summer and fall months for *E. saligna* and *P. elliotii*, respectively. A contrasting relationship was observed between the vapor pressure deficit and the loss of increment of the species as well as the influence of the water consumption.

**Keywords: Water Deficit; Increment; Drought.**

### 3.1 INTRODUÇÃO

A recente expansão da fronteira florestal na região da campanha do Rio Grande do Sul abre perspectiva de plantio de florestas em áreas de baixa fertilidade do solo. No Brasil, no ano de 2009 foi totalizada uma área de 4,516 milhões de hectares de florestas plantadas do gênero *Eucalyptus*, e em sequência, o gênero *Pinus* de cerca de 1,795 milhões de hectares em nove estados (ABRAF, 2010). Já em 2014 a área de *Eucalyptus* cresceu expressivamente passando a 5,56 milhões de hectares, Contrariamente o gênero *Pinus* teve redução em sua área plantada, totalizando 1,59 milhão de hectares (ABRAF, 2015). Isto deve-se a obtenção de florestas de *Eucalyptus* de melhor desempenho em regiões frias principalmente para indústria do papel e celulose.

Mesmo com essa redução de área plantada, florestas do gênero *Pinus* possuem vantagens competitivas ligadas à tecnologia de produção, tendo técnicas de processamento industrial, mercado consumidor nacional e internacional bem estabelecidos e elevada produtividade quando bem adaptadas as condições climáticas locais. As previsões indicam a manutenção da área plantada para os próximos anos. Entretanto, a rusticidade e adaptabilidade desta espécie a condições de solos degradados, ambientes desfavoráveis, como altas temperaturas e seca, aumenta assim a possibilidade de seu uso em recuperação de áreas problemáticas apresentando grande potencial em locais de onde sua silvicultura não é tradicional.

A região sudoeste do Rio Grande do Sul, na fronteira com a Argentina e o Uruguai, apresenta extensa faixa de solos arenosos suscetíveis à erosão e com locais severamente degradados. Esses solos apresentam reduzido conteúdo de argila e de matéria orgânica, baixos níveis de fertilidade e baixo grau de agregação. Essas características estão relacionadas ao material geológico e aos processos de evolução das superfícies geomórficas e de retrabalhamento de sedimentos, os quais apresentam potencial para a atividade florestal (KLAMT; SCHNEIDER 1995).

O bioma pampa, de pradarias mistas que se encontram sobre essas formações, situadas em ambiente subtropical muito úmido, constitui-se em um dos tecidos geocológicos mais frágeis do País. Além da fragilidade devida à litologia, existem fatores da estrutura superficial da paisagem que aumentam o risco dos processos de erosão eólica em setores específicos do espaço regional, justamente onde podem surgir os núcleos de arenização (AB'SABER, 1995). Estas condições



de degradação também podem ser aceleradas e criadas por ações antrópicas, muitas vezes decorrente de práticas agropecuárias inadequadas à fragilidade destas formações.

A implantação de florestas nestas condições é uma tarefa delicada devido às características do solo de baixa fertilidade, pouca capacidade de retenção de água e grande amplitude térmica. Porém, experimentos já demonstraram a resistência de *P. elliotii* a déficits hídricos prolongados e tolerância a restrição nutricional, quando adequadamente implantados (BELLÉ, 2014).

O uso de espécies arbóreas e arbustivas é vista como a mais efetiva no combate e recuperação de solos degradados e até contra avanço de dunas na desertificação. Seu caráter perene, porte e adaptação ao meio, tornam a vegetação arbóreo-arbustiva um catalisador na reconstituição do estabelecimento do fluxo biogeoquímico da água e minerais e também na fixação de carbono orgânico no solo.

O cultivo de *Pinus* em solos degradados tem se mostrado promissor a recuperação e reabilitação dos mesmos, devido ao seu desenvolvimento a pleno sol, tolerância a solos pobres, sistema radicular vigoroso, deposição de uma camada de serrapilheira de lenta decomposição. Entretanto, um dos maiores obstáculos a implantação é o déficit hídrico apresentado no início do cultivo, mesmo sendo o gênero *Pinus* de grande rusticidade.

Cada vez mais se faz perceptível a atuação de mudanças erráticas nos padrões climáticos, onde precipitação e temperatura mostram-se como fatores de grande interação com o crescimento vegetal. Fenômenos como *El niño* e *La niña* produzem alteração no regime de chuvas e temperaturas na região do sul do Brasil, com maior e menor incidência de chuvas, respectivamente.

O entendimento de como a variação temporal da seca, caracterizado neste ensaio pela disponibilidade de água no solo, afeta o incremento e como o crescimento pode ser modificado, adicionalmente a quantificação do uso hídrico em nível de árvore individual respalda o manejo sustentável em bacias hidrográficas com limitados aportes pluviométricos. Desta maneira obter dados para manter um balanço hidrológico com o mínimo de alteração, também ajudará na quantificação de possíveis alterações na produção florestal nestas condições. Isto, em um contexto

de mudança climática, auxiliará no manejo florestal e em futuras pesquisas buscando a adequação da produção.

## 3.2 OBJETIVOS

### 3.2.1 Objetivo geral

- O objetivo do presente trabalho visa identificar e quantificar mudanças nos incrementos periódicos e no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. e *Eucalyptus saligna* Sm. em diferentes épocas de déficit hídrico.

### 3.2.2 Objetivos específicos.

- Identificar o período de maior perda de incremento de altura e diâmetro nas espécies estudadas.
- Comparar o crescimento e incremento periódico para as espécies e tratamentos.
- Quantificar e comparar o comportamento do uso de água das espécies em diferentes épocas de seca.
- Quantificar a redução de incremento periódico, caso existir, para cada época de tratamento e sua eventual relação com variáveis climáticas.

## 3.4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.4.1. Condução Do Ensaio

A avaliação do crescimento em diferentes épocas de déficit hídrico foi realizada nas dependências externas do Laboratório de Manejo Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

O experimento foi desenvolvido em baldes de 20 litros com medidas de 35 cm de altura e 30 e 28 cm de diâmetro superior e inferior, respectivamente. Em sua base 16 furos de 0,5 cm foram feitos para a drenagem.

Os mesmos foram dispostos em fileiras, com espaçamento de 50 cm x 40 cm, orientadas no sentido Norte-Sul e com a disposição das espécies feita alternada para não ocorrer sombreamento de *Eucalyptus saligna* sobre *Pinus elliottii*, uma vez que é de conhecimento que o primeiro atinge maior altura.

As plantas de ambas as espécies foram originadas de cultivos seminais em tubetes do viveiro da AFUBRA (Associação dos fumicultores do Brasil) de Santa Cruz do Sul-RS. O plantio das mudas ocorreu no dia 9 do mês de maio de 2014. As plantas ficaram em cultivo nos vasos sob condições de irrigação adequada até o mês de setembro.

O início do tratamento de seca foi iniciado no mês de setembro de 2014. Cada época de déficit hídrico teve duração estabelecida de 6 semanas, assim o segundo período de seca iniciou na segunda quinzena de outubro e durante todo mês de novembro, e assim sucessivamente.

Os recipientes foram preenchidos com neossolo quartzarênico (EMBRAPA, 2006) originado de uma formação arênica do interior do município de Alegrete - RS, o qual foi seco ao ar. Cada vaso foi preenchido com 35Kg de solo seco e saturado com água, e assim determinar a máxima capacidade de retenção do vaso. Por pesagem, foi determinada a saturação e da mesma maneira a quantidade de água em cada momento de avaliação e determinada a necessidade de reposição hídrica, que será esplanada na sequência. Este substrato foi submetido a análise química cujo o resultado está no Anexo I, no qual se observa que se trata de um solo cuja a fertilidade é muito baixa podendo comprometer o crescimento das plantas. Portanto, a partir do mês de setembro o ensaio recebeu fertirrigação composta de 100 mg/L

de N, 25 mg/L de P, 100 mg/L de K, 100 mg/L de Ca, 43 mg/L de Mg e 32,5 mg/L S, além de micronutrientes Co, Cu, Mo, B, Mn e Zn provenientes do produto comercial BIOCROP na quantidade de 0,5g distribuído na superfície do vaso, mensalmente durante a duração do experimento. Afim de prevenir eventuais efeitos de deficiência nutricional no crescimento, durante todo o período de experimento, quatro litros dessa solução eram fornecidos semanalmente. Para as plantas estando submetidas a déficit hídrico, uma solução com concentração quatro vezes maior era oferecida a fim de aportar a quantidade semelhante de elementos porém mantendo o volume de irrigação dentro do estabelecido.

O efeito de déficit hídrico foi simulado usando uma cobertura cônica de plástico branco sobre o vaso e em volta do tronco da planta, impedindo a entrada de água da chuva. Este plástico foi fixado com fita adesiva e tiras de borracha. O controle das plantas submetidas a seca foi feito com o monitoramento da quantidade de água no vaso, por diferença do peso, através de pesagem com dinamômetro, como observado nas Figura 3 A e 3B.

Figura 3 - Cobertura plástica usada durante o tratamento de seca (A). Pesagem usando tripé e dinamômetro(B).



Os tratamentos foram constituídos de 6 períodos de 45 dias de simulação de déficit hídrico nos recipientes de cultivo para ambas as espécies. Estes iniciaram em 1º de setembro de 2014 e terminaram em 31 de maio de 2015, correspondendo ao período de maior crescimento vegetativo.

Foi estipulado o limite de 20% da capacidade de retenção de água do vaso como sendo um valor limitante para o crescimento como observado para *P. elliottii* por Bellé (2014). Este valor também foi aplicado para *E saligna*. O valor foi usado como referência da quantidade máxima de água no solo. Quando no momento da aferição da quantidade de água no vaso, estando abaixo de 20%, a quantidade de irrigação necessária para elevar a quantidade de água até 20% era efetuada, assim durante o período de indução de déficit hídrico.

Cada período de 45 dias iniciava com uma percentagem diferente de umidade, conforme as condições climáticas anteriores. Esta quantidade de água presente inicialmente foi contabilizada na estimativa total de uso de água.

Para o primeiro período de simulação de déficit foram utilizados 5 recipientes submetidas ao déficit e 30 vasos sem déficit, como testemunha. Para o segundo período, 5 vasos anteriormente pertencentes ao grupo de testemunha, passaram pelo déficit e 25 considerados como controle, e assim sucessivamente para cada período de 45 dias, para cada espécie. Os vasos que passaram por déficit hídrico não eram submetidos a um segundo período de déficit. Assim, no último período de avaliação foram usados 5 vasos com déficit hídrico e 5 como testemunha. Tal estratégia possibilitou se avaliar o efeito do déficit em diferentes épocas do ano sempre a partir de plantas previamente não estressadas.

### **3.4.2. Avaliações**

A avaliação do consumo hídrico durante os períodos de déficit foi obtida por monitoramento dos pesos dos vasos em intervalos de dois a seis dias, dependendo das condições climáticas. Em períodos de maior temperatura e menor umidade do ar, ocorria uma secagem mais rápida do solo e assim pesagem e irrigação mais frequente. A reposição de água era feita com água pura ou com a solução nutritiva de fertilização descrita acima.

Como os vasos foram irrigados de maneira a repor o nível de água em 20%, com as medições de acompanhamento de saturação resultando em valores ligeiramente inferiores a 20%, foi optado por executar a irrigação após um valor ainda mais baixo, cerca de 10%, afim de assegurar um efeito de seca efetivo.

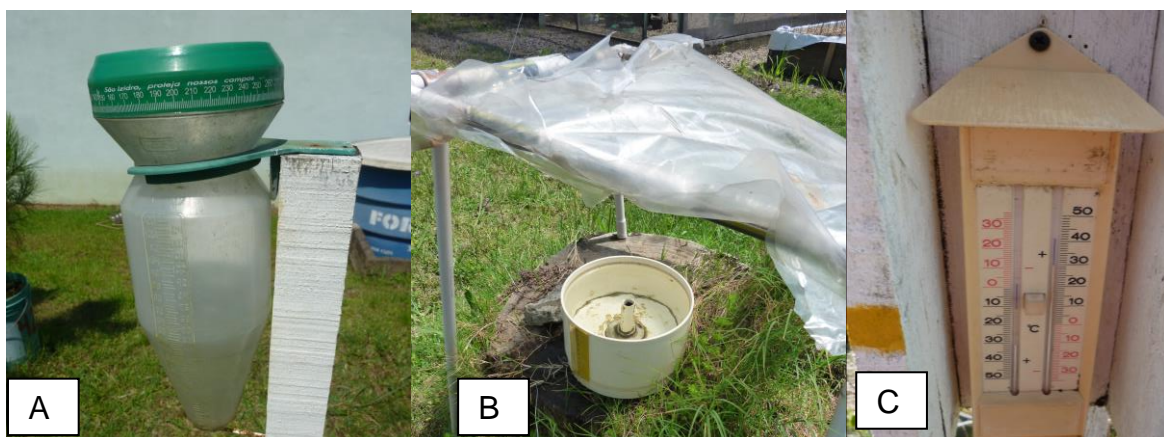
A capacidade máxima de água do vaso foi estabelecida anteriormente, saturando-se os vasos, e pesando-os antes do plantio das mudas, tendo assim o peso seco e saturado para cada vaso. Mesmo usando a mesma quantidade de solo (35kg) em todos os vasos observaram-se pequenas diferenças em seus pesos saturados, os quais foram usados individualmente afim de obter-se a maior precisão possível.

A transpiração das plantas foi avaliada somente para o período total de 45 dias de seca, sua divisão em quinzenas, não foi satisfatória, uma vez que as espécies diferiram na frequência e quantidade de irrigação, nos diferentes momentos de seca.

Deve ser ressaltado que durante o planejamento e condução do experimento foi optado por estabelecer um limite não muito severo para o déficit hídrico, ou seja, a perda de área foliar severa por murcha permanente seria evitada. Embora este fato com certeza fosse contribuir com diferenciações no crescimento, foi considerado arriscado devido a tênue diferença entre murcha permanente de folhas e de ramos, e até morte, especialmente em *P. elliotii*.



Figura 4 - Instrumentos meteorológicos usados no para a aquisição de dados, A) pluviômetro. B) mini tanque de evaporação. C) Termômetro de máxima e mínima.



A aquisição da variável de diâmetro do colo, doravante também sendo referida como diâmetro, foi padronizada pela intersecção do plano da boca do vaso com a tronco da planta, estando este, a cerca de 3 cm acima da linha do solo.

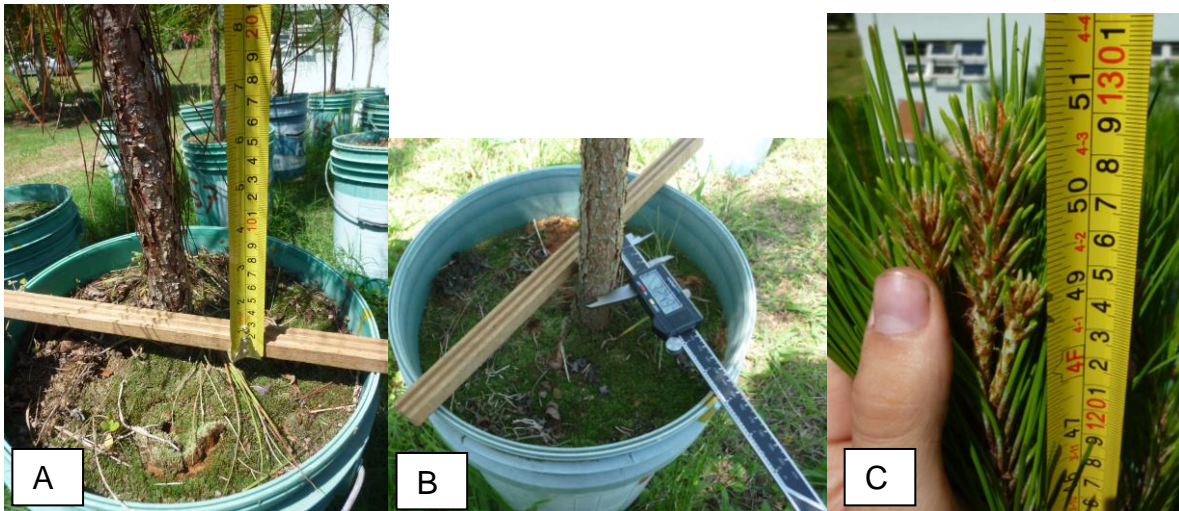
A altura total adotada foi a distância do ápice do meristema, sem considerar as acículas e folhas jovens, até o ponto de medição do diâmetro do colo. A representação da aquisição das medidas pode ser encontrada na Figura 5. Estas foram medidas quinzenalmente sempre sob mesma orientação, através do uso do paquímetro através de marcações nos vasos.

Os incrementos periódicos em altura e diâmetro foram avaliados de duas maneiras, o incremento durante o período de seca de 45 dias, para a comparação dos períodos de seca e com as respectivas testemunhas, e o incremento periódico quinzenal, de ambos testemunha e tratamento, afim de aumentar o número de amostras e definição temporal, e pareamento com as variáveis ambientais.

Foram feitos registros de temperatura máxima e mínima com termômetro de mercúrio, e de evaporação com um mini tanque de 20 cm de diâmetro e 15 cm de altura. Sobre este mini tanque de evaporação uma cobertura plástica de 50cm de lado colocada a 40cm acima deste afim de impedir incidência de chuva e que essa não interfira nos dados de evaporação após ocorrência de precipitação. Os valores de pluviometria obtidos por pluviômetro graduado, os modelos dos equipamentos meteorológicos podem ser vistos na Figura 4. Os dados de insolação diária total e de umidade relativa do ar as 15:00 horas foram obtidos para o para o período de estudo com a base de dados do INMET (BDMEP 2017). Os valores de litros de

irrigação foram transformados para milímetros, de acordo com a área do vaso, para fins de proporcionalidade e melhor comparação com a literatura.

Figura 5- Metodologia de medição de altura (A, C) e diâmetro do colo (B).



### 3.4.3 Delineamento Experimental e Estatística

Os seis períodos de tratamento de déficit hídrico ocorreram na seguinte datas: O primeiro iniciando em primeiro de setembro de 2014 até 15 de outubro, doravante nomeado Set.-Out.; segundo, de 16 de outubro a 30 de novembro, nomeado Out.-Nov.; Terceiro período, de 1º de dezembro a 15 de janeiro, nomeado Dez.-Jan.; Quarto período, de 16 de janeiro a 1º de março, nomeado Jan.-Fev.; Quinto período do dia dois de março ao dia 15 de abril, nomeado Mar.-Abr.; e o sexto e último período, de 16 de abril a 31 de maio de 2015, nomeado como Abr.-Mai. Adicionam-se a estes períodos de tratamentos uma testemunha, a qual não passou por déficit hídrico em nenhum momento. Cada um dos designados períodos e a testemunha contando com 5 repetições cada, totalizando 35 unidades amostrais para cada espécie. Lembrando que foram usadas como testemunhas todas plantas que não haviam ainda passado por seca, tendo assim um número decrescente de unidades amostrais para a testemunha, foi feito o uso deste método afim de obter maior confiança nos resultados da testemunha, exceto para o último período, o qual contou apenas com as cinco testemunhas “originais”.



Este formato de uso de número decrescente de repetições para a testemunha não foi usado para as análises de variância e covariância do crescimento assim como sua modelagem, para tal cada tratamento contava com os mesmos cinco indivíduos (repetições) durante toda a duração do ensaio.

O delineamento usado foi o inteiramente casualizado, no qual cada planta constituiu uma unidade amostral de variação temporal. Todos os cálculos estatísticos foram feitos no software SAS 9.3, usando os procedimentos GLM e NLIN para as análises de covariância por Snedecor e regressão de modelos lineares e não lineares para o crescimento em altura e diâmetro.

Testes 't' de diferença de pares de amostras foram conduzidos para cada período de seca, para as variáveis altura e diâmetro, incremento em altura e diâmetro. Um gráfico contendo a média e barras de erro padrão da média dos incrementos periódicos foram usados na descrição dos resultados.

A análise de covariância pelo método de Snedecor foi realizada para o crescimento em altura e diâmetro, com um modelo linear generalizado, afim de, reconhecer mudanças na taxa de crescimento e no nível dos modelos, que são representados pelo coeficiente angular e intercepto do modelo para cada tratamento.

Análise de variância, análise de covariância e gráficos com as relações de incremento, suas diferenças em relação a testemunha e relação com variáveis climáticas foram feitos para evidenciar os incrementos periódicos e uso de água entre espécies e entre dos diferentes períodos de seca.

Ajustamento de modelos não lineares foram efetuados para representar de maneira mais adequada a distribuição dos dados, principalmente os que tiverem uma tendência assintótica durante o período de crescimento vegetativo.

Estes modelos foram ajustados em função do tempo, representados graficamente, tendo suas estatísticas individuais de ajuste e distribuição de resíduos contidas nos apêndices.

Afim de se obter uma análise mais completa, foi decidido posteriormente em ser feita a análise de covariância do efeito do tratamento de déficit hídrico comparado a testemunha para cada período de 45 dias, usando incrementos quinzenais e a metodologia usando número de testemunhas variável, o qual diminui ao longo do tempo, como detalhado anteriormente. Isto foi feito para se aumentar as repetições dos dados e ter maior confiança na ANCOVA.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.5.1 Parâmetros climáticos observados durante o ensaio

A Figura 6 representa o comportamento de algumas variáveis climáticas monitoradas durante o tempo do experimento, sendo estas a temperatura média, déficit de pressão de vapor (DPV), e precipitação. Observou-se o comportamento clássico da temperatura de clima temperado húmido e de verão quente, Cfa segundo a classificação de Köppen-Geiger. Constatou-se temperatura média foi superior aos 25°C durante o verão, com máximas excedendo a 35°C entre os meses de novembro e fevereiro (dados não exibidos).

A tabela 1 complementa as informações detalhando as médias das demais variáveis climáticas acompanhadas durante o experimento, durante cada um dos seis períodos de aplicação dos tratamentos de déficit hídrico

Durante o período do experimento a complementação da chuva ocorreu de maneira mais intensa a partir do segundo período (Out-Nov.), representando 30% ou mais do total. Os períodos subsequentes tiveram irrigação com valores próximos a 200mm, excetuando o sexto período (Abr.-Mai), com pouco menos de 150 mm, como representados na figura 7. A primeira época de seca, tem os menores aportes em irrigação, isso deve-se a menor dimensão das plantas, clima primaveril mais ameno, com chuvas regulares e menor evapotranspiração, o que também pode ser observado no gráfico da Figura 6.

Figura 6 - Registros de temperatura média, déficit de pressão de vapor e precipitação.

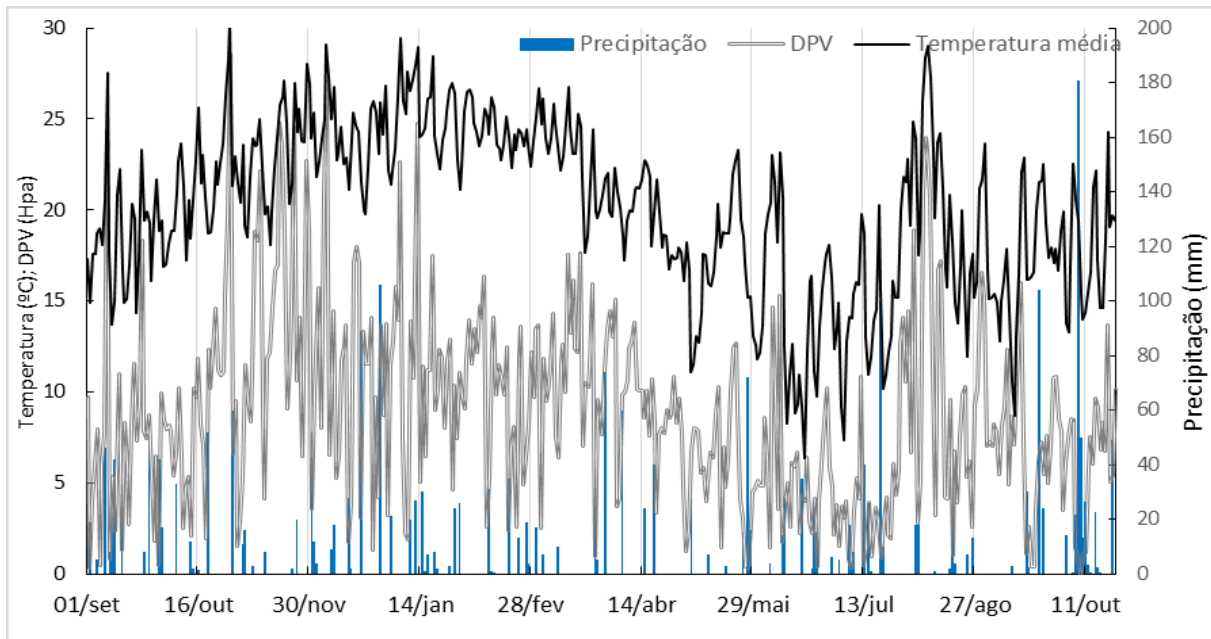
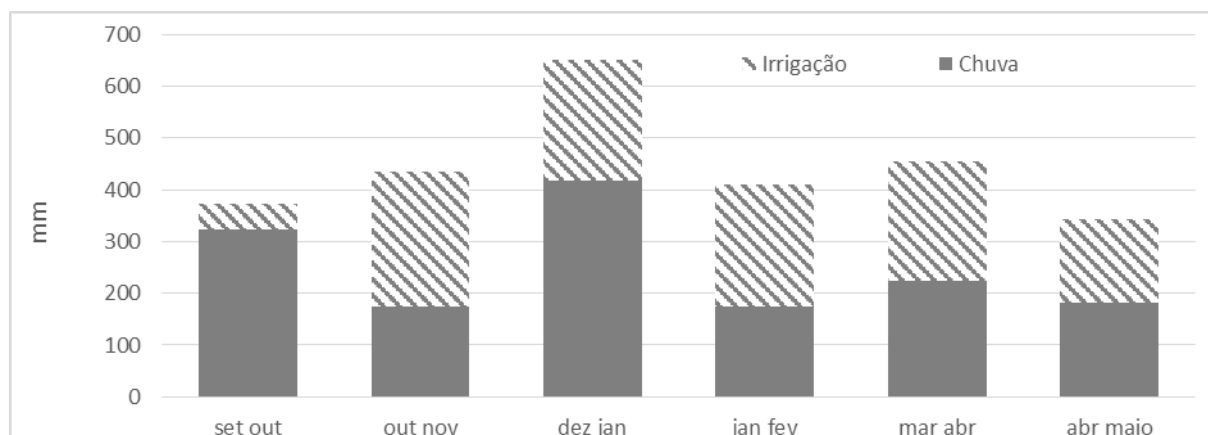


Tabela 1 – Médias dos parâmetros climáticos os diferentes períodos de indução de déficit hídrico.

	Período	Soma evap. (cm)	Média de		Soma de Insolação (h)	Temp. Media (°C)
			Umidade Relativa (%)	Média de DPV (Hpa)		
1	Set Out	10,8	69,8	6,9	191,3	18,9
2	Out Nov	23,7	55,9	12,8	366,6	23,1
3	Dez Jan	18,9	63,8	11,4	297,3	24,6
4	Jan Fev	21,7	66,7	10,3	342,3	24,5
5	Mar Abr	19,5	59,5	10,8	314,5	22,1
6	Abr mai	10,2	66,8	6,6	256,2	17,3

Figura 7 - Precipitação e irrigação fornecida à testemunha nos respectivos períodos.



### 3.5.2 Caracterização dos períodos de déficit e consumo hídrico

O esquema de aplicação dos tratamentos de seca foi diferente em termos de quantidade, entre as diferentes épocas de aplicação do tratamento de déficit hídrico. Os valores fornecidos para os tratamentos de seca ficaram entre 20 e 120 mm, a testemunha recebeu irrigação total entre 340 e 650mm, consideradas ambas as espécies. A tabela 2 apresenta os valores médios para o aporte de água para cada período de cada espécie.

Nota-se que para *E. saligna* esse valor foi de 13,8 a 27,4% do total fornecido para a testemunha e para *P. elliottii* estes valores foram inferiores, variando de 3,5 a 18%. Para ambas espécies o menor aporte relativo ocorreu no terceiro período (Dez.-Jan.). A menor quantidade total ocorreu no último período para *E. saligna*, já em *P. elliottii* o período de menor aporte de água coincidiu com o de menor aporte relativo a testemunha (Dez.-Jan.).

Tabela 2 - Quantidade de água disponibilizada para cada tratamento e para os tratamentos de déficit hídrico e suas respectivas quantidades relativas à testemunha.

Período	Testemunha			<i>E. saligna</i> seca		<i>P. elliottii</i> seca	
	Chuva	Irrigação	Total (mm)	mm	%	mm	%
1 Set Out	323,8	49,4	373,2	83,6	22,4	60,0	16,1
2 Out Nov	173,5	260,9	434,4	119,0	27,4	78,3	18,0
3 Dez Jan	418	232,7	650,7	89,7	13,8	22,8	3,5
4 Jan Fev	174,5	236,2	410,7	92,5	22,5	46,5	11,3
5 Mar Abr	223	232,7	455,7	106,8	23,4	65,9	14,5
6 Abr Mai	181	162,7	343,7	55,4	16,1	48,8	14,2

Apesar do nível de irrigação pré-estabelecido para os períodos de seca (20% da capacidade total de retenção de água do vaso) ser o mesmo, ocorreu uma variação do total durante cada período devido às condições climáticas sazonais e uso pelas plantas, principalmente para *P. elliotii*, recebendo de 22 à 78mm em cada período de seca. Como exemplo, se pode constatar que uma maior irrigação durante períodos de déficit foi feita nos 2º e 5º períodos, porém estes momentos não apresentaram os valores máximos de temperatura, o que veio no terceiro período (Dez.-Jan.), período com maior aporte total (chuva e irrigação).

Pelo fato do vaso estar vedado em sua parte superior durante o tratamento de déficit, a perda de água por evaporação do solo para a atmosfera pode ser desconsiderada, e por consequência, toda a diferença foi considerada utilizada pela planta.

As diferenças na quantidade de água no solo ao longo do período de tratamento de seca, divergiram em vários aspectos, como intervalos entre aferições, velocidade de secagem e quantidade média de água no solo.

Nas Figuras 8 e 9 pode ser observado o comportamento do consumo de água nos vasos dos tratamentos durante os períodos de seca para as espécies estudadas. Percebe-se a diferença no comportamento entre os períodos, há maior heterogeneidade nos períodos primaveris e outonais. Em alguns pontos verifica-se que existe um aumento que passa o limite de 20% de saturação estabelecidos pela metodologia, atribuídos a vazamentos nos vasos sob seca na ocasião de tempestades que romperam parcialmente a vedação.

Figura- 8. Percentagem de água no solo para cada um dos vasos sob seca nos diferentes períodos de déficit hídrico em *E saligna*.

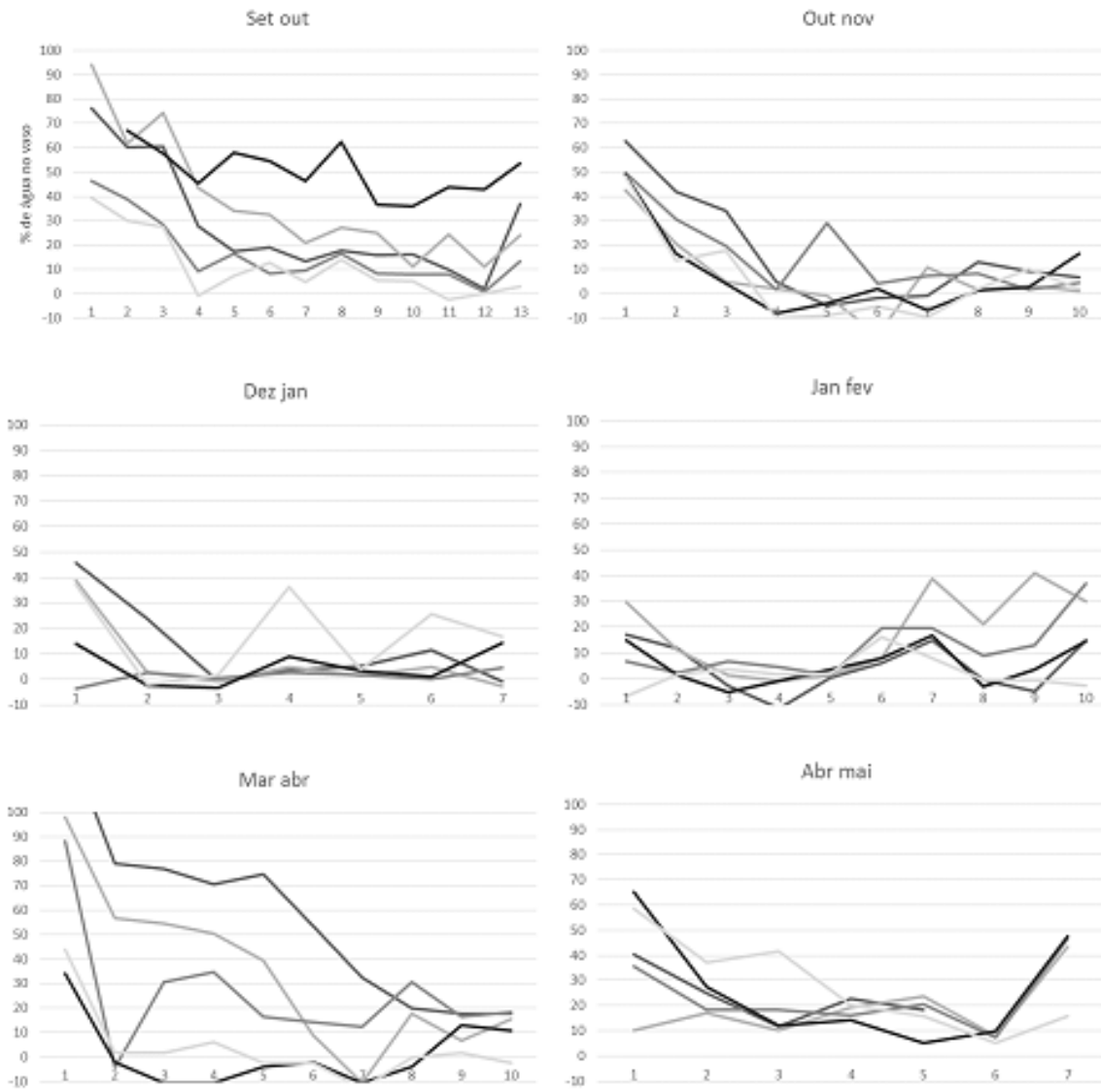
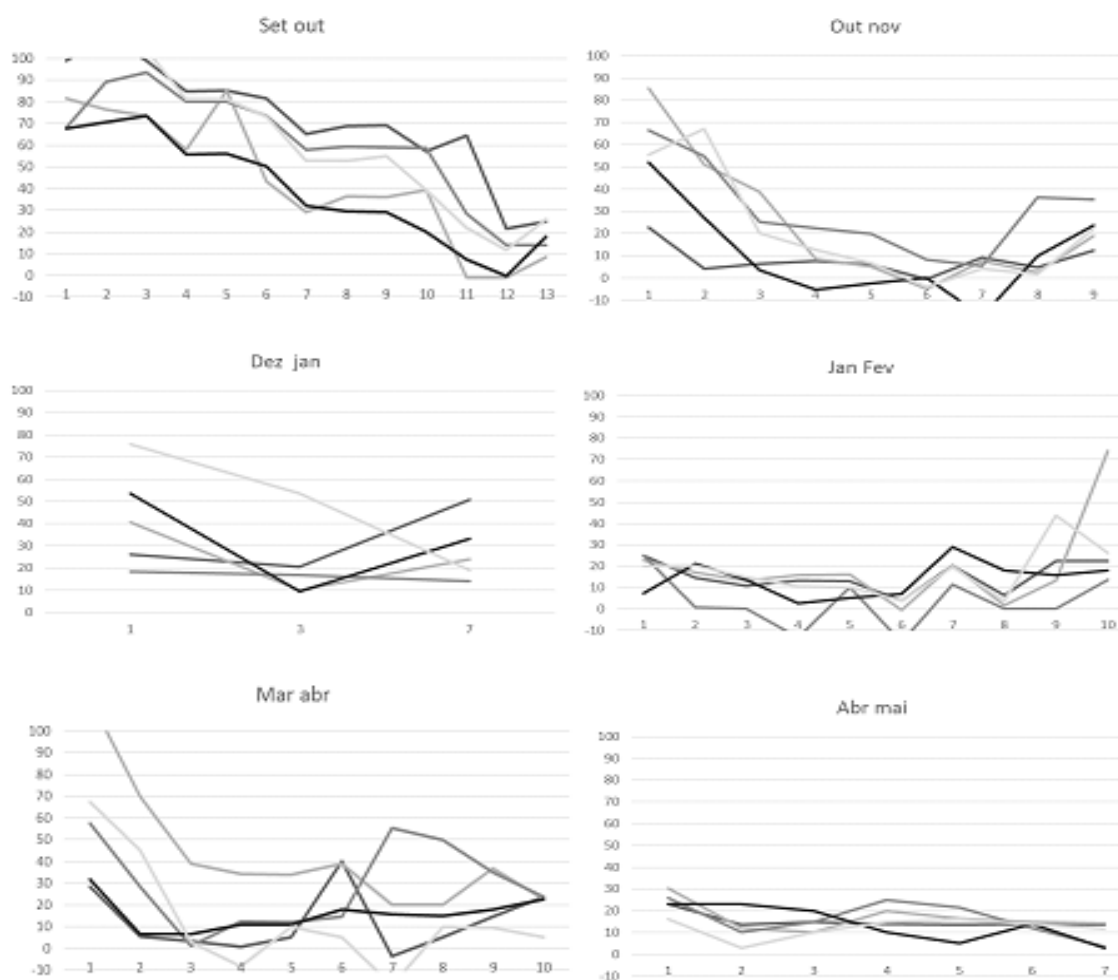


Figura 9 - Percentagem de água no solo para cada um dos vasos sob seca nos diferentes períodos de déficit hídrico em *P. elliotii*.



Uma das principais diferenças entre as espécies, no que tange seu comportamento durante o período de seca, foi na frequência de irrigação, confirmado posteriormente também pela quantidade total de água utilizada em diferentes períodos. Esta ocorreu de forma mais acentuada no primeiro período primaveril (Set.-Out.) e menos frequente no terceiro período (Dez.-Jan.) A numeração representada no eixo x das figuras 8 e 9 referem-se aos momentos de monitoramento da peso para avaliação da quantidade de água no vaso. Deve ser lembrado que quando o valor de água do solo estava acima de 20%, não ocorria a irrigação.

Este fato foi verificado com o aumento do tempo do intervalo de irrigação para os vasos de *Pinus* submetidos a seca. De maneira contra intuitiva, nesta espécie o período de maior temperatura teve menor frequência e quantidade de irrigação para

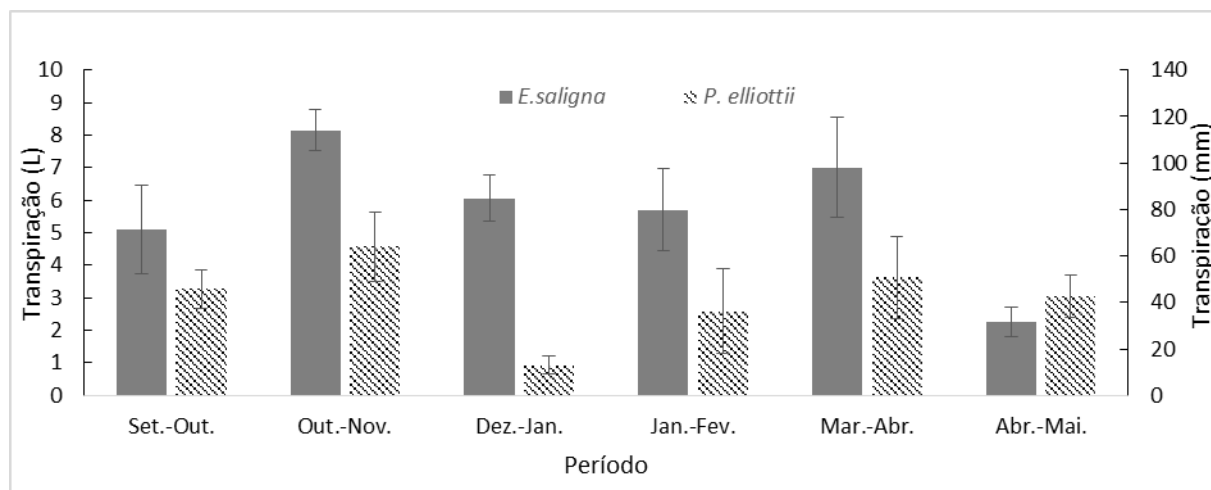
o tratamento de seca, e também menor consumo hídrico, como será discutido posteriormente.

Para ambas as espécies foram encontradas similaridades. Dentre elas uma secagem mais rápida do solo no segundo período (Out.-Nov.), quando comparado ao primeiro, e também no início do quinto período (Fev.-Mar.) quando os vasos continham elevada quantidade de água seguida de rápida diminuição. Isto foi devido a fortes chuvas e irrigação do período anterior (Dez.-Jan.) momento em que estes vasos faziam parte da testemunha.

Observa-se que para *P. elliotii*, os períodos de verão, dezembro a fevereiro, são os de menores transpiração, este comportamento não foi totalmente replicado por *E. saligna*, o qual mostrou menor consumo hídrico no último período (Abr.-Mai.), sendo consideravelmente menor que os demais períodos. Os períodos de verão apresentaram valores ligeiramente inferiores aos demais, o período de maior consumo foi o mesmo para ambas as espécies, o segundo período (Out.-Nov.).

Em trabalhos com diversas espécies de *Eucalyptus* na Índia Calder et al. (1997) encontraram valores de transpiração entre 0,2 e 5,5 mm por dia. No presente trabalho os valores diários de transpiração, tomados com base no uso total durante o período de seca, variaram entre 0,7 e 2,55 mm/dia e 0,29 e 1,43 mm/ dia para *E. saligna* e *P. elliotii*, respectivamente. Esse resultado pode ser aceito com confiança, uma vez que os experimentos na Índia foram realizados fazendo uso da seca sazonal normal, e não uma simulação.

Figura 10-Uso total de água durante os diferentes períodos de déficit hídrico.





Para DeLucia et al., (2000) o ajuste de *Pinus sp* à aridez, alterando a morfologia de sua parte aérea, sendo esta mudança não observada em outras coníferas, ocorrendo uma mudança na relação da área de alburno/ área foliar, os autores também sugerem que esse fenômeno ajuda na tolerância à seca, e que quando ocorrendo em condições de alto déficit pressão de vapor é associado com mudança na alocação de biomassa de acículas para o tronco.

### **3.5.3. Análise do crescimento**

#### *3.5.3.1 Altura e diâmetro de colo*

A análise de covariância dos tratamentos para altura e diâmetro de *E. saligna*, em relação ao tempo encontra-se na tabela 4, que apresenta as estatísticas básicas para um modelo linear generalizado. Para a altura podemos notar que todas as fontes de variação foram significativas, o tempo representado pela escala longitudinal variável, o parâmetro “trat” que no modelo refere-se a variável qualitativa da época do tratamento, modificador do coeficiente  $B_0$ , o intercepto do modelo matemático, igualmente significativo demonstra a existência de no mínimo dois tratamentos com interceptos diferentes. Finalmente, a fonte de variação “tempo \* trat” representa a interação do tempo com o tratamento, o qual pode ser traduzido como coeficiente angular  $B_1$ , novamente com diferença significativa entre no mínimo dois modelos dos tratamento.

Em ambos os atributos dendrométricos, os modelos apresentam diferença no coeficiente angular, usualmente interpretado e relacionado à taxa de crescimento, a qual entende-se ser afetada em consequência da influência do tratamento aplicado.

Na Figura 11 pode ser observada uma representação gráfica dos modelos lineares da análise de covariância efetuada. Percebe-se que os modelos de diâmetros estimados possuem origem muito próxima e, consecutivamente, não significativa, como mostrado pela análise de covariância. Já para a altura essa amplitude na origem dos modelos deve ser causada pela variação inconstante no crescimento em altura na sequência do ensaio.

Tabela 3 – Covariância dos modelos lineares para o crescimento em altura e diâmetro *Eucalyptus saligna*.

Altura	R <sup>2</sup>	Coef. Var.(%)	QME	H média (cm)
	0,614858	10,92	11,66	106,8

F.V.	G.L.	S.Q	Q.M	F	Pr > F
Tempo	1	158.139	158.139	1164.07	<.0001
Trat	6	5.216	869	6.40	<.0001
Tempo*Trat	6	7663,5	1277,2	9.40	<.0001

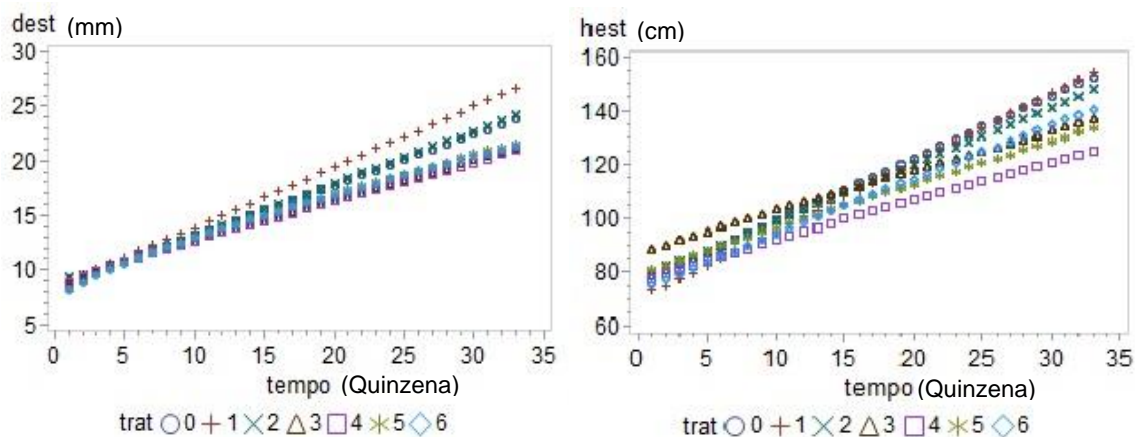
  

Diâmetro	R <sup>2</sup>	Coef. Var. (%)	QME	D médio (mm)
	0,786	10,79	1,63	15,13

F.V.	G.L.	S.Q	Q.M	F	Pr > F
Tempo	1	7484	7.484	2807,58	<.0001
Trat	6	5,54	0,924	0,35	0.9121
Tempo*Trat	6	100,83	16,80	6,3	<.0001

Figura 11– Modelos lineares para o crescimento em diâmetro e altura estimados para os tratamentos de épocas de seca em *E. saligna*.



Sendo: trat 0 a testemunha e de 1 a 6 em ordem temporal de setembro a maio, iniciando na 3ª quinzena até a 23ª da escala do eixo X. dest- diâmetro estimado hest- altura estimada.

Para *P. elliotii* (tabela 4) observa-se que a análise de covariância obteve um desempenho inferior tratando-se do coeficiente de determinação para altura, isto ocorre devido ao comportamento assintótico dessa variável no tempo, ajustado para um modelo linear. Já para o crescimento em diâmetro do colo o ajuste linear foi mais satisfatório, visto a distribuição mais homogênea do crescimento ao longo da estação de crescimento. Na tabela 4 percebe-se que ambos atributos tiveram diferenciação de seu nível no modelo (trat) entre os tratamentos efetuados, o qual para a altura mostrou-se significativo também para o coeficiente angular

(tempo\*trat), entretanto próximo ao nível de 5% de probabilidade, definido como marginal para aceitação.

Em ambas as medidas dendrométricas de *P. elliptii* existiu uma diferença de nível entre os modelos. Este fato, usando a interpretação usual deste parâmetro como modificador do coeficiente  $b_0$ , não permite uma clara interpretação dos resultados, uma vez que foi realizada uma seleção para todos os tratamentos serem semelhantes no início do experimento.

Em ambas as espécies a interpretação do parâmetro 'tempo\*trat',  $b_1$  como modificador angular e representando mudança na taxa de crescimento média durante o tempo, mesmo tendo o efeito do tratamento ocorrido em um período delimitado, pode ser feita com segurança.

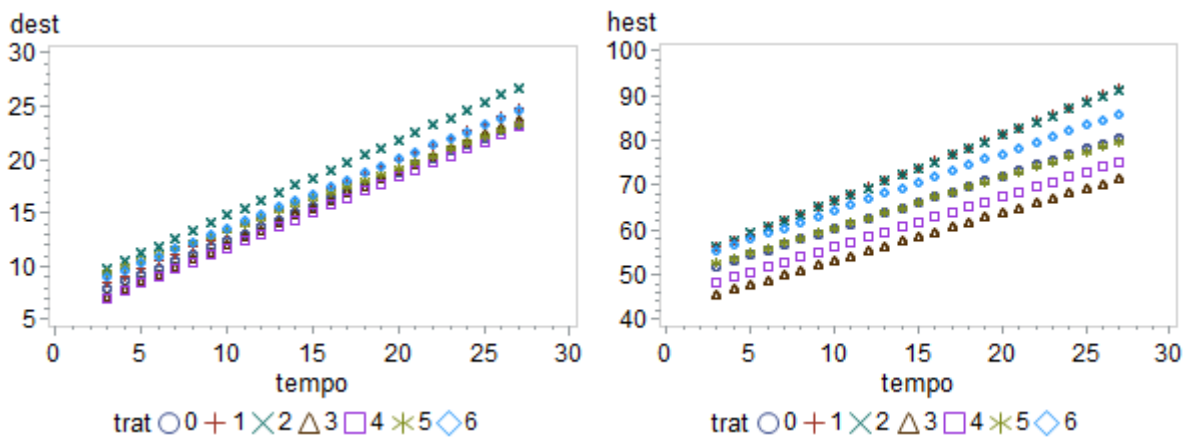
Deve ser avaliado que a interpretação usual que diferentes interceptos denotam as dimensões iniciais no período inicial do tratamento seja vista de maneira diferente, uma vez que todos os grupos de plantas de cada tratamento foram selecionados afim de terem dimensões semelhantes.

Entretanto, as mudanças no intercepto do modelo, ocorrendo sós ou em conjunto com o coeficiente angular, não permitem uma interpretação confiável por si só, mas nos permitem afirmar que existem diferenças entre modelos. Porém não se pode afirmar que diferenças significativas nos incrementos nos primeiros períodos de tratamentos serão traduzidas em mudança no intercepto, ou que mudanças, mesmo que significativas na taxa de crescimento média, é advinda do efeito pontual do tratamento no tempo, por exemplo.

Afim de buscar uma melhor avaliação dos efeitos de cada período de seca e crescimento sob déficit hídrico, uma análise de covariância foi realizada dentro de cada período de déficit hídrico, comparando o comportamento de nível e coeficiente angular dos modelos de incrementos, com intervalos quinzenais durante o período de seca de 45 dias, tendo assim três pontos longitudinais para análise.

O resultado dessa análise será apresentado e discutidos no próximo item, já que havendo divisão do crescimento em períodos, será interpretada juntamente com os incrementos no período de 45 dias, onde também serão comparados com as diferenças entre médias do tratamento e testemunha.

Figura 12 Modelos lineares para o crescimento em diâmetro e altura estimados para os tratamentos de épocas de seca em *P. elliottii*.



Sendo: trat 0 a testemunha e de 1 a 6 em ordem temporal de setembro a maio, iniciando na 3ª quinzena até a 23ª da escala do eixo X. dest- diâmetro estimado hest- altura estimada.

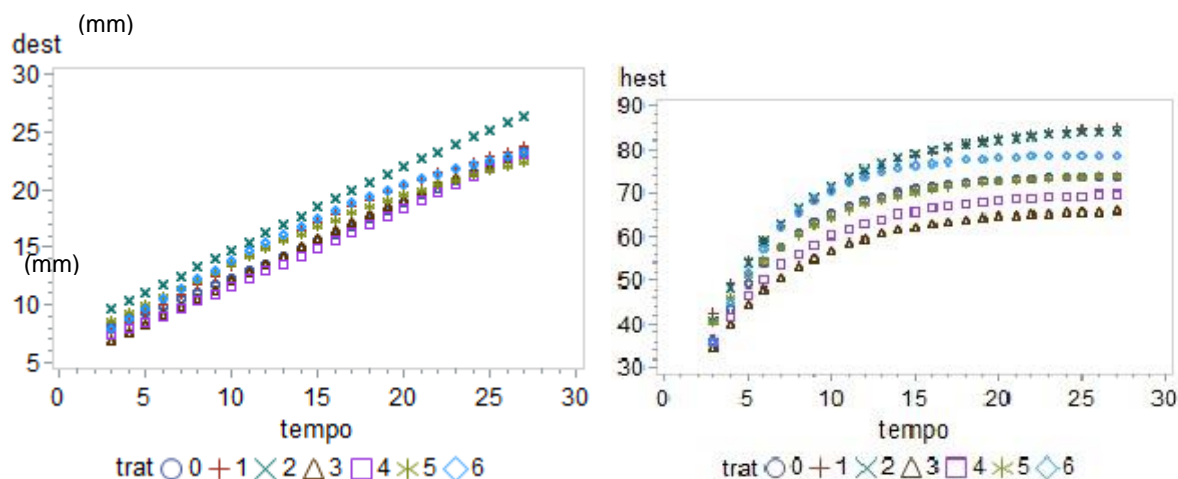
Tabela 4 – Covariância dos modelos lineares para o crescimento em altura e diâmetro de *Pinus elliottii*.

Altura	R <sup>2</sup>	Coef Var (%)	QME	Alt. média (cm)		
	0,572	13,73	9,24	67,3		
F.V.	G.L.	S.Q	Q.M	F	Pr > F	
Tempo	1	70985	70985	831,77	<.0001	
Trat	6	1917,09	319,52	3,74	0.0011	
Tempo*Trat	6	1087,06	181,18	2,12	0.0485	
Diâmetro	R <sup>2</sup>	Coef Var (%)	QME	Diâm. médio(mm)		
	0,804	14,85	2,42	16,3		
F.V.	G.L.	S.Q	Q.M	F	Pr > F	
Tempo	1	19707	19707	3365,84	<.0001	
Trat	6	164,71	27,45	4,69	0.0001	
Tempo*Trat	6	63,05	1,05	1,79	0.0972	

A fim de apresentar um modelo que reflita melhor a realidade e o comportamento do crescimento destes atributos dendrométricos, modelos não lineares foram selecionados e ajustados. Na Figura 13 encontram-se as representações dos modelos não lineares de Weibul ( $Y=a-k*e^{(-c*x)^m}$ ) e Chapman-Richards ( $Y=a*(1-e^{-k*x})^m$ ) ajustados para estimar o diâmetro e altura dos tratamentos de seca e *P. elliottii*, respectivamente (onde Y= variável dendrométricas, X=tempo, a, k, m e c= coeficientes). Estes modelos foram selecionados pelo melhor ajuste com

os dados, tem melhores coeficientes de determinação, erro padrão da estimativa e dispersão de resíduos mais homogênea.

Figura 13 – Modelos não lineares para o crescimento estimado em diâmetro e altura para os tratamentos de épocas de seca em *Pinus elliottii*.



Fonte: O autor.

Sendo trat 0 a testemunha e de trat 1 a 6 em ordem temporal de setembro a maio, iniciando na 3ª quinzena até a 23ª da escala do eixo X. dest- diâmetro estimado hest- altura estimada.

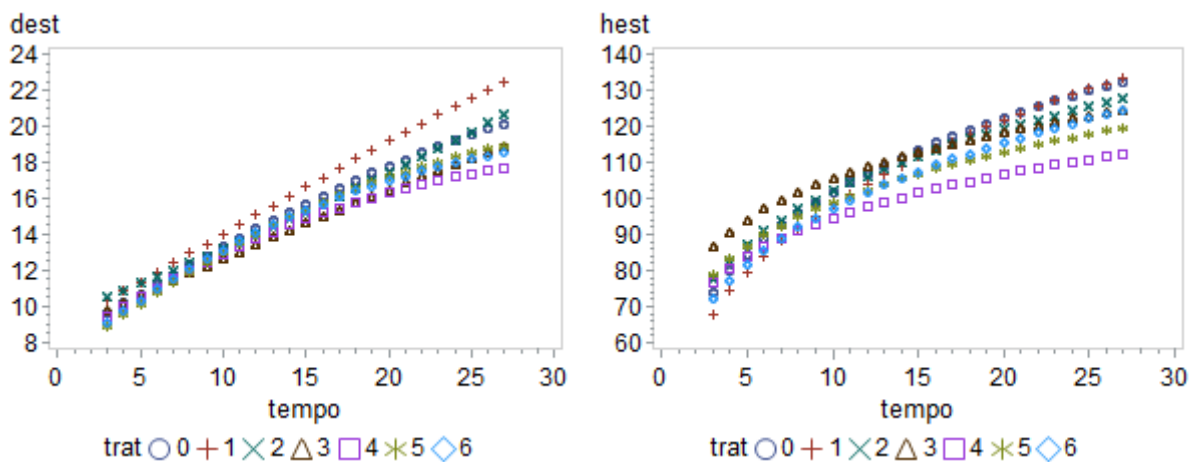
Nos Apêndices I á XXVIII encontram-se os modelos representados com seus conjuntos de dados por tratamento, assim como seus respectivos resíduos e estatísticas de ajuste como erro padrão da estimativa (Syx), coeficiente de determinação ( $R^2$  e  $R^2$  Ajustado) além dos coeficientes dos parâmetros dos modelos.

Para *E. saligna* o crescimento em diâmetro e altura também tiveram os modelos de Weibul ( $Y=a-k \cdot e^{-(c \cdot x)^m}$ ) e Chapman-Richards ( $Y=a \cdot (1-e^{-k \cdot x})^m$ ) ajustados e selecionados. Uma melhor coincidência com a nuvem de dados permitiu uma melhor dispersão de resíduos, quando comparado ao modelo linear, está representado na Figura 7. Os modelos, gráficos de dados e seus respectivos resíduos, assim como as estatísticas de ajuste e coeficientes para cada tratamento encontram-se a partir do apêndice XXIX ao LVI.

A representação gráfica destes modelos utilizando modelos não lineares encontra-se na figura 14. Assumindo-se que os comportamentos das ANCOVAS em modelos lineares podem ser transpostas para modelos não lineares ajustados para o mesmo conjunto de dados, não obterá uma interpretação satisfatória. Os resultados

das análises de covariância dos períodos individuais de déficit hídrico serão abordados e discutidos no próximo item.

Figura 14 – Modelos não lineares para o crescimento em diâmetro e altura estimados para os tratamentos de épocas de seca em *Eucalyptus saligna*.



Fonte: O autor.

Sendo: trat 0 a testemunha e de 1 a 6 em ordem temporal de setembro a maio, iniciando na 3ª quinzena até a 23ª da escala do eixo X. dest- diâmetro estimado hest- altura estimada.

### 3.5.3.2 Análise das diferenças de incrementos

O teste t foi utilizado para comparar a testemunha e o tratamento em cada período de seca para os valores de altura, diâmetro, assim como seus respectivos incrementos de no período de 45 dias, seus valores são encontrados na tabela 6 para *P. elliotii*.

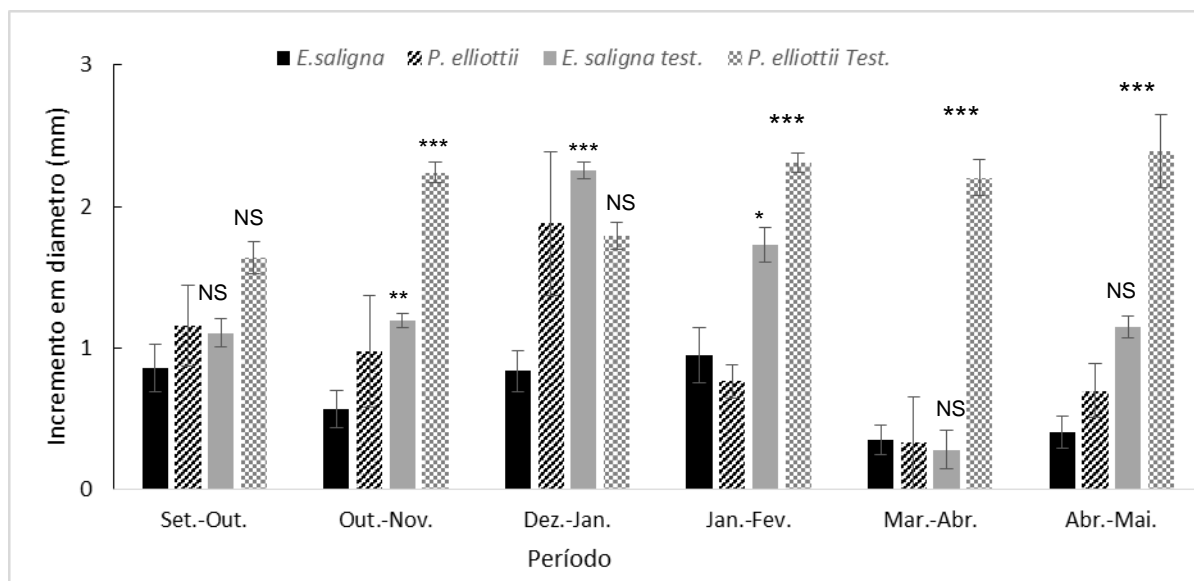
Os incrementos em altura do tratamento sob seca de *P. elliotii*, foram maiores que de suas testemunhas no primeiro e quarto períodos, porém não significativo para uma probabilidade de 5% (Figura 15). Para o incremento em diâmetro, novamente os valores da testemunha foram inferiores ao das plantas sob seca, mas novamente sem diferença estatística (Tabela 6 e Figura 15).

Os incrementos em diâmetro de *P. elliotii* foram significativamente diferentes em quase todos os períodos, exceto no primeiro e terceiro período ( Set.-Out. e Dez-Jan.), nos demais a diferença foi expressiva, significante a 0,1%.

Adicionalmente, a figura 15 apresenta o gráfico com os incrementos médios e barras de erro padrão da média dos incrementos em diâmetro de ambas as espécies e suas testemunhas para os seis respectivos períodos. Nela podemos ver como a

testemunha de *P. elliotii* mantém incrementos muito maiores, especialmente na segunda metade do experimento. Não houve diferença entre as dimensões médias de altura e diâmetro no fim do experimento.

Figura 15 - Médias de incrementos em diâmetro do colo e respectivos erros padrão da média, para os 6 períodos de seca, para tratamentos e testemunha de *P. elliotii* e *E. saligna*.



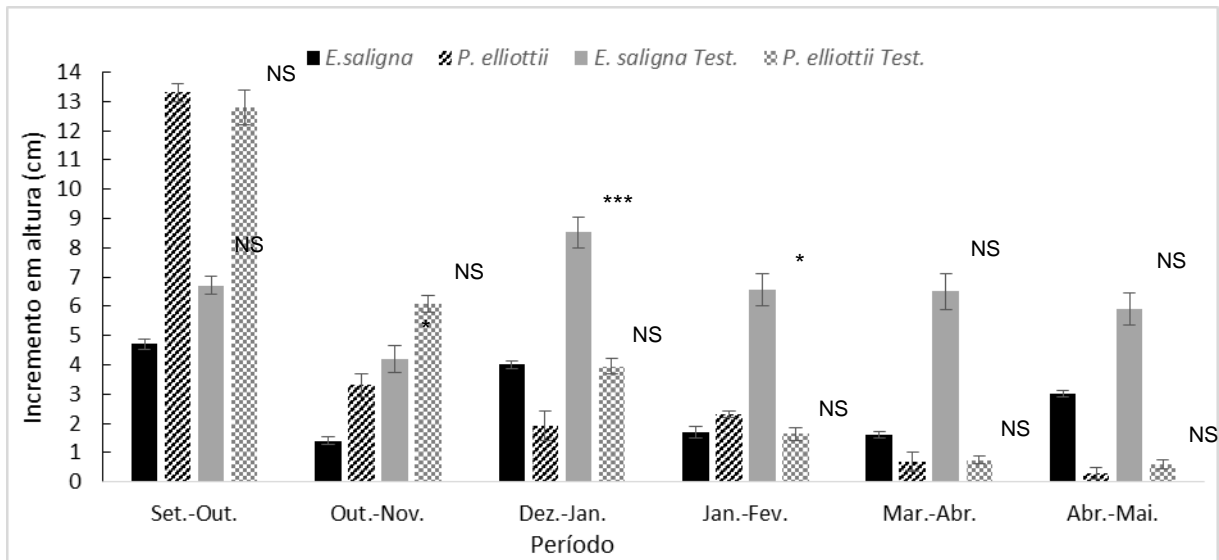
Sendo NS- não significativo, \*- valor significativo a 5%, \*\*- valor significativo a 1%: \*\*\*- valor significativo a 0,1%.

O uso da testemunha com maior número de repetições causou a diminuição do erro padrão da média em relação ao tratamento na quase totalidade dos períodos, para ambos os parâmetros nas duas espécies.

O comportamento de *E. saligna* das médias em altura e diâmetro foi semelhante, ao de *P. elliotii*, sem diferenças significativas dos tratamentos em relação a testemunha no momento posterior a aplicação da seca observados na tabela 8.

Com relação aos incrementos, a redução foi significativa em altura no terceiro e quarto períodos (Dez.-Jan. e Jan.-Fev.) e em diâmetro do segundo ao quarto períodos (Out.-Nov., Dez.-Jan e Jan.-Fev.) (Figura 16). Observa-se aqui uma maior sensibilidade dos incrementos em diâmetro de *P. elliotii*, vindo a ser significativos até o outono, enquanto *E. saligna* estes valores são significativos apenas no fim da primavera e verão.

Figura 16- Médias de incrementos em altura e respectivos erros padrão da média, para os 6 períodos de seca, para tratamentos e testemunha de *P. elliotii* e *E. saligna*.

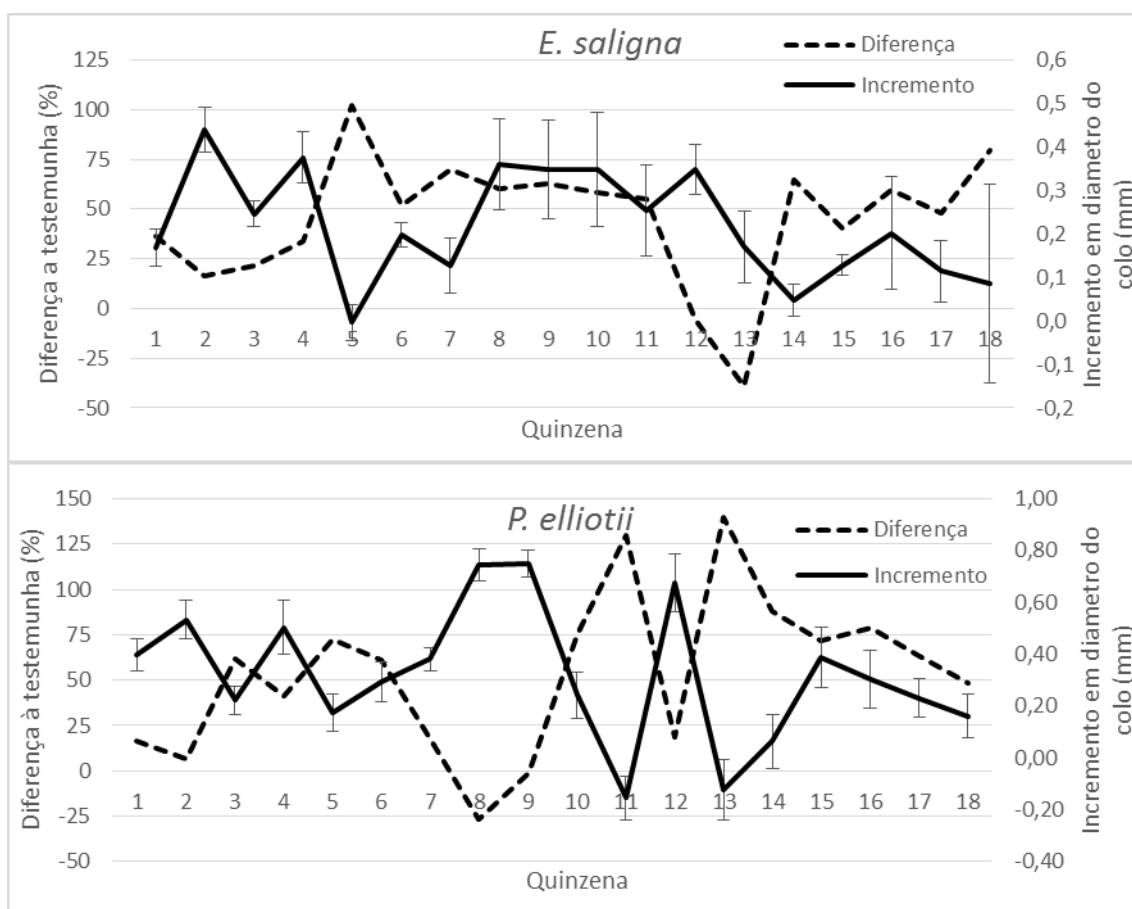


Sendo, NS- não significativo, \*- valor significativo a 5%, \*\*- valor significativo a 1%: \*\*\*- valor significativo a 0,1%.

De maneira a melhor delimitar o momento de maior efeito da indução de déficit hídrico nos incrementos em altura em diâmetro, os dados quinzenais foram comparados à testemunha e a diferença entre ambos calculada e representada nas figuras 17 e 18, para os incrementos em diâmetro e altura, respectivamente.



Figura 17 - Incremento periódico quinzenal em diâmetro e sua diferença à testemunha.



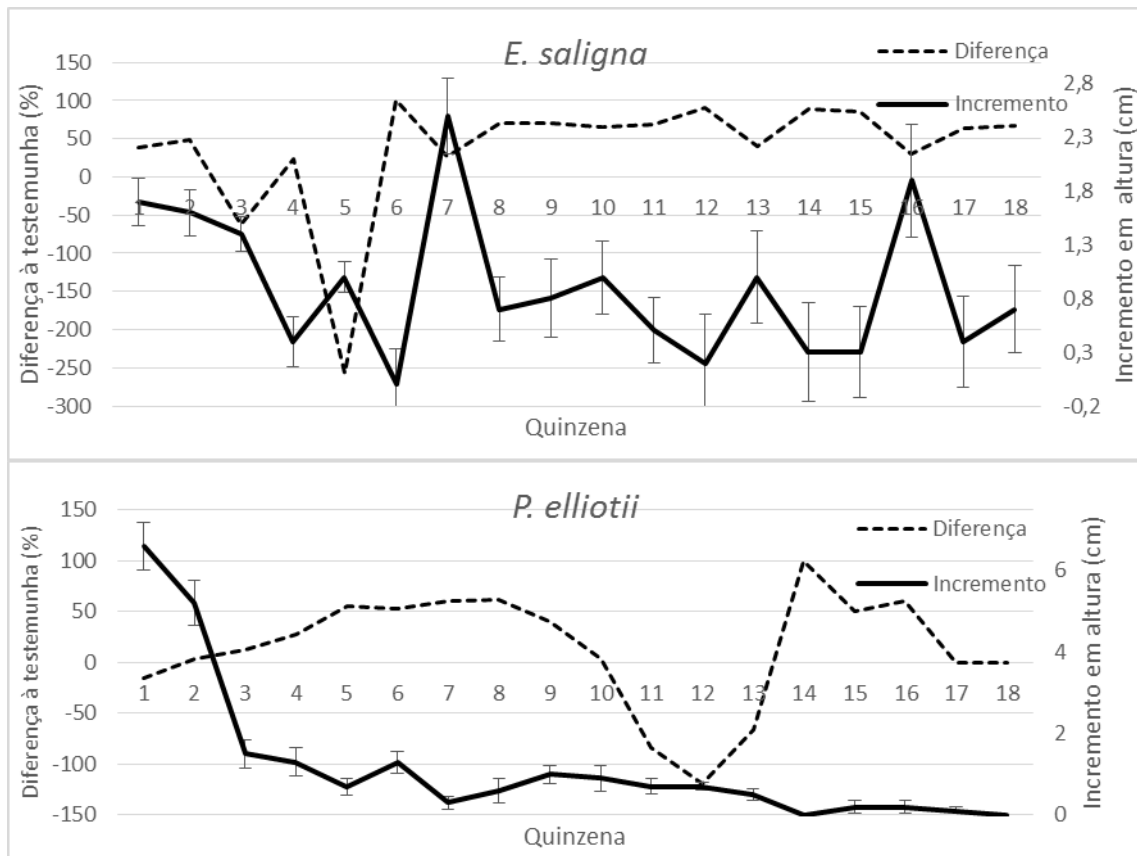
Conforme os resultados expostos na figura 17, entre a 7<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup> quinzena apresenta a maior média para a diferença relativa do incremento periódico do diâmetro de *E. saligna* em relação à testemunha, período este que corresponde ao terceiro período de seca (Dez.-Jan.)

Para e *P. Elliottii*, período que compreendido entre a 13 e 15<sup>a</sup> quinzenas apresenta a maior redução do incremento do diâmetro devido a indução do déficit hídrico, correspondendo ao quinto período de seca (Mar.-Abr.). Este períodos de indução de déficit hídrico apresenta não o maior, mas elevado DPV, conforme a tabela1.

A sensibilidade dos incrementos periódicos em altura foi menor para ambas as espécies, principalmente para *P. Elliottii*, que tem um crescimento em altura por um pulso (*flush*) muito concentrado no início do período vegetativo.

Em experimento de seca artificial em *Picea abies* Jyske et al (2010) encontraram resultados de redução de incremento radial e em altura, com reduções anuais de altura entre 24 e 42% e entre 11 e 21% no incremento radial.

Figura 18 - Incremento periódico quinzenal em altura e sua diferença à testemunha.



### 2.5.3.3. Análise de covariância nos períodos de déficit hídrico.

Com as análises de covariância efetuadas em períodos de 45 dias, divididos em quinzenas, uma melhor interpretação do efeito da seca sobre um modelo matemático do crescimento, mesmo em um curto espaço de tempo, se faz com maior segurança.

Para o incremento em diâmetro de *P. elliotii* ambos coeficientes  $B_0$  e  $B_1$  foram significativos nos três últimos períodos (Jan-Fev. à Abr. Mai.), como observado na tabela 9. Uma mudança no intercepto do modelo nos permite interpretar que logo na primeira quinzena de déficit hídrico o efeito da falta de água se fez presente, diminuindo o crescimento e continuando ao longo do período como refletido pela

mudança do coeficiente angular  $B_1$  (representado na ANCOVA como “Quinzena\* trat”)

Para o incremento em altura de *P. elliotii*, o efeito do déficit hídrico no modelo linear afetou apenas o coeficiente angular  $B_1$  no primeiro e quinto períodos (Set.-Out. e Fev.-Mar.). O fato do modelo de incremento em altura sofrer apenas modificação em sua taxa de crescimento permite interpretar que o efeito da seca nesta feição não tem um efeito tão imediato como visto para o incremento em diâmetro do colo, porém agindo continuamente afetando sua taxa de crescimento. A tabela 7 apresenta a significância dos coeficientes para cada período de seca para ambos os incrementos de *P. elliotii*, assim como as diferenças do teste t anterior.

Tabela 5- Significância das diferença do teste t e dos coeficientes ANCOVA para cada período de déficit hídrico para *P. elliotii*.

Período		Incremento em Diâmetro			Incremento em Altura		
		Teste t	ANCOVA		Teste t	ANCOVA	
			$B_0$	$B_1$		$B_0$	$B_1$
1	Set. Out..	--	--	--	--	*	
2	Out.-Nov.	***	--	--	*	--	
3	Dez.-Jan.	--	--	--	--	--	
4	Jan.-Fev.	***	*	**	--	--	
5	Mar.-Abr.	***	**	**	--	**	
6	Abr.-Mai.	***	***	**	--	--	

Sendo: \*- valor significativo a 5%, \*\*- valor significativo a 1%; \*\*\*- valor significativo a 0,1%, --, valor não significativo.

Percebe-se que para o incremento em diâmetro do colo ambos o teste t e a análise de covariância, tiveram uma coincidência nos períodos com diferenças significantes, sendo a exceção o segundo período (Out.-Nov.). Para o incremento em altura, não houve qualquer coincidência entre os períodos quando avaliados por teste de média ou por ANCOVA. Uma característica na avaliação dos incrementos em altura deve ser ressaltada, a que existe uma grande concentração desse crescimento no período primaveril, sendo muito inferior após o fim do verão, como já fora demonstrado anteriormente. O fato do modelo apresentar taxa de crescimento em altura neste momento deve ser interpretada tendo em mente essa característica e relevar sua significância uma vez que erros e comportamentos erráticos em incrementos menores que 1 cm podem gerar esta significância estatística.

As tabelas com as ANOVAS e ANCOVAS dos modelos lineares para os incrementos em diâmetro e altura de *P. elliotii* para cada período de déficit hídrico podem ser encontradas a partir do apêndice LVII.

Os resultados das significâncias dos modelos lineares para os incremento em altura e diâmetro de *E. saligna* se encontram na tabela 8.

Tabela 6- Significância das diferença do teste t e dos coeficientes da ANCOVA para cada período de déficit hídrico para *E. saligna*.

Período		Incremento em Diâmetro			Incremento em Altura		
		Teste <i>t</i>	ANCOVA		Teste <i>t</i>	ANCOVA	
			B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>		B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>
1	Set.-Out.	--	--	***	--	*	***
2	Out.-Nov.	**	--	***	--	*	***
3	Dez.-Jan.	***		*	***	--	--
4	Jan.-Fev.	*	*	--	*--	--	--
5	Mar.-Abr.	--	--	--	--	--	--
6	Abr.-Mai.	--	--	--	--	--	*

Sendo: \*- valor significativo a 5%, \*\*- valor significativo a 1%: \*\*\*- valor significativo a 0,1%.

Para o incremento em diâmetro observa-se que existe diferença significativa dos coeficientes angulares dos modelos, tendo uma certa coincidência com os resultados do teste t no segundo e terceiro período. Porém no quarto período, há apenas diferença entre os interceptos do modelo sob tratamento e a testemunha. Isto pode ser interpretado como um efeito rápido e momentâneo no início do período de seca, e a manutenção de uma taxa de crescimento semelhante à testemunha.

Em relação a altura tem-se uma diferença entre ambos os coeficientes dos modelos, com variação da taxa (coeficiente angular B<sub>1</sub>) e do nível (intercepto, B<sub>0</sub>) nos dois primeiros períodos de simulação de déficit hídrico (Set.- Out. e Out.-Nov.) a qual é interpretada como um efeito da seca que modifica rapidamente o crescimento já nos dias iniciais de aplicação da seca e também modifica a taxa ao longo deste período.

O incremento em altura também teve influência no último período, porém mais sutilmente, onde apenas a taxa de crescimento apresentou diferença quando comparada a testemunha. Da mesma maneira que *P. elliotii*, *E. saligna* não apresentou coincidências nos períodos com significante diferença entre o teste t e a ANCOVA para o incremento em altura, mesmo tendo para *E. saligna* ambos testes

se aproximado para o início do experimentos, não houve sobreposição dos resultados.

Uma resposta que pode ser obtida com esses resultados é de que o teste de médias mede apenas o incremento durante o período. De maneira mais sofisticada, a ANCOVA nos transmite mais informações, permitindo interpretações de como este crescimento ocorreu, tendo os efeitos ocorrido no início, fim ou ao longo do tempo, seguindo o modelo matemático obtido. Viu-se que para o incremento em diâmetro de ambas as espécies, teve uma melhor sincronia entre o teste t e a ANCOVA. Já o mesmo não pode ser dito para o incremento em altura, estes resultados reafirmam uma maior sensibilidade do diâmetro a seca nos períodos temporais avaliados. O uso de ambos os testes estatísticos deve ser feito em conjunto afim de permitir uma melhor interpretação sobre a diferenciação de incrementos, tanto sobre uma visão integral, como sobre a forma em que ocorre.

Dobbertin et al., (2010) fazendo uso de ANCOVA na diferenciação de tratamentos de seca no crescimento de ramos de *Pinus sylvestris*, encontraram somente diferença significativa no coeficiente angular dos modelos.

Usando regressões lineares, Wimmer et al., 2000 tiveram sucesso detectando mudanças na distribuição do incremento radial altamente correlacionado com a disponibilidade de água no período primaveril.

#### **2.5.4 Relações entre as variáveis climáticas e os incrementos**

Os dados de incrementos em diâmetro e a diferença no incremento em relação a testemunha, pareados com as variáveis climáticas, foi o DPV que obteve a melhor relação e está representado nas figuras 19 e 20.

A plotagem dos dados de incrementos em milímetros por quinzena não apresentam diferença na tendência entre as espécies (figura 19), cujo comportamento do incremento do diâmetro durante o período de seca e o DPV são semelhantes. Este fato também é confirmado pela ANOVA da tabela 9.

Tabela 7 - Análise de Variância da relação entre o DPV e o incremento do diâmetro.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	Pr > F
Modelo	3	0,223	0,074	1,850	0,159
Erro	32	1,288	0,040		
Total	35	1,511			

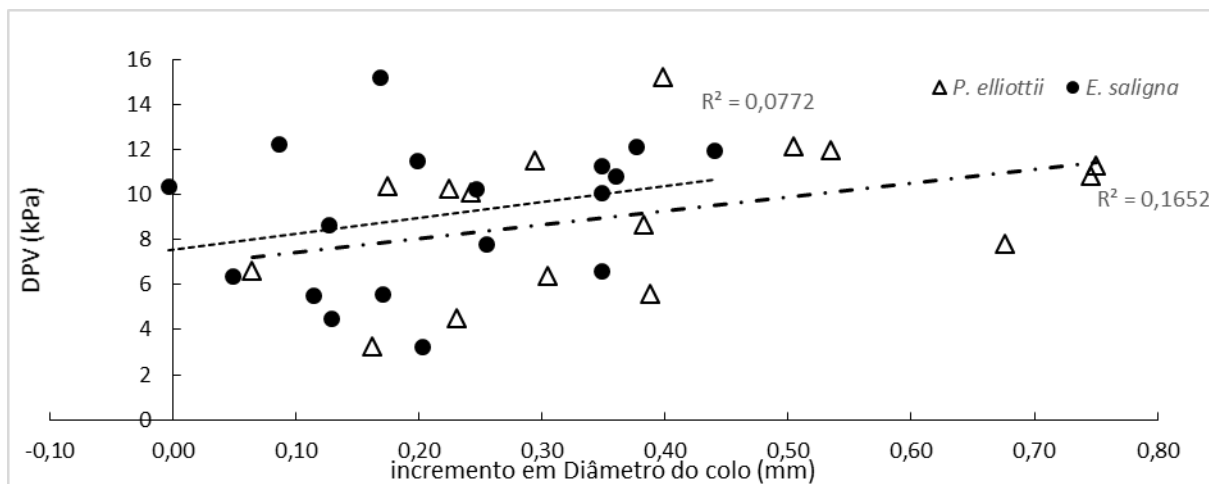
  

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	Pr > F
DPV	1	0,117	0,117	2,900	0,098
sp	1	0,001	0,001	0,010	0,910
DPV*sp	1	0,016	0,016	0,400	0,531

Sendo: DVP: déficit de pressão de vapor e sp: espécie

Pela análise da ANOVA da tabela 9, confirma-se que o uso de um modelo usando o DPV para descrever o incremento não é significativo ( $P=0,159$ ). Da mesma maneira, não diferenciação no comportamento das espécies e de sua interação com o DPV ( $P=0,910$  e  $0,531$  respectivamente).

Figura 19 - Relação do déficit de pressão de vapor com o incremento periódico quinzenal em diâmetro do colo.



Porém, quando a diferença relativa entre o tratamento e a testemunha é utilizada (Figura 20), o comportamento das espécies é contrastante. Para *P. Elliottii* houve maior diferença para a testemunha quando o tratamento foi submetido a seca em um período com menor DPV. Permitindo assim à testemunha uma boa performance de incremento em diâmetro. Contrariamente, em momentos de alta demanda hídrica da atmosfera, ou seja altos valores de DPV, a diferença entre o tratamento e a testemunha foi menor. Tal fato indica que a testemunha, mesmo em

condições de água do solo favorável, apresenta incremento pouco diferenciado do tratamento de seca. Este comportamento pode ser interpretado como sendo uma defesa em períodos com alto DPV, mesmo a testemunha tendo disponibilidade adequada de água, houve “economia” do recurso hídrico, e o incremento não diferenciado do tratamento submetido a seca.

Em *E. saligna* segue um padrão em que o tratamento que ocorreu durante período de DPV maior, teve maior diferença com relação a testemunha, o que significa que esta cresceu mais proporcionalmente com a quantidade de água no solo. Isto também reflete o maior crescimento relativo em diâmetro da testemunha mesmo em altos DPV, contrariamente ao *P. elliottii*.

Considerando a ANOVA para as diferenças relativas dos tratamentos a testemunha e o DPV observa-se na tabela 10 que o modelo gerado é significativo (P=0,042) e o efeito da espécie e de sua interação com o DPV são igualmente significativos (P=0,0121), o que colabora com a interpretação de que com a diferenciação do DPV as espécies tem comportamentos significativamente diferentes.

Tabela 8 - Análise de Variância da relação entre o DPV e diferença de incremento em relação a testemunha.

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	Pr > F
Modelo	3	10.261,2	3.420,4	2,710	0,042
Erro	32	40.427,6	1.263,4		
Total	35	50.688,9			

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F	Pr > F
DPV	1	2.346,3	2.346,3	1,86	0,1825
sp	1	7.894,4	7.894,4	6,25	0,0177
DPV*sp	1	7.310,2	7.310,2	5,79	0,0121

A relação do incremento do diâmetro sob déficit hídrico e a transpiração total durante cada época de seca, estimada anteriormente está exposta no gráfico da figura 21A. Observando-se o uma relação com valores consideravelmente menores para *P. elliottii*, tendo este mostrado uma tendência de diminuição do consumo de hídrico mesmo com manutenção e até aumento do incremento periódico. Este fato mostra uma maior flexibilidade de *P. elliottii* aumentando a eficiência em período de déficit hídrico.

Uma relação semelhante pode ser feita com a relação da transpiração durante o período de déficit e a transpiração das duas espécies. Novamente observa-se a manutenção dos valores de transpiração mesmo com a elevação do DPV, o qual conta na figura 21B.

Em experimento em floresta mista de *Pinus sylvestris* e carvalho, Aldea et al (2017) relacionaram positivamente o incremento radial com a radiação solar e precipitação, e negativamente com o déficit de pressão de vapor. Este estudo também demonstrou uso de água mais conservativo do que a espécie de carvalho desta floresta, os autores afirmam que esse comportamento de controle de transpiração em resposta à seca como sendo moderado para carvalho e restrito para pinus.

Figura 20 - Relação do déficit de pressão de vapor com a diferença relativa à testemunha do incremento periódico quinzenal em diâmetro do colo.

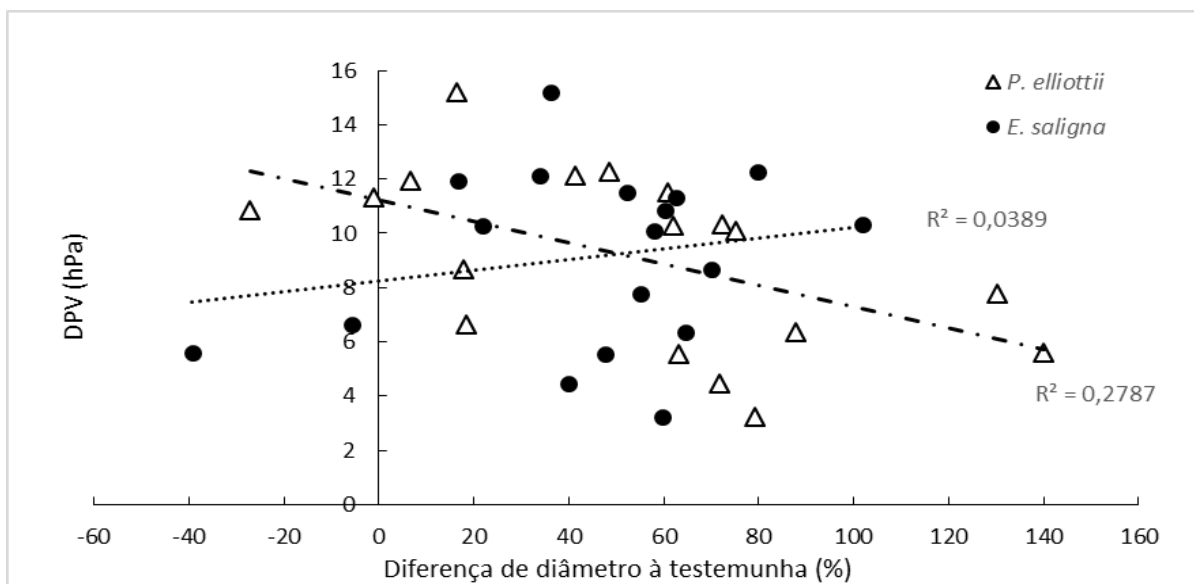
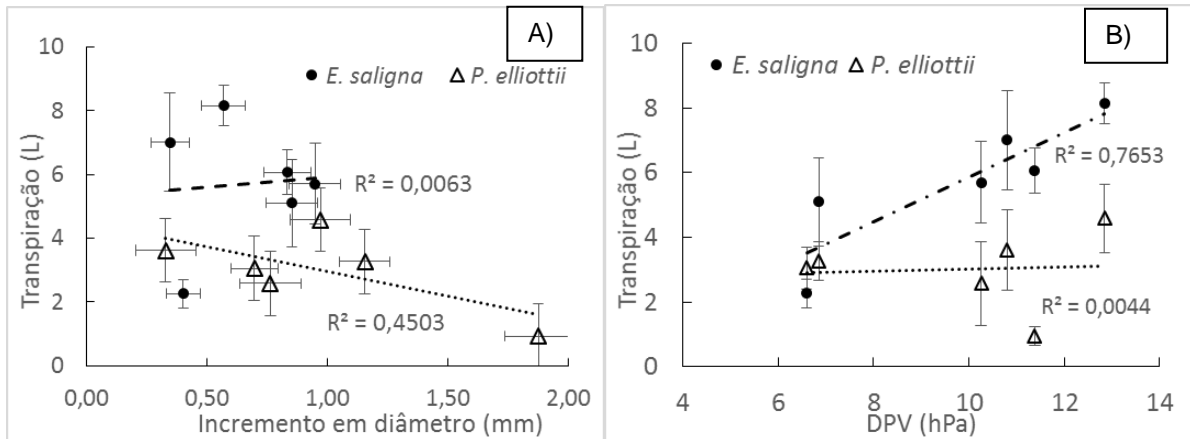




Figura 21 - A) Relação do incremento em diâmetro e a transpiração no período de seca. B) Relação do déficit de pressão de vapor com a transpiração em cada período.



Dye *et al.*(1987) Encontraram boas relações entre DPV e transpiração do dossel de *Eucalyptus sp* assim como Medhurst *et al.* (2002) para várias espécies de coníferas. Em experimento com irrigação com efluentes na Austrália, Myers *et al* (1996) encontraram maiores consumos hídricos de *Eucalyptus sp* em comparação á *Pinus radiata*, em todos os tratamentos durante dois anos. Esta diferença diminuiu com proporcionalmente com a concomitante redução da diferença entre a área foliar das espécies. Estes autores também concluíram que um modelo que incorpore o DPV como controlador da condutância estomática gera uma melhora significativa em sua acurácia.

### 3.6. CONCLUSÕES

Com os resultados desta pesquisa conclui-se:

- a) Diferentes épocas de seca causam diferenciação do incremento periódico em altura e diâmetro de *P. elliotii* e *E. saligna*
- b) Análise de covariância de modelos lineares demonstrou que existem diferenças de crescimento em diâmetro do colo e altura de ambas as espécies, porém seu uso na discriminação dos incrementos durante o período de seca é mais eficiente
- c) O consumo de água em períodos de seca é menor em *P. elliotii*, do que em *E. saligna*.
- d) O incremento do diâmetro do colo se mostrou mais variável durante exposição à seca, tendo efeito mais prejudicial em períodos diferentes para *E. saligna* e *P. elliotii*.
- e) Os comportamentos de uso de água durante o período de seca de *P. elliotii* e *E. saligna*, são diferentes e apresentam relação contrastante com o déficit de pressão de vapor.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. A revanche dos ventos: destruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha gaúcha. **Ciência e Ambiente**, v.1, p.7-31, 1995.

ALDEA, J., BRAVO, F., BRAVO-OVIEDO, A., RUIZ-PEINADO, R., RODRÍGUEZ, F., DEL RÍO, M. Thinning enhances the species-specific radial increment response to drought in Mediterranean pine-oak stands. **Agricultural and Forest Meteorology**. n. 237–238. p. 371–383. 2017.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2009 — Ano-Base 2009. Brasília: **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas**, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anoario-ABRAF-2010-BR.pdf>

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2015 — Ano-Base 2014. Brasília: **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas**, 2015. Disponível em: [http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anoario-iba\\_2015.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anoario-iba_2015.pdf)

BDMEP. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**, INMET, Eixo Monumental, Via S1, Sudoeste Brasília. 2017.

BELLÉ, P.A., **Influência da disponibilidade hídrica e do preparo do solo no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. cultivado em neossolo quartzarênico**. 2014. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2014.

DOBBERTIN, M., EILMANN, B., BLEULER, P., GIUGGIOLA, A., PANNATIER, E. G., LANDOLT, W., SCHLEPPI, P., RIGLING, A. Effect of irrigation on needle morphology, shoot and stem growth in a drought-exposed *Pinus sylvestris* forest. **Tree Physiology**. n. 30, p. 346–360. 2010.

DYE, P. J. Estimating water use by *Eucalyptus grandis* with the Penman-Monteith equation,” in **Proceedings of the Vancouver Symposium of Forest Hydrology and Watershed Management**, R. H. Swanson, P. Y. Bernier, and P. D. Woodard, Eds., pp. 329–337, IAHS Publication, Oxfordshire, UK. 1987.

E H. DELUCIA, H MAHERALI. E. V. CAREY. Climate-driven changes in biomass allocation in pines. **Global Change Biology**. n. 6, p. 587-593. 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

JYSKE, T., HÖLTTÄ, T., MÄKINEN, H., NÖJD, P., LUMME, I., SPIECKER, H. The effect of artificially induced drought on radial increment and wood properties of Norway spruce. **Tree Physiology**, n.30, p. 103–115. 2010

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul, **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 11, p. 71-80, 1995.

MEDHURST, J.L.; BATTAGLIA, M.; AND BEADLE, C. L.; Measured and predicted changes in tree and stand water use following high-intensity thinning of an 8-year-old *Eucalyptus nitens* plantation. **Tree Physiol.** London. 22. p.775–784. 2002.

MYERS, B. J.;THEIVEYANATHAN, S.;O'BRIEN, N, D.;BOND, W. J.; Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and plantations irrigated with effluent. *Tree Physiology* n.16, p. 211–219. 1996.

WIMMER, R., STRUMIA, G., F HOLAWA, F. Use of false rings in Austrian pine to reconstruct early growing season precipitation. **Can. J. For. Res.** n.30, p. 1691–1697. 2000.

4. PHENOTYPIC DIFFERENCES IN *PINUS RADIATA* D. DON IN WATER TRANSPIRATION AND GAS EXCHANGE BETWEEN THREE GENOTYPES UNDER CONTRASTING WATER STRESS CONDITIONS IN SITU.

DIFERENÇAS FENOTÍPICAS EM *PINUS RADIATA* D. DON EM TRANSPIRAÇÃO DE ÁGUA E TROCAS GASOSAS ENTRE TRÊS GENÓTIPOS EM CONDIÇÕES CONTRASTANTES DE STRESS HÍDRICO IN SITU

Pierre André Bellé<sup>1,2</sup>, Dean F. Meason<sup>1</sup>, Alan C. Leckie<sup>1</sup>, and Jianming Xue<sup>1</sup>

1 Scion, 49 Sala Street, Rotorua, New Zealand.

2 Federal University of Santa Maria, 44B Avenida Roraima, nº 1000, Cidade Universitária, Santa Maria, Brazil.

## Resumo

As mudanças climáticas e a intensificação da agricultura na Nova Zelândia podem colocar o setor florestal comercial do país sob pressão quanto à quantidade de água usada nas bacias hidrográficas. Para quantificar o impacto da espécie florestal dominante, *Pinus radiata* D. Don, a utilização de água, e a quantidade de transpiração sobre o rendimento precisa ser quantificado. Embora que, uma pesquisa recente em estufa tenha indicado que alguns genótipos de *P. radiata* usam menos água do que outros, isto mostrou-se contraditório com uma limitada pesquisa sobre a transpiração de *P. radiata* in situ de mais de 30 anos. Este estudo quantificou a transpiração da água de três genótipos de *P. radiata* de 11 anos em um local de baixa precipitação na floresta de Balmoral, Ilha Sul da Nova Zelândia. Medições de fluxo de seiva e avaliações periódicas da troca de gás carbônico e vapor de água do dossel foram tomadas em diferentes estações, adicionalmente, os mesmos genótipos, localizados na floresta de Craieburn, West Coast, que possui alta precipitação também passaram por avaliação de trocas gasosas. As diferenças clonais foram encontradas na floresta de Balmoral com transpiração mensal e total ao longo de um período de 17 meses. O clone C4 apresentou uma transpiração total de 6440 L enquanto o clone C2 e o clone C7 apresentaram menos transpiração, 4733 L e 5990 L, respectivamente. No entanto, o clone C7 usou mais água proporcionalmente ao incremento do tronco que os outros dois clones. A plasticidade fenotípica foi evidente, principalmente na capacidade fotossintética, condutância estomática, dióxido de carbono intercelular foliar e transpiração específica da folha, tendo apresentado mudanças inter sazonais significativas. Este estudo quantificou o uso de água na idade de 11 anos *P. radiata* em um ambiente de baixa precipitação e mostrou diferenças significativas entre os genótipos na transpiração total da árvore. Isso indicou que os investimentos florestais comerciais poderiam selecionar genótipos para um melhor uso de água.

**Palavras-chave:** Fluxo de Seiva; Fotossíntese; Nova Zelândia

## Abstract

Climate change and agricultural intensification in New Zealand could put the country's commercial forestry sector under pressure for how much water it uses in catchments. To quantify the impact of the dominant forestry species, *Pinus radiata* D. Don, on catchment water yield, the amount of transpiration needs to be quantified. Although recent greenhouse research has indicated that some *P. radiata* genotypes use less water than others, the little research on *P. radiata* transpiration in situ is over 30 years old and contradictory. This study quantified water transpiration of three 11 year-old *P. radiata* genotypes at a low precipitation site in Balmoral forest, South Island of New Zealand. Periodic canopy gas exchange measurements were also taken and contrasted with the same genotypes located at the Craighburn forest site that has high precipitation. Clonal differences were found at Balmoral forest with monthly and total transpiration over a 17-month period. Clone C4 transpired a total of 6440 L while clone C2 and clone C7 transpired less water compared to C4, 4733 L and 5990 L respectively. However, clone C7 used more water proportionally to its volume increment as the other two clones. Phenotypic plasticity was evident with differences mainly in photosynthetic capacity, the stomatal conductance, foliar intercellular carbon dioxide, and leaf specific transpiration showed significant seasonal changes. This study quantified water use of age 11 *P. radiata* in a low precipitation environment and showed that significant differences between genotypes in total tree transpiration. This would indicate that commercial forestry operations could select genotypes for lower water use.

**Key words:** Sap Flow; Photosynthesis; New Zealand.

## Introduction

With climate change, large areas of New Zealand are expected to become drier and more prone to drought (Renwick et al. 2013). Increased frequency and severity of droughts caused by climate change is a major risk to the productivity and health of New Zealand's planted forests (Dunningham et al. 2012), which depend on moisture to maintain high levels of carbon sequestration and storage. Traditionally commercial forests in New Zealand are established in areas that are not economic to farm, which is typically located in the headwaters of catchments. The intensification of agriculture is increasing catchment water demand and the introduction of new forthcoming national legislation on freshwater management is starting to question the New Zealand forestry industry on how much water is being used in catchments, where commercial forests are established, and how they are managed. These current and future issues could have a serious impact on the regulation of commercial forests and future export earnings for New Zealand's third largest export earner from the primary sector (Ministry for Primary Industries 2017). *Pinus radiata* (D. Don) is the most important plantation forest species in New Zealand as it comprises 90% of the commercial forestry estate (Forest Owners Association 2016). Understanding how water-use regulation relates to tree biomass accumulation, wood formation and quality is imperative for improving *P. radiata* production in water-limited environments. In addition, this will be an important consideration for managing plantations and their associated impacts on water balance (Quentin et al. 2012).

Water plays an essential role in several vital processes of plants, and is the most important limiting factor in terrestrial ecosystems. Plant gas exchange, photosynthesis and terrestrial productivity are constrained by the root-to-leaf water transport capacity (Sperry 2000). In fact, CO<sub>2</sub> uptake through stomata is unavoidably coupled to massive water loss from photosynthetic tissue to the atmosphere (Jones 1998). Only adequate hydraulic efficiency of plant water transport systems can warrant continuous replacement of water lost by transpiration and maintenance of cellular hydration in leaves, roots and meristematic regions for normal plant growth and development and biomass production. It is theorised that plant hydraulics constrain ecosystem productivity by setting physical limits to water transport and hence carbon uptake by leaves (Manzoni et al. 2013). In this manner, water transport



and photosynthesis in trees are regulated by the hydraulic conductance (Mencuccini 2003, Tyree 2003). According to the hydraulic limitation hypothesis (Ryan and Yoder 1997), the increase of hydraulic constraints with tree height reduces stomatal conductance, and this could account for the size related decline in photosynthetic capacity (Bond 2000; Hubbard et al. 2001), which can eventually translate in the decline of aboveground forest productivity (Ryan et al. 1997). It remains unclear how tree size, a response to its genetic make-up and environment factors, impacts plant water use efficiency (WUE, a ratio of carbon gain to water loss), which is an important trait for coupling plant productivity and efficient exploitation of water resources (Dewar 1997). Several studies, it has been found that WUE increases as trees grow taller, which is often interpreted as an effect of increased hydraulic and stomatal limitations that constrain water losses by transpiration rather than carbon gain by photosynthesis (McDowell et al. 2002; Delzon et al. 2004). The coordination between the two long-distance transport systems in trees, xylem and phloem was theoretically suggested (Hölttä et al. 2006, 2009) and recently demonstrated (Sevanto et al. 2003, 2014, Sokolowska and Zagorska-Marek 2012, Pfautsch et al. 2015). Ryan et al. (2006) suggest that there are no universal mechanisms to explain the decline of productivity as tree grow taller, but more components can be involved together. Linking whole-tree level water and assimilate transport, gas exchange and carbon allocation holds great potential to explain the genotype differences in productivity in different environments.

There are few studies that have measured *P. radiata* water use directly (Hatton and Vertessy 1990, Teskey and Sheriff 1996), and fewer still have measured it in New Zealand (Benecke 1980, Gifford et al. 1982, Whitehead et al. 1983). Hatton and Vertessy (1990) found no difference in transpiration between clones in Australia and Whitehead and others (1983) found no difference in stomatal conductance and calculated transpiration between clones. Conversely, Bennett and Rook (1978) found one clone transpiring a significantly lower rate than the other clone. Several more recent studies have shown that genotype can influence *P. radiata* biomass allocation WUE and foliar carbon isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$ ) signature (Codesido et al. 2012, Xue et al. 2013, Li et al. 2015) in low precipitation environments. However, these measures are indirect, can be confounded by other environmental limitations, and does not quantify whole tree water use between genotypes. Indeed, a study with *P. radiata* in central

Chile found no difference in WUE or with canopy gas exchange between genotypes (Epinoza et al. 2017). Another study that examined the  $\delta^{13}\text{C}$  in growth rings of different *P. radiata* genotypes grown in low precipitation areas of Australia found the isotopic signatures similar and concluded that water use efficiency of the species was stomatally-driven response to site conditions. One recent greenhouse study on three different one-year-old genotypes that measured canopy gas exchange and tree hydraulic conductance found that some genotypes are not only have higher WUE and lower hydraulic conductance, but also that root aquaporins were important in regulating hydraulic conductance in dry conditions (Gamir et al. under revision). However, the results from this study may be an artefact of the greenhouse and/or the young age of the trees. Investigating directly canopy gas change and water use between *P. radiata* genotypes *in situ* would not only quantify water use, but also determine if any potential genotype differences in water use is not trumped by the impact of site limitations on growth.

A better understanding of the genetic and environmental control of WUE and drought resistance in relation to water use is important for forest management in maintaining or increasing *P. radiata* tree growth and productivity. Detailed knowledge of the ecophysiology and water relations of radiata pine deployment clones under field conditions with different climatic and soil moisture regimes is critically needed in order to match appropriate genotypes to site conditions for maximising productivity. This will aid in the designs of new management systems with high WUE and improve model parameterizations aimed at predicting radiata pine's responses to future climate. Understanding the physiological mechanisms of growth response to drought stress becomes even more complex when different genotypes are compared (Stape et al. 2013). An integrated ecophysiological approach is required to unravel the complexities of genotype x environment interactions.

The objectives of this study are to 1) determine if there are clonal differences in water use in a water limited environment for trees *in situ*, 2) determine if there is a strong relationship between instantaneous gas exchange measurements and sap flow, and 3) determine if there is physiological plasticity of clones when canopy water use is compared between two sites with contrasting precipitation.

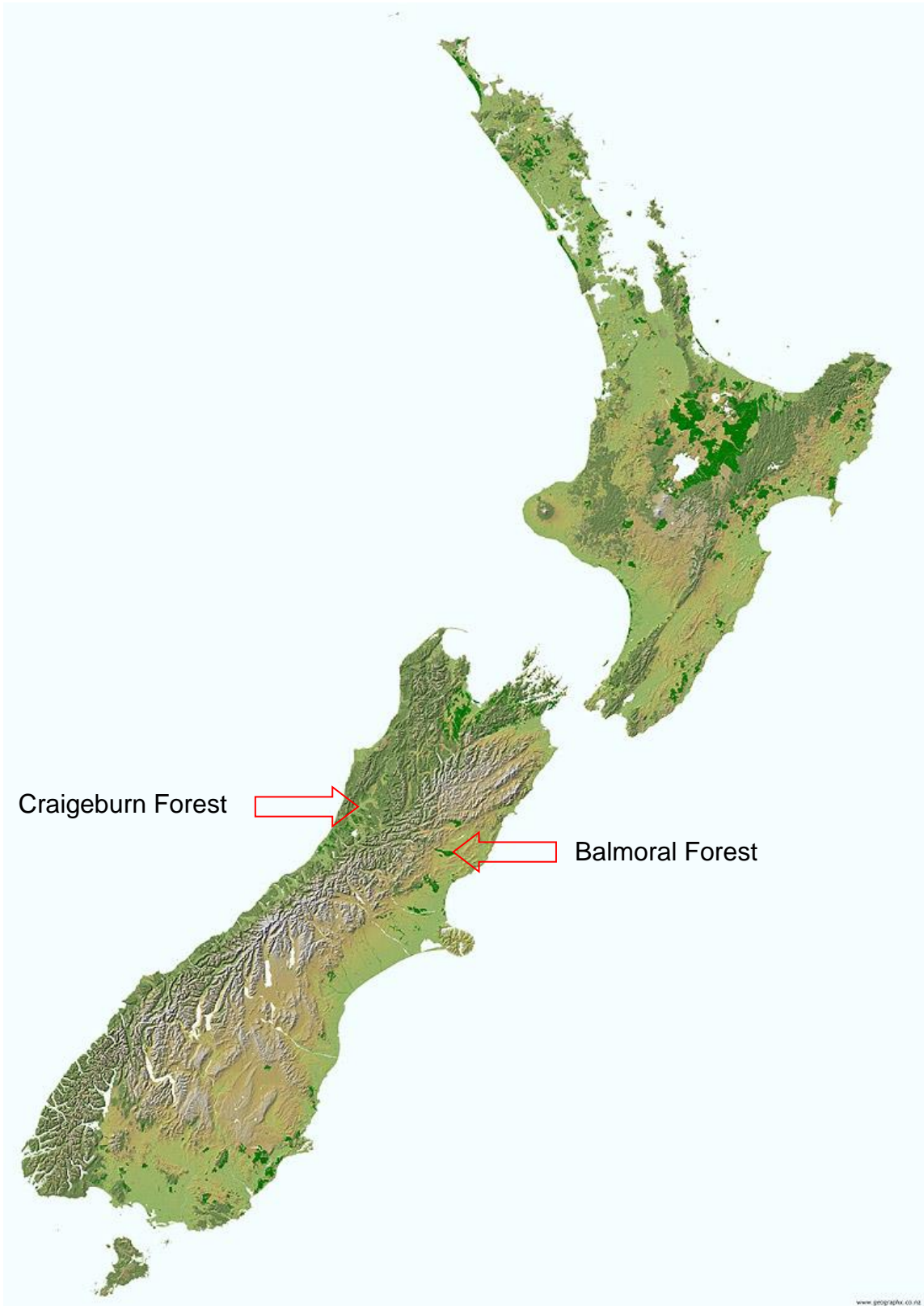


Figure 1: Location of the LTSP III Sites used on this research.

## Materials and Methods

### Site and trial description

The experiment was conducted at two sites with contrasting climatic conditions. The first site is located at Balmoral Forest (“dry” site) (42° 47’ 56” S, 172° 37’ 12” E), approximately 81 km north of Christchurch in the East Coast of South Island of New Zealand (Figure 1). The second site is located at Craigeburn Forest (“wet” site) (42° 15’ 32” S, 171° 33’ 57” E), approximately 36 km north east of Greymouth in the West Coast of the South Island of New Zealand. Both sites are on a similar latitude, however the mean annual precipitation and mean annual temperature are higher at the Craigeburn site (Table 1). The Balmoral site has stony Dystrochrepts soils while the Craigeburn site has Aquods soils. It is assumed that *P. radiata* productivity at the Balmoral site is limited primary by low precipitation. The Balmoral site has a known soil boron deficiency while the Craigeburn site has low macro nutrient availability (unpublished data). Both sites are part of a *P. radiata* clonal genotype x environmental trial series, Long Term Soil Productivity Trials III, that was established at 14 sites throughout New Zealand in the early 2000’s. Balmoral site was established in 2002 and Craigeburn was established in 2004.

Table 1: Summary table of climate data from the Balmoral and Craigeburn sites for the study period from January 2016 to May 2017

	Annual	Max.	Avg.	Avg.RH.	Avg.Min.	
	rainfall (mm)	Temp.(°C)	Temp.(°C)	(%)	Temp. (°C)	VPD (KPa)
Balmoral. Canterbury	784	18.33	10.65	75.01	3.28	3.95
Craigeburn. West Coast	2730	17.11	11.85	86.97	7.67	1.95

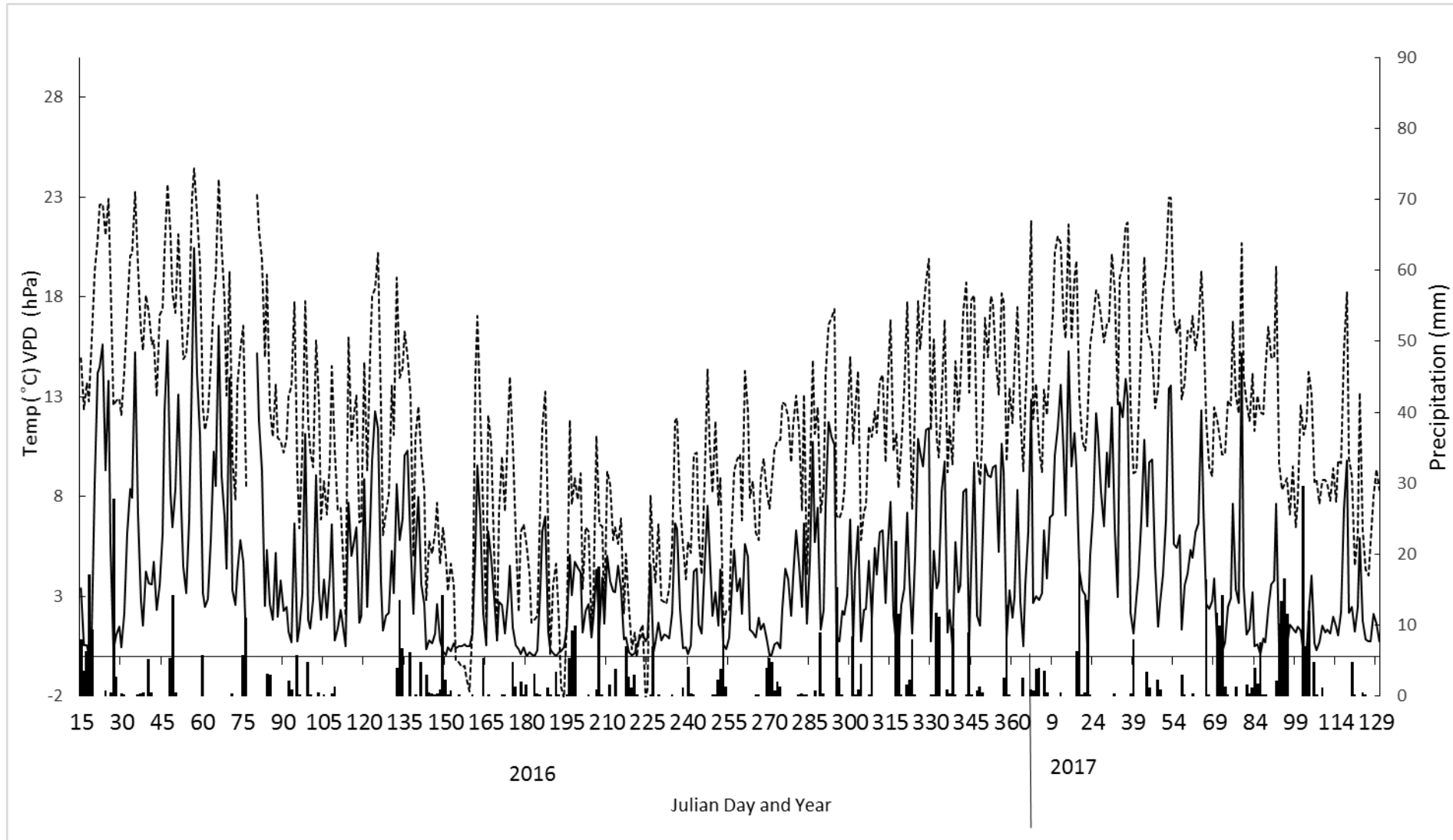


Figure 2: Daily precipitation (vertical bars), and averages temperature (dotted line) and VPD (full line) acquired by the meteorological station at the Balmoral, LTSP III Site, North Canterbury.

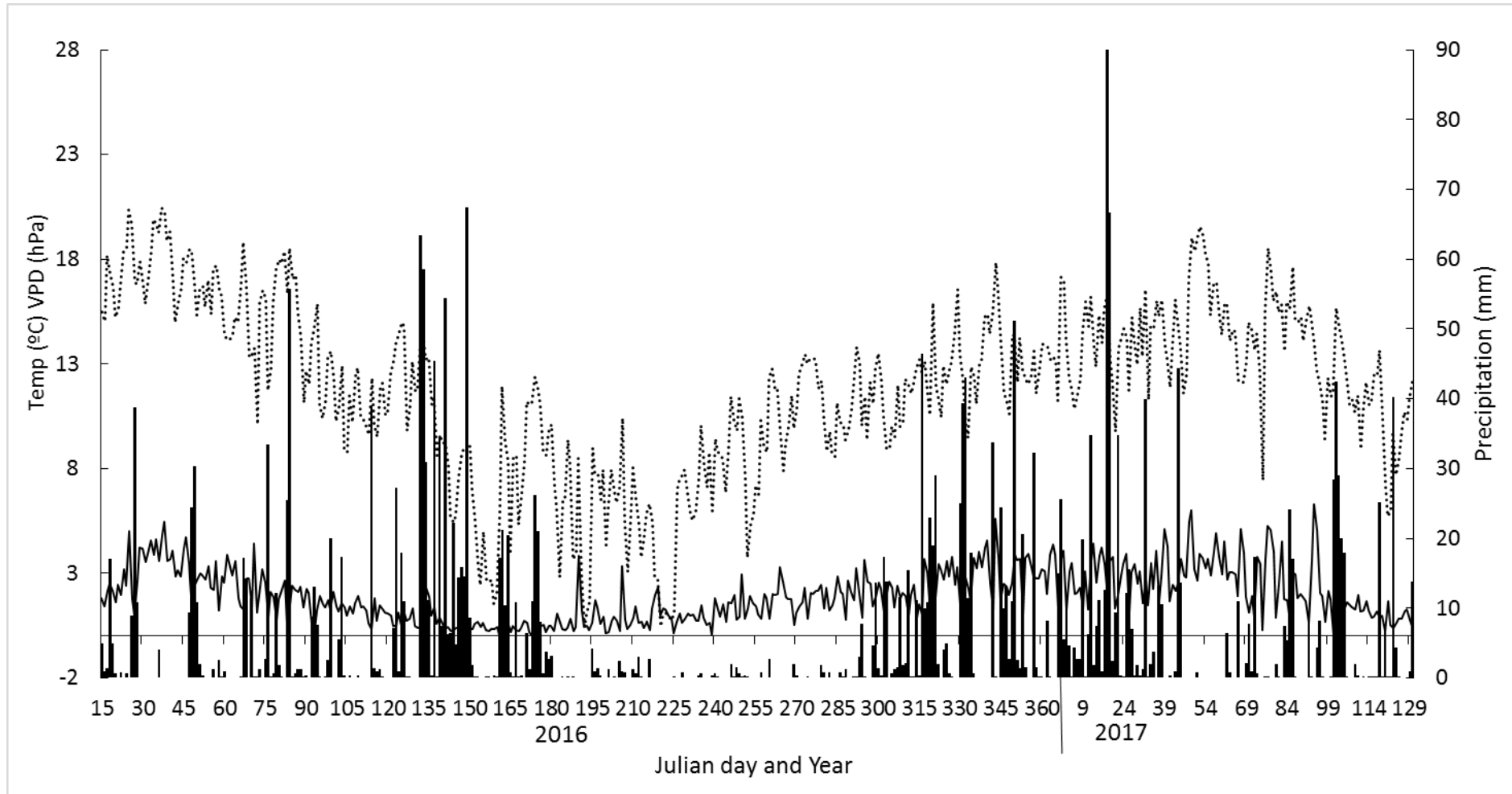


Figure 3: Daily precipitation (vertical bars), and averages temperature (dotted line) and VPD (full line) acquired by the meteorological station at the Nelson Creek, LTSP III Site, West Coast.

Both sites are located on second rotation *P. radiata* forest sites and trees were planted at a 4 x 4 m spacing to give a final stocking of 625 seedlings ha<sup>-1</sup>. At establishment, ramets of each of 40 radiata pine clones were randomly planted in each plot. Two buffer rows surrounding the plots were planted with commercially available clonal material of *P. radiata*. Herbicides were applied prior to planting to control shrub and herbaceous weeds. No fertilizers were applied during or after establishment of the trials and the trees were not thinned or pruned. Further detail about the clonal trial can be found in Xue et al. (2013). Four plots were established at Balmoral with three ramets per clone per plot, while two plots were established at Craigeburn with six ramets per clone per plot.

#### Clonal selection and stem sap flux measurements

In 2015, three clones were selected based on contrasting foliar  $\delta^{13}\text{C}$  value and growth performance measured at the Balmoral site at age four. It was assumed that foliar  $\delta^{13}\text{C}$  was an indicator of water use efficiency of the genotypes at this low precipitation site. The selected clones were measured at both sites. At Balmoral, one ramet per clone was randomly selected in each of three plots. One plot was randomly selected not to be used at Balmoral. A total of nine trees were measured. At Craigeburn, four ramets per clone were randomly selected for measurement in each of the two plots.

At Balmoral, Sap Flow Meter 1 (SFM-1) sap flow flux probes (ICT International, Armidale, Australia) were used to measure transpiration rates. The SFM-1 use the Heat Ratio Method (HRM) to measure both sap velocity and volumetric water flow in xylem tissue using a short pulse of heat as a tracer. It is a modification of the Compensation Heat Pulse Method. By measuring the ratio of heat transported between two symmetrically placed temperature sensors, the magnitude and direction of water flux can be calculated. This method was developed by the University of Western Australia and partner organisations as International Center for Research in Agroforestry and Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. The SFM-1 has been validated against gravimetric measurements of transpiration and used in sap flow research since 1996. (Burgess et al. 2001).

The Compensation Heat Pulse Method uses two probes containing temperature sensors are aligned with the axis of a plant stem or root and inserted

radially to equal depths in the xylem. A heater element is similarly inserted at a fixed distance upstream from the midpoint between the temperature probes. A common configuration locates the heater 0.5 cm from the upstream temperature probe and 1.0 cm from the downstream probe (denoted as a -0.5, 0, 1.0 cm configuration). During measurement, wood and sap are heated in pulses and convection through the flowing sap stream carries the heat toward the midpoint between the temperature probes. When both temperature probes have warmed to the same degree, the heat pulse has moved the 0.25 cm from the heater, i.e., to the midpoint between the probes. The time taken for the heat pulse to move this distance is used to calculate heat pulse velocity ( $V_h$ ):

$$V_h = \frac{k}{x} \cdot \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) 3600 \quad \text{Equation 1}$$

Where:  $k$  is thermal diffusivity of green (fresh) wood,  $x$  is distance (cm) between the heater and either temperature probe, and  $v_1$  and  $v_2$  are increases in temperature (from initial temperatures) at equidistant points downstream and upstream, respectively,  $x$  cm from the heater

The sap speed was scaled to the basal area of the sapwood, using the inner and outer thermistor of the SFM-1 probe to describe the flow in the respective annuli of the sapwood. The determination of the sapwood area was done using a coring device to take a sample from bark to pith on a tree of the same clone with a similar DBH as a surrogate in a way to preserve the integrity of the trees with the SFM-1 probes. The sapwood area was visually assessed and measured with digital calipers, additionally, bark thickness assessed with bark gauge on south and west cardinal directions, over the DBH. For the correction of the probes asymmetry and obtaining an estimated flow zero, one day of continuous rainfall and low vapour pressure deficit (23 of September) was elected to have minimal flow during the day. The 24 hour total sap flow was summed to daily, weekly and monthly sums in litres per day.

In November 2015, a pilot trial was installed on one randomly selected tree to determine which side of the tree had the most representative sap flow. After seven days at 559 measurements, it was found that the east side of the tree was the most representative sap flow for the tree and was the most stable. The sensors were subsequently installed on the east side of each tree. The sap flow flux probes were installed in the selected nine trees and operational by April 2016. Measurements were taken at 15 minute intervals with a 20-joule pulse. A meteorological station was



installed in Balmoral in August 2015 at an adjacent open field less than 50m away from the study site. It collected the following measurements at 15-min intervals: temperature, relative humidity, wind speed and direction, precipitation and leaf wetness. Meteorological data for the Craigeburn site came from the Nelson Creek fire weather station 16 km south-west of the site.

#### Canopy gas exchange measurements.

Leaf gas exchange data were collected at both sites by sampling foliage each tree described above. Using a pole pruner, the unshaded branches from the upper one third of the canopy were removed from each tree. Gas exchange measurements on excised branches were taken immediately upon their removal (Ginn et al. 1991, Munger et al. 2003). Gas exchange was sampled four times at both sites: sample period one (August) Balmoral 25-26 August and 2 September, 2016, Craigeburn 29-31 August 2016; sample period two (December) Balmoral 13-15 December 2016, Craigeburn 8- 9, and 11 December 2016; sample period three (February) Balmoral 27-28 February and 1 March 2017, Craigeburn 21-23 February 2017; and sample period four (May) Balmoral 8-10 May 2017, Craigeburn 2-4 May 2017. The total number of days per period was no longer than 8 days. The climate at the two sites were very different and the Craigeburn site was more likely to experience precipitation events during each sampling period than the Balmoral site. At each site for a given sample period, measurements were usually completed over three consecutive days. Six needles from two fascicles from fully elongated, healthy looking, one year old foliage were measured. Three repetitions of gas exchange measurement were made on fascicles from the same excised branch. During each sampling period at each site, plots were randomly selected without replacement for the sequence of tree measurements over the three day period. Thus, all plots were measured at different times of the day. Typically two plots were measured in the morning and one plot measured after solar noon. The genotypes measured within each plot were also randomly selected every day.

The Li-6400XT portable photosynthesis system (LI-COR Inc., Lincoln, USA) with an attached 2x3cm cuvette and self-contained blue-red LED light source was used to obtain photosynthetic capacity ( $A_{max}$ ), stomatal gas exchange ( $g_s$ ), foliar

intercellular carbon dioxide ( $C_i$ ), and leaf specific transpiration ( $t$ ). Foliage water use efficiency of the photosynthesis (WUEP) was calculated from the measured parameters. Temperature was controlled near ambient and kept constant during each measurement. Carbon dioxide concentration and photosynthetically active radiation were controlled at  $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$  and  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  at all times. Fascicle radius of the measured needles that was measured using a SPI Scale Lupe 7x optical comparator (Structure Probe, Inc., Westchester, USA) to calculate leaf area contained in the cuvette, then placed in plastic bags and transported to the laboratory on ice and then stored at  $-4^\circ\text{C}$ .

#### Soil moisture measurements

In October 2015, EC-5 soil moisture sensors (Decagon Devices, Pullman, USA) were installed at each tree with four sensors installed within approximately 1m distance north and south from the tree – two horizontally at a depth of 5 cm and two horizontally at a depth of 30 cm. The sensors use capacitance to measure the dielectric constant of the surrounding medium at about 10 MHz (Annon 2009). As the dielectric of water is far larger than the other components of the soil medium, a change in capacitance can be directly correlated to water content (Annon 2009). The probe converts capacitance values into a proportional single voltage value, which directly correlates to volumetric water content with an empirical equation (Blonquist et al. 2005, Annon 2009). The manufacturer's default empirical equation was used. The probe gives average water content along its length (Fares and Polyakov 2006). The probe dimensions are  $8.9 \times 1.8 \times 0.715$  cm. The sensors for each tree were connected to one HOBO micro station datalogger (Onset Computers, Bourne, USA), which logged volumetric water content at 15 minute intervals. The daily data was summarised as either as a diurnal mean (6 am to 6 pm), or 24-hour mean.

#### Tree productivity measurements

The height and diameter at breast height (1.4 m) was measured for each tree in the study in August 2016 and May 2017. Tree height was measured with a Vertex IV hypsometer (Haglöf, Klockargatan, Sweden). Tree volume and volume mean annual increment was calculated from these measurements. The length of the live canopy and the width of the bottom of the canopy at the four cardinal directions were measured in May 2017 to calculate canopy volume. Leaf area index (LAI) of each tree was measured optically in May 2017 with the LAI 2200C (LI-COR Ltd., Lincoln,

USA) at the four cardinal directions for each tree using a 90-degree view cap to provide a LAI measurement for four quadrants of each tree. Another LAI 2200C wand was setup at a nearby clearing to measure above canopy light readings at each site. The LAI measurement for each quadrant was converted into foliage density using the canopy measurements using FV2200 software package (LI-COR Ltd., Lincoln, USA). The quadrant foliage density values were then averaged for a tree value.

#### Statistical Analysis

The averages of the values between clones and sites were represented with standard error of the mean (SEM). Analysis of variance (ANOVA) was performed to assess the influence of site, season, and clone on the variation of the Amax, as well as the interaction of these factors, in Amax and transpiration. The ANOVA was performed using the general linear model (GLM) procedure in SAS, Version 9.3 (SAS Institute, Cary, NC).

## Results

Over the study period, the Balmoral site had a mean daily temperature of 10.6°C (Table 1). Total precipitation from 15 January 2016 to 10 May 2017 was 778 mm, or 48.6 mm per month with a minimum monthly precipitation of 16.4 mm in June 2016 and a maximum monthly precipitation of 113 mm in April 2017 (Figure 1). Craigeburn mean annual temperature was 11.9 °C (Table 1). Total precipitation 15 January 2016 to 10 May 2017 was 2730 mm, or 160.8 mm per month (Table 1). Vapour pressure deficit (VPD) was higher and Balmoral than Craigeburn (Table 1). The tree volume and foliar density of the three clones were larger at the Balmoral site by an average of 142% and 49 %, respectively (Figure 2). The Craigeburn site had smaller trees with gaps between trees and fewer needles on the branches.

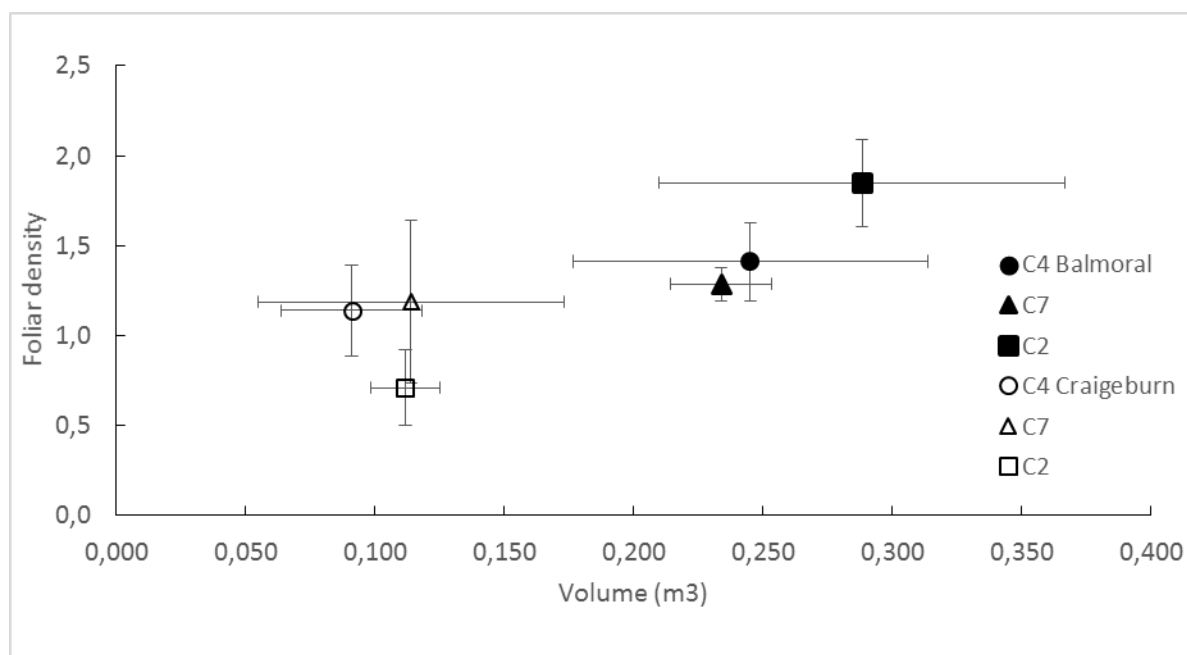


Figure 4: Volume and foliar density averages and SEM bars for the clones C2 (square), C4 (circle) and C7 (triangle) at the sites of Balmoral (filled symbols) and Craigeburn (open symbols).

The monthly total sap flow at Balmoral for each clone varied by month and season (Figure 5). Sap flow generally was higher in months where there was higher precipitation, but this was not always the case (Figure 5). Monthly sap flow reached was at its highest at the end of spring and then sap flow gradually reduced to its lowest in summer (Figure 5). Sap flow was at the lowest for all clones in February

2017, before sap flow increased in April 2017 to rate normally found in winter, due to higher than normal precipitation for that month (Figure 3 and 5). The total monthly sap flow for clone C4 was consistently lower during the length of the study, while clone C2 had consistently the highest flows from September 2016 (Figure 5).

The standard error was greater for the first 3 months of the study period due to technical problems with some of the sap flow probes, which resulted in only two of the three sap flow probes being operational for each clone (Figure 5). In March 2016, clone C2 had only one of three probes operational. All the probes were operational from April 2016 onwards.

There was a good relationship between Amax and foliar transpiration rate and 24-hour total sap flow, however this varied by season/VPD (Figs 6a-d). The lowest sap flow and foliar transpiration occurred in February 2017 (Fig 6c). The highest sap flow averaging 32.1L/day occurred in December 2016 with a corresponding average foliar transpiration of  $0.00047 \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$  (Figure 6b). The highest foliar transpiration averaging  $0.00084 \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$  occurred in May 2017 with a corresponding average sap flow of 13.2 L/day (Figure 6d). The largest contrast between the two measurements occurred in August 2016 where for two days' sap flow was low, but foliar transpiration was high, and one day the opposite was true (Figure 6a). This contrast was attributed to the low precipitation for that month 27.8mm, but a high volumetric water content of  $0.22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (data not shown), and the contrast in mean and maximal temperatures and VPD; 4.8, 11.3 °C and 0.43 hPa averaged respectively for two of the days and 8.8, 20°C and 4.5 hPa respectively for the other day. Other interesting point is that clone C2 stands on the high side of the average transpiration X sap flow relation, collaborating with the result of the monthly sap flow total.

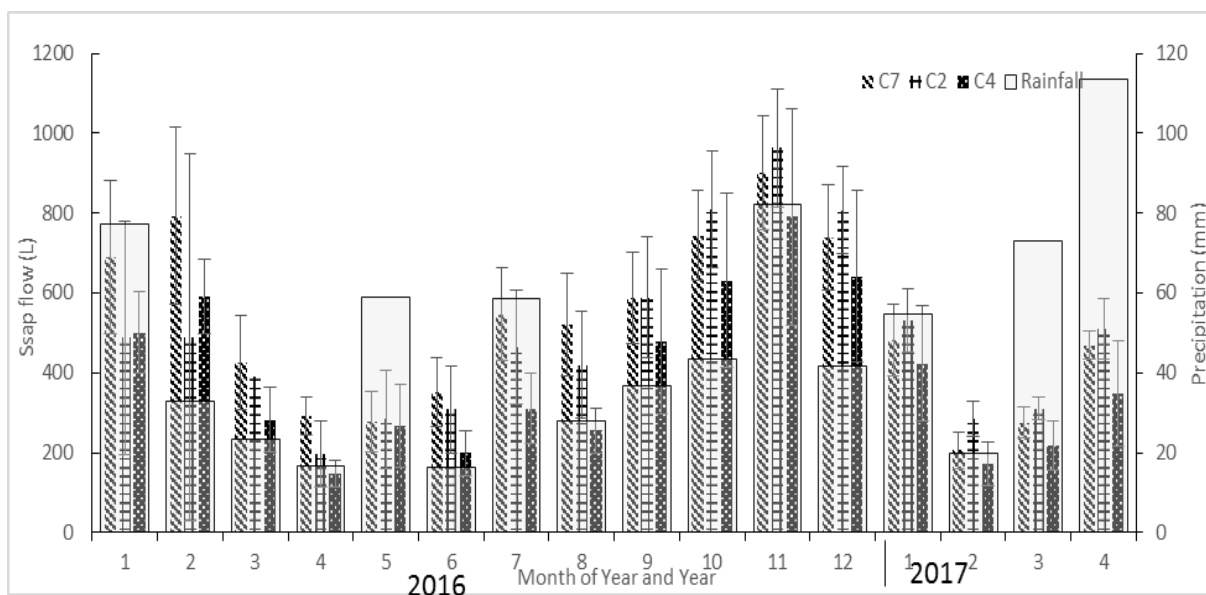


Figure 5 Monthly total sap flow (pattern bars) and precipitation (open bars).

The photosynthesis capacity and stomatal activity greatly differed between the Balmoral and Craigeburn sites with Amax (Figure 7a-b), stomatal conductance (Figure 7c-d), Ci (Figure 7e-f) and foliar transpiration (Figure 7g-h) lower at Balmoral for most periods. For the May 2017 measurement, Balmoral Amax and stomatal conductance were similar to Craigeburn (Figures 7a-d). Maximum assimilation rates occurred at the same month (Figure 7a-b) The photosynthesis activity at Craigeburn was less sensitive to season than Balmoral and the VPD was also lower (Figures 7a-b). At Balmoral, the dry site, the clones do not show a clear performance ranking, having C2 and C4 higher values in alternated times. The same does not happen in the West Coast site, a much more stable performance along the season and superior values of Amax of clone C4 over the others.

Transpiration rates had a contrasting behaviour within sites, at Balmoral the values were consistently lower than West Coast, and during summer months, very low values recovered to higher values after a rainy period allowing lower VPD values and contributing to increased water use (Figure 7g-h).

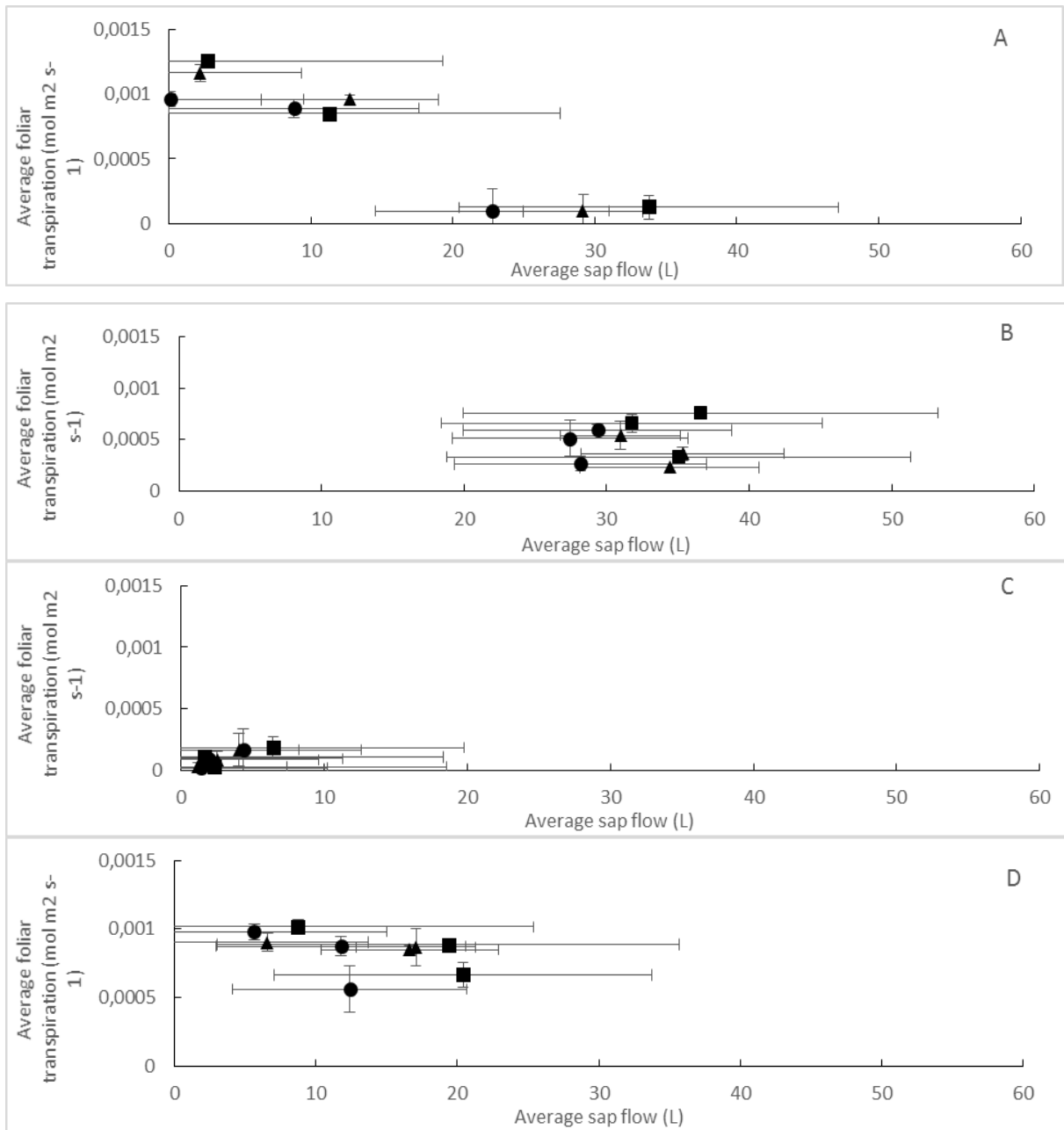


Figure 6: Daily total sap flow and average foliar transpiration and standard error of the mean for the clones C2 (square), C4 (circle) and C7 (triangle) for August (A), December (B), February (C) and May 2017 (D).

The 24-hour sap flow had a generally positive relationship with VPD (Figure 7a), however, in February 2017 all the measurements for one day had very low sap flow while the VPD was in the mid range for the site between 3.5 and 5.3 hPa (Figure 7a). These low sap flow rates corresponded to low foliar transpirations rates (Figure 5c). Conversely, foliar transpiration rates had a negative relationship with VPD (Figure

8b). Unlike sap flow, foliar transpiration between 3.5 and 4.2 hPa was very low for all data points (Figure 8b).

Clone C7 used more water to grow a cubic metre of stem wood over the study period than the other two clones which transpired a similar amount of water (Figure 9). Clone 7 also had the highest age three foliar  $\delta^{13}\text{C}$  values, while clone C2 had the lowest (Figure 8).

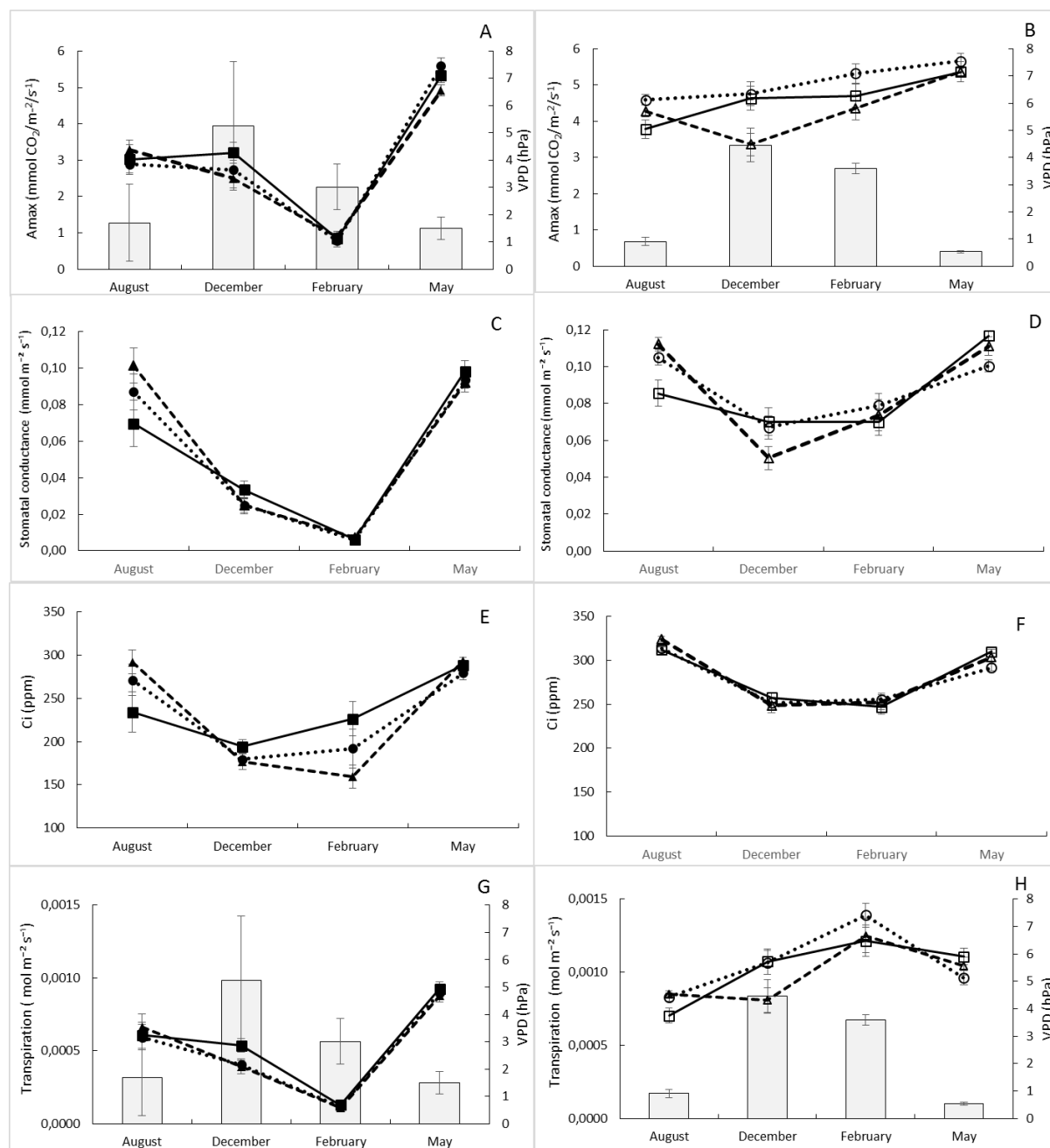


Figure 7: Maximal photosynthetic assimilation rate (Amax) (A, B), stomata conductance (C, D), Intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci) (E, F) and transpiration rate (G, H) for the clones C2 (square, solid line), C4 (circle, dotted line) and C7 (triangle,



dashed line) of Balmoral (filled symbols) and West Coast (open symbols), for the four seasons of gas exchange measurement.

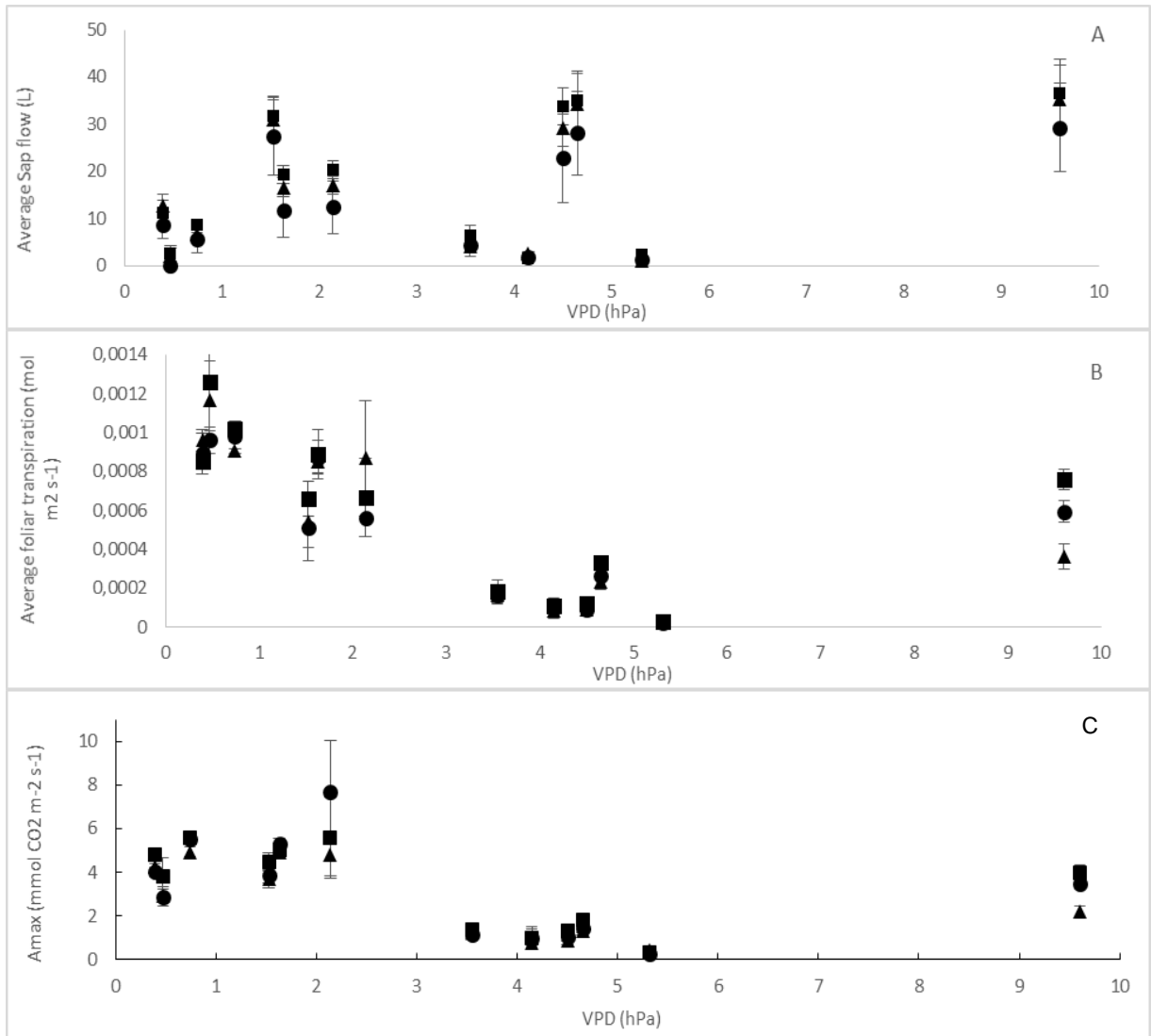


Figure 8: Relation of the day VPD values and daily total sap flow (A), instantaneous foliar transpiration average (B), and photosynthesis capacity (C) for the clones C2 (square), C4 (circle) and C7 (triangle) at the Balmoral site, for the four seasons of gas exchange measurement.

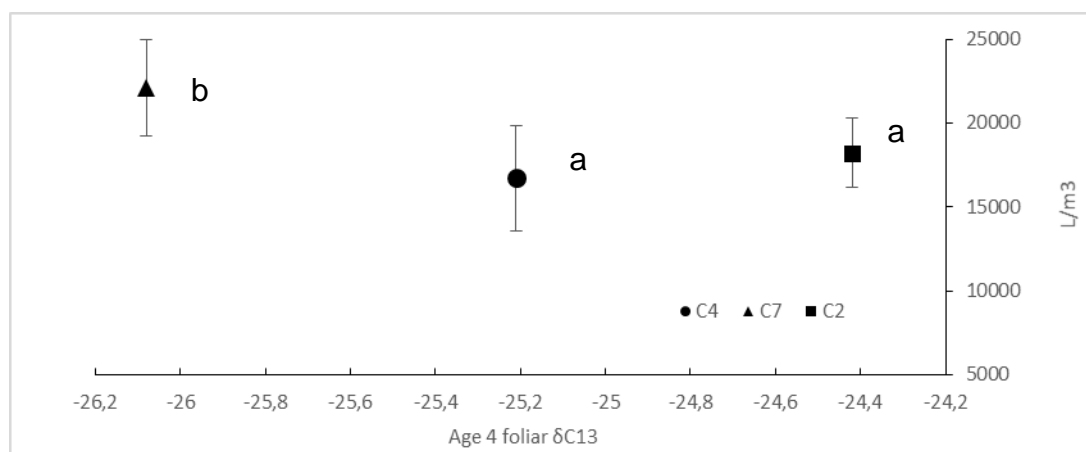


Figure 9: Proportional water use to stem increment related to Age 4 foliar  $\delta C 13$  of clones C2 (square), C4 (circle) and C7 (triangle), at the Balmoral site. Letters representing the result of Tukeys' mean test.

Table 3: Summary table of the general linear ANCOVA for transpiration rates and Amax in both sites

Amax					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
season	3	734	245	109.57	<.0001
geno	2	30	15	6.80	0.0012
site	1	530	530	237.69	<.0001
geno*site	2	16	8	3.65	0.0263
geno*season*site	15	435	29	12.99	<.0001
Transpiration					
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
season	3	9,73E-06	3,24E-06	20,32	<,00001
geno	2	3,90E-07	2,00E-07	1,23	0,2919
site	1	4,46E-05	4,46E-05	279,48	<0,0001
geno*site	2	3,10E-07	1,50E-07	0,96	0,3851
geno*season*site	15	3,29E-05	2,19E-06	13,74	<0,0001

This change on the ranking can be also endorsed by an ANCOVA. Table 3 shows the response for the covariance of Amax and transpiration. It can be observed that all the singular factors (season, genotype and site) are highly significant for the CO<sub>2</sub> assimilation rate including the site x genotype interaction (Pr=0.0263). That is interpreted as a genotype having a different behavior depending on the site.

The relationship of the foliar transpiration modeled with the genotypes and seasonal classes as well as instantaneous sap flow, showed, over a general linear

ANOVA (table 2) that sap flow and season are highly significant. Genotype itself had only a marginal effect ( $Pr.=0,0793$ ) on predicting instant sap flow. It must be noted that both interactions were not accounted on this model.

Table 2: Summary table of the general linear ANOVA for transpiration rates in the Balmoral Site.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Flow	1	2,24E-06	0,00000224	21,13	<0,0001
Genotype	2	5,4E-07	0,00000027	2,55	0,0793
Season	3	2,22E-05	0,00000741	69,81	<0,0001

The behaviour of the total daily sap flow related to the day average VPD showing a positive relation and then a discrete increase over the values beyond 4 hPa. (Figure 7) It must be highlighted that the three lower points between 4 and 5 hPa represent the February measurements, the moment with lowest soil water content. These results are in line with the ones obtained by Wilson et al. (2001), during an experiment over draught and non-drought periods, found an increasing sap flow up to 1.5 kPa and after, a stabilization and slight decrease beyond these values.

When modelled through the VPD and class variables, site, season and genotype, both foliar transpiration and maximal assimilation rates, VPD showed a high significance probability ( $p<0,0001$ ) on a general ANOVA (data not shown).

Ranking the overall average of the Amax on the Craigeburn site, the clone ordered in the increasing order: C4, C2 and C7 having all of them a different mean following the Turkey's test. The same ranking is repeated for the foliar transpiration rates, but with undifferentiated means. In the dryer Balmoral site, this rank is different: C2, C4 and C7, being only C2 and C7, an Amax statistically different from each other, and the transpiration rate being significantly different from both others that are similar in between.

The same does not occur with the transpiration rate, that varies by site and season but not by genotype ( $Pr=0,2919$ ), adding the non-significant interaction of site and genotype reveal that the transpiration rate from a particular clone does not change significantly from one site to another.

## Discussion

Averaged monthly water use by clone followed partially the relation of tree size and foliar density, as seen clone C4 with a larger volume and foliar density also having more flow for most of the period of study as well as the total sap flow of 6440 L. The remaining clones had similar volume and leaf density values, but clone C2 transpired less water compared to C7, 4733 L and 5990 L respectively. Teskey and Sheriff (1996) found somewhat similar relation on a 16-year-old *P. radiata* in South Australia. The daily pattern of sap flow was roughly similar between clones, but the magnitude of the monthly average sap flux density differed between plots (Figure 3). The same was found by Delzon and Loustau (2005), where *Pinus pinaster* trees were similar, but stands showed significant differences.

In order to better compare the clones result, the proportional water use per unit of increment in volume, Tukey's means test show a differentiation, been clone C7 not equal from the others. Combining the clone C7 average water use and its poor growth performance, we can affirm that this clone has a different and lower water use efficiency in a water-limited environment.

Large differences in daily and monthly water use between the summer and spring / winter could be explained by fluctuations in the environmental factors, especially soil water content, regulated by precipitation, and also controls water uptake by roots and water loss through stomata. The higher temperatures and VPD of early spring and summer contributing to soil water depletion. Because the soils at the site have low water-holding capacity, soil water was rapidly depleted under the forest canopy, resulting in rapid changes in water use during season's cycles.

Significant differences in soil moisture between the upper 5cm and the deeper 30cm of the soil were found, having the shallower much more variation due to better exposure to rainfall and quicker depletion do to more intense rooting on this layer. At 30 cm the plots exhibited significant differences, but no significant effects over a clone were found, that means that no microsite effect was relevant for any of the clones.

Close correspondence between rates of transpiration and soil water content during a drying cycle has been demonstrated for young *P. radiata* by Ruiters (1987). This is in conformity with the results of this experiment, which the combination of low

soil moisture content due to low precipitation, higher VPD associated to higher rates of water use in spring, caused a significant decrease in transpiration rates, as observed in February 2017.

The decrease of Amax in relation to an augmenting VPD is an accordance with other studies (Yunusa et al. 2005, Meyers et al. 1996). The foliar transpiration followed the same relation, this contrasts with Meyers et al. (1996), but it must be said that this resulted of watered plants, a contrasting situation of the water limited Canterbury site, hence its behavior avoids further comparisons.

The facts of the clones have a significant interaction on Amax performance depending on the site (and a change on the ranking), and the transpiration been unresponsive to the site (Pr.:0,3851), allow to conclude that the efficiency of water consumption is prone to change due to site.

## Conclusions

The result of this research permit to affirm that:

- 1) There are clonal differences in proportional water use in a water-limited site.
- 2) Canopy gas exchanges and stem sap flow have a predictable relation and can be satisfactory modelled with continuous and discrete variables
- 3) The selected clones show a physiological plasticity, maintaining a site x genotype undifferentiated transpiration but changing its photosynthesis, describing a Genotype x Environment interaction, thus changing significantly its water use efficiency.

## References

- Annon. 2009. Application Note. Frequently Asked Questions about the Decagon's Soil Moisture Probes and Accessories. Pullman, Decagon Devices, Inc. [http://manuals.decagon.com/Application%20Notes/13390\\_ECH20%20Probe%20FAQs\\_Print.pdf](http://manuals.decagon.com/Application%20Notes/13390_ECH20%20Probe%20FAQs_Print.pdf). Accessed 21<sup>st</sup> June 2017.
- Benecke, U. (1980). Photosynthesis and transpiration of *Pinus radiata* D. Don under natural conditions in a forest stand. *Oecologia* 44, 192-198.
- Bennett, K. J., and Rook, D. A. (1978). Stomatal and mesophyll resistances in two clones of *Pinus radiata* D. Don known to differ in transpiration and survival rate. *Functional Plant Biology* 5, 231-238.
- Blonquist, J.M. Jr., Jones, S.B., and D.A. Robinson. 2005. Standardizing characterization of electronic water content sensors: Part 2. Evaluation of seven sensing systems. *Vadose Zone Journal* 4, 1059-1069.
- Bond, B. J. (2000). Age-related changes in photosynthesis of woody plants. *Trends in Plant Science*, 349-353.
- Burgess, S.S.O, Adams, M.A, Turner, N.C, Beverly, C.R, Ong, C.K, Khan, A.A.H, and Bleby. T.M. (2001). An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants. *Tree Physiology* 21, 589–598.
- Codesido, V., Zas, R., and Fernández-Lôopez, J. (2012). Juvenile-mature genetic correlations in *Pinus radiata* D. Don. under different nutrient x water regimes in Spain. *European Journal of Forest Research* 131, 297-305.
- Delzon, S., Sartore, M., Burrett, R., Dewar, R., and Loustau, D. (2004). Hydraulic responses to height growth in maritime pine trees. *Plant, Cell & Environment* 27, 1077-1087.
- Delzon S., and Loustau D. (2005). Age-related decline in stand water use: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence. *Agricultural and Forest Meteorology* 129, 105–119.
- Dewar R.C. (1997). A simple model of light and water use evaluated for *Pinus radiata*. *Tree Physiology* 17:259-265.
- Dunningham, A., Kirschbaum, M., Payn, T., and D. Meason. (2012). Chapter 7. Forestry Long-term adaptation of productive forests in a changing climatic environment. *In: Impacts of climate change on land-based sectors and adaptation options*. Editors: Clark, A.J., and R.A.C. Nottage. Pages 293-346. MPI Technical Paper No: 2012/33. Wellington, Ministry of Primary Industries. 408 pages.
- Espinoza, S. E., Magni, C. R., Rubilar, R. A., Yañez, M. A., Santelices, R. E., Cabrera, A. M., and Ivković, M. (2017). Field performance of various *Pinus radiata* breeding families established on a drought-prone site in central Chile. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 47, 1-12.

Fares, A., and V.O. Polyakov. 2006. Advances in crop water management using capacitive water sensors. In: Sparks, D. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Volume 90. Academic Press, Amsterdam.

Forest Owners Association. (2016). *Facts and Figures 2015/16*. New Zealand Plantation Forest Industry. Wellington, New Zealand Forest Owners Association. 55 pages.

Gifford, H. H., Whitehead, D., Thomas, R. S., and Jackson, D. S. (1982). Design of a new weighing lysimeter for measuring water use by individual trees. *New Zealand Journal of Forestry Science* 12, 448-456.

Gamir, R.J., Xue, J., Clearwater, M.J., Meason, D.F., Clinton, P.W., and Domec, J-C. Coordination between whole plant hydraulic conductance and stomatal conductance in *Pinus radiata* through changes in root aquaporin activity under drought stress. *Plant, Cell, and Environment*. Under revision.

Ginn, S.E., Seiler, J.R., Cazell, B.H., and Kreh, R.E. (1991). Physiological and growth responses of eight-year-old loblolly pine stands to thinning. *Forest Science* 37, 1030–1040.

Hatton, T. J. and Vertessy, R. A. (1990) Transpiration of plantation *pinus radiata* estimated by the heat pulse method and the bowen ratio. *Hydrological Processes* 4, 289–298.

Hölttä T., Mencuccini M., and Nikinmaa E. (2009). Linking phloem function to structure: analysis with a coupled xylem–phloem transport model. *Journal of Theoretical Biology* 259, 325-337.

Hölttä T., Vesala T., Sevanto S., Perämäki M., and Nikinmaa E. (2006). Modeling xylem and phloem water flows in trees according to cohesion theory and Münch hypothesis. *Trees* 20, 67-78.

Hubbard, R. M., Ryan, M. G., Stiller, V., and Sperry, J. S. (2001). Stomatal conductance and photosynthesis vary linearly with plant hydraulic conductance in ponderosa pine. *Plant, Cell & Environment* 24, 113-121.

Jones, H. G. (1998). Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49, 387-398.

Köstner, B., Falge, E., and Tenhunen, J. D. (2002). Age-related effects on leaf area/sapwood area relationships, canopy transpiration and carbon gain of Norway spruce stands (*Picea abies*) in the Fichtelgebirge, Germany. *Tree Physiology* 22, 567-574.

Li, Y., Xue, J., Clinton, P.W., and Dungey, H.S., 2015. Genetic parameters and clone by environment interactions for growth and foliar nutrient concentrations in radiata pine on 14 widely diverse New Zealand sites. *Tree Genetics and Genomes* 11, 1-16.

- Manzoni, S., Vico, G., Katul, G., Palmroth, S., Jackson, R. B., and Porporato, A. (2013). Hydraulic limits on maximum plant transpiration and the emergence of the safety–efficiency trade-off. *New Phytologist* 198, 169-178.
- McDowell, N. G., Phillips, N., Lurch, C., Bond, B. J., and Ryan, M. G. (2002). An investigation of hydraulic limitation and compensation in large, old Douglas-fir trees. *Tree Physiology-Victoria* 22, 763-774.
- Mencuccini M. (2003). The ecological significance of long-distance water transport: short-term regulation, long-term acclimation and the hydraulic costs of stature across plant life forms. *Plant, Cell, and Environment* 26,163–182.
- Ministry for Primary Industries, (2017). Situation and Outlook for Primary Industries. March 2017. Wellington, Ministry for Primary Industries. 34 pages.
- Munger, G.T., Will, R.E., and Borders, B.E. (2003). Effects of competition control and annual nitrogen fertilization on gas exchange of different-aged *Pinus taeda*. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 33, 1076-1083.
- Myers et al., B.J. Myers, S. Theiveyanathan, N.D. O'Brien, and W.J. Bond (1996). Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* irrigated with effluent. *Tree Physiology* 16, 211-219
- Pfautsch S., Renard J., Tjoelker M.G., and Salih A. (2015). Phloem as Capacitor: Radial Transfer of Water into Xylem of Tree Stems Occurs via Symplastic Transport in Ray Parenchyma. *Plant Physiology* 167, 963-971.
- Quentin, A. G., O'Grady, A. P., Beadle, C. L., Mohammed, C., and Pinkard, E. A. (2012). Interactive effects of water supply and defoliation on photosynthesis, plant water status and growth of *Eucalyptus globulus* Labill. *Tree Physiology* 32, 958-967.
- Renwick, J., Mullan, B., Wilcocks, L., Zammit, C., Sturman, J., Braisden, T., Keller, L., Kirschbaum, M., Meason, D., Harrison, D., Verkerk, G., Cooke, A., Marshall, P., and A. Clark. (2013). Four Degrees of Global Warming: Effects on the New Zealand Primary Sector. MPI Technical Information Paper No: 2013/49. Wellington, Ministry of Primary Industries. 180 pages.
- Rowell, D.M., Ades, P.K., Tausz, M., Arndt, S.K., and Adams, M.A. (2009). Lack of genetic variation in tree ring delta <sup>13</sup>C suggests a uniform, stomatally-driven response to drought stress across *Pinus radiata* genotypes. *Tree Physiology* 29, 191-198.
- Ruiter, J.H. (1987). Growth, crop conductance and prediction of stem volume increment of irrigated and non-irrigated young radiata pine in non-weighing lysimeters. *Forest Ecology and Management* 20,79-96
- Ryan, M. G., and Yoder, B. J. (1997). Hydraulic limits to tree height and tree growth. *Bioscience*, 47, 235-242.
- Ryan, M. G., Binkley, D., and Fownes, J. H. (1997). Age-related decline in forest productivity: pattern and process. *Advances in Ecological Research* 27, 213-262.



Ryan, M. G., Phillips, N., and Bond, B. J. (2006). The hydraulic limitation hypothesis revisited. *Plant, Cell & Environment* 29, 367-381.

Sevanto S., McDowell N.G., Dickman L.T., Pangle R., and Pockman W.T. (2014). How do trees die? A test of the hydraulic failure and carbon starvation hypotheses. *Plant, Cell & Environment* 37, 153-161.

Sevanto S., Vesala T., Perämäki M., and Nikinmaa E. (2003). Sugar transport together with environmental conditions controls time lags between xylem and stem diameter changes. *Plant, Cell & Environment* 26, 1257-1265.

Sokołowska K., and Zagórska-Marek B. (2012). Symplasmic, long-distance transport in xylem and cambial regions in branches of *Acer pseudoplatanus* (Aceraceae) and *Populus tremulax P. tremuloides* (Salicaceae). *American Journal of Botany* 99, 1745-1755.

Sperry, J. S. (2000). Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agricultural and Forest Meteorology* 10: 13-23.

Stape, J.L., Binkley, D., Ryan, M.G., Fonseca, S., Loos, R.A., Takahashi, E.N., Silva, C.R., Silva, S.R., Hakamada, R.E., Ferreira, J.M.d.A., Lima, A.M.N., Gava, J.L., Leite, F.P., Andrade, H.B., Alves, J.M., Silva, G.G.C., and Azevedo, M.R. (2010). The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *Forest Ecology and Management* 259, 1684-1694.

Teskey, R., and Sheriff, D.W. (1996). Water use by *Pinus radiata* trees in a plantation. *Tree Physiology* 16, 273-279.

Tyree M. (2003) Hydraulic limits on tree performance: transpiration, carbon gain and growth of trees. *Trees* 17, 95–100.

Wilson, K.B., Hanson, P.J., Mulholland, P. et al. (2001) A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agricultural and Forest Meteorology* 106, 153-168.

Xue, J., Clinton, P., Davis, M.R., Siddiqui, T., Beets, P., and Leckie, A.C. (2013). Genotypic variation in foliar nutrient concentrations,  $\delta^{13}\text{C}$ , and chlorophyll fluorescence in relation to tree growth of radiata pine clones in a serpentine soil. *Journal of Plant Nutrient and Soil Science* 176, 724-733.

Yunusa, I.A.M., Thomson, S.E., Pollock, K.P., Youwei, L., and Mead, D.J. (2005). Water potential and gas exchange did not reflect performance of *Pinus radiata* D. Don in an agroforestry system under conditions of soil-water deficit in a temperate environment. *Plant and Soil* 275, 193-204.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ambas as técnicas usadas neste trabalho forneceram dados consistentes e adequados para os respectivos objetivos propostos. A pesagem de vasos com dinamômetro permitiu uma estimativa com razoável confiança para o período proposto, objeto de investigação deste ensaio, gerando resultados compatíveis e de acordo com a literatura. Caso seja desejada uma estimativa do consumo de água em intervalos menores que duas semanas, a instrumentação usada nesta técnica deve ser revista e melhorada buscando mais acurácia nas medições.

O sistema de medição através da HRM forneceu medições precisas do fluxo de seiva no xilema de plantas lenhosas adultas em ambiente de clima seco e incluiu medidas bem-sucedidas sobre uma gama de fluxos (alto, baixo e taxas reversas de fluxo (dados não apresentados)). A capacidade de medir baixas taxas de fluxo de seiva é importante para estudos sobre o uso de água na planta como um todo. Medidas precisas durante a noite ou outros períodos em que as taxas de transpiração são baixas, são críticos para estudos do balanço hídrico em períodos de seca, sazonal ou contínua. A escala da resolução temporal dos sensores permitiu comparação entre genótipos com confiabilidade em intervalo de poucas horas, este ganho em precisão é fundamental para estudos de ecofisiologia em um nível mais refinado (BURGESS et al. 2000), relacionando respostas rápidas à eventos climáticos, como a reação do fluxo de seiva após um evento de precipitação, por exemplo.

Em ambos experimentos observou-se uma grande variação dos incrementos e consumo hídrico. Mesmo com monitoramento de micro sítio, e com o controle da água fornecida aos vasos, esta característica do comportamento demonstra a complexidade e o cuidado ao se estimar o uso de água em uma maior escala (SHUNGUO, 1989).

A diferenciação do crescimento foi sutil considerando o efeito de 45 dias de seca sobre a totalidade do período vegetativo, como visto no primeiro experimento. Porém deve-se ponderar sobre a ocorrência de período de déficit mais longos e recorrentes os quais acreditam-se tenham a capacidade de restringir o crescimento de maneira mais considerável ao longo dos anos (SNOWDON, e WARING, 1991), e não apenas durante o período de seca propriamente dito.

Não há dúvida de que o uso de sistemas de dissipação e de pulso de calor continuarão a produzir informações significativas nas ciências florestais. Estudos que combinem essas técnicas com instrumentos para detectar emissões acústicas, estimativas *in situ* de condutância hidráulica das raízes devem ser encorajadas. Também o uso de técnicas de balanço energético, e micro meteorológicas, como cálculo da evapotranspiração pela equação de Penman-Monteigh, da razão Bowen e da correlação de vórtices, são métodos com boa aptidão para estudos que visem a extrapolação do uso individual de água da árvore para florestas e plantações. Embora estas técnicas não tenham sido abordadas neste estudo, elas se apresentam com potencial para preencher o interstício entre um método mais barato e arcaico e outro mais sofisticado porém muito mais oneroso financeiramente. Para tanto se fazem necessários dados de qualidade em monitoramento climático assim como parâmetros dendrométricos e fisiológicos, como área foliar e condutância estomática.

Todas as técnicas usadas nesta pesquisa, assim como as que foram discutidas, requerem diferentes conhecimentos e disposições para a sua satisfatória aplicação, desde monitoramento frequente da validade dos dados brutos à condição nutricional das plantas em questão. Ótimos resultados podem ser obtidos com qualquer uma das técnicas, porém o fator limitante entre estas é a quantidade de mão de obra e esforço que se tem à disposição para tal. O uso de equipamentos sofisticados realmente traz facilidade e acurácia na obtenção de vários dados, porém o cuidado e minúcia não devem ser deixados de lado.

Os resultados do primeiro experimento nos permitem considerar a maior flexibilidade de *P elliotii* em condições de seca, mostrando um consumo hídrico menor e manutenção de incrementos nas condições testadas. A relação da condição atmosférica em conjunto com a seca proporciona reações diferentes entre as duas espécies, apresentando *P elliotii* uma maior “economia” de água em momentos de maior DPV da atmosfera.

Já o segundo experimento demonstrou a diferença de genótipos quanto ao uso total de água e na sua eficiência, havendo um clone que se destaca, tendo uso menos eficiente. Outro resultado foi a interação de ambiental, tendo em um sítio mais húmido havido diferença de performance dos clones em sua transpiração.

Este fato permite considerar o uso de clones específicos em áreas propensas a seca, ou ainda adaptados a condições diversas de solo e nutrição.

Este trabalho também abre as porta para pesquisas que foquem na associação de características de flexibilidade fisiológica a performance de crescimento e sua interação com diferentes ambientes.

## REFERÊNCIAS

- ANSLEY, R.J., W.A. DUGAS, M.L. HEUER, B.A. TREVINO. Stem flow and porometer measurements of transpiration from honey mesquite (*Prosopis glandulosa*). **J. Exp. Bot.** n. 45, p. 847—856. 1994.
- ARNETH, A., F.M. KELLIHER, G. BAUER, D.Y. HOLLINGER, J.N. BYERS, J.E. HUNT, T.M. MCSEVENY, W. ZIEGLER, N.N. VYGODSKAYA, I. MILUKOVA, A. SOGACHOV, A. VARLAGIN AND E.-D. SCHULZE. Environmental regulation of xylem sap flow and total conductance of *Larix gmelinii* trees in eastern Siberia. **Tree Physiol.** n. 16, p. 247--255. 1996.
- BARRETT, D.J., T.J. HATTON, J.E. ASH, M.C. BALL. Evaluation of the heat pulse velocity technique for measurement of sap flow in rainforest and eucalypt forest species of south-eastern Australia. **Plant Cell Environ.** n.18, p. 463—469. 1995.
- BARRETT, D.J., T.J. HATTON, J.E. ASH, M.C. BALL. Transpiration by trees from contrasting forest types. **Aust. J. Bot.** n. 44, p. 249—263. 1996.
- BECKER, P.;W.R.N. Edwards. Corrected heat capacity of wood for sap flow calculations. **Tree Physiol.** n.19, p. 767—768. 1999.
- BECKER, P. Limitations of a compensation heat pulse velocity system at low sap flow: implications for measurements at night and in shaded trees. **Tree Physiol.** n. 18, p. 177—184 1998
- BURGESS, S.S.O., M.A. ADAMS AND T.M. BLEBY. Measurement of sap flow in roots of woody plants: a commentary. **Tree Physiol.** n. 20, p. 909—913. 2000.
- CALDER, I.R., M.N. NARAYANSWAMY, N.V. SRINIVASALU, W.G. DARLING, A.J. LARDNER. Investigation into the use of deuterium as a tracer for measuring transpiration from eucalypts. **J. Hydrol.** n. 84. p. 345--351. 1986.
- CIENCIALA, E.; A. LINDROTH. Gas-exchange and sap flow measurements of *Salix viminalis* trees in short-rotation forest. I. Transpiration and sap flow. **Trees** n.9.p. 289—294. 1995.
- DENMEAD, O.T., F.X. DUNIN, S.C. WONG, E.A.N. GREENWOOD. Measuring water use efficiency of eucalypt trees with chambers and micrometeorological techniques. **J. Hydrol.** n. 150 p.649--664. 1993.
- DUNIN, F.X., E.A.N. GREENWOOD. Evaluation of the ventilated chamber for measuring evaporation from a forest. **Hydrol. Proc.** n.1, p. 47--62. 1986.
- DYE, P.J., B.W. OLBRICH, I.R. CALDER. A comparison of the heat pulse method and deuterium tracing method for measuring transpiration from *Eucalyptus grandis* trees. **J. Exp. Bot.** n.43, p. 337—343. 1992

EDWARDS, W.R.N. Precision weighing lysimetry for trees, using a simplified tared-balance design. **Tree Physiol.** n. 1p. 127--144. 1986.

FRITSCHEN, L.J., L. COX, R. KINERSON. A 28-meter Douglas-fir in a weighing lysimeter. **For. Sci.** n. 19. P. 256--261. 1973.

GOLDSTEIN, G., J.L. ANDRADE, F.C. MEINZER, N.M. HOLBROOK, J. CAVELIER, P. JACKSON; A. CELIS. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. **Plant Cell Environ.** n. 21:p. 397--406. 1998.

GRANIER, A., P. BIRON, N. BRÉDA, J.-Y. PONTAILLER, B. SAUGIER. Transpiration of trees and forest stands: short and longterm monitoring using sapflow methods. **Global Change Biol.** n. 2. p.265--274. 1996.

GREENIDGE, K.N.H. Observations on the movement of moisture in large woody stems. **Can. J. Bot.** n. 33, p. 202--221. 1955.

GREENWOOD, E.A.N., BERESFORD J.D. Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated-chamber technique. I. Comparative transpiration from juvenile *Eucalyptus* above saline ground-water seeps. **J. Hydrol.** n.42, p. 369--382. 1979.

HINCKLEY, T.M., J.R. BROOKS, J. ÈERMÁK, R. CEULMANS, J. KUÈERA, F.C. MEINZER, D.A. ROBERTS. Water flux in a hybrid poplar stand. **Tree Physiol.** n. 14, p. 1005--1018. 1994.

JARVIS, P.G., K.G. MCNAUGHTON.. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Adv. Ecol. Res.** n. 15, p. 1--49. 1986.

KLINE, J.R., J.R. MARTIN, C.F. JORDAN, J.J. KORANDA. Measurement of transpiration in tropical trees with tritiated water. **Ecology.** n. 5, p.1068--1073. 1970.

KNIGHT, D.H., T.J. FAHEY, S.W. RUNNING, A.T. HARRISON, L.L. WALLACE.. Transpiration from 100-year-old lodgepole pine forests estimated with whole-tree potometers. **Ecology.** n. 62, p. 717--726. 1981.

LIDE, D.R. **Handbook of chemistry and physics**, 73rd Edn. CRC Press Inc., Boca Raton, FL., p. 6--10. 1992.

LINDROTH, A., E. CIENCIALA. Measuring water use efficiency of eucalypt trees with chambers and micrometeorological techniques---comment. **J. Hydrol.** n. 169, p. 281--283. 1995.

LINDROTH, A., J. ÈERMÁK, J. KUÈERA, E., CIENCIALA, H. ECKERSTEN. Sap flow by the heat balance method applied to small size *Salix* trees in a short-rotation forest. **Biomass Bioenergy** n. 8, p. 7-15. 1995.

LOUSTAU, D., P. BERBIGIER, P. ROUMAGNAC, C. ARRUDA-PACHECO, J.S. DAVID, M.I. FERREIRA, J.S. PEREIRA, R. TAVARES. Transpiration of a 64-year-old maritime pine stand in Portugal. Seasonal course of water flux through maritime pine. **Oecologia**. n. 107, p. 33-- 42. 1996.

MARSHALL, D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiol.** n. 33, p. 385–396, 1958.

MEINZER, F.C., G. GOLDSTEIN, P. JACKSON, N.M. HOLBROOK, M.V. GUTIERREZ, J. CAVELIER. Environmental and physiological regulation of transpiration in tropical forest gap species: the influence of boundary layer and hydraulic properties. **Oecologia**. n. 101 p. 514--522. 1995.

PARKER, J. The cut-leaf method and estimations of diurnal trends in transpiration from different heights and sides of an oak and a pine. **Bot. Gaz.** n. 119, p.93--101. 1957.

PHILLIPS, N., R. OREN, R. ZIMMERMANN. Radial patterns of xylem sap flow in non-diffuse- and ring-porous tree species. **Plant Cell Environ.** n. 19, p. 983—990. 1996.

ROBERTS, J. The use of the “tree cutting” technique in the study of the water relations of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. **J. Exp. Bot.** n. 29, p. 465--471. 1978.

ROBERTS, J. The use of tree-cutting techniques in the study of the water relations of mature *Pinus sylvestris* L. **J. Exp. Bot.** n. 28, p. 751-- 767. 1977.

ROBERTS, J., O.M.R. CABRAL, G. FISCH, L.C.B. MOLION, C.J. MOORE, W.J. SHUTTLEWORTH. Transpiration from an Amazonian rainforest calculated from stomatal conductance measurements. **Agric. For. Meteorol.** n. 65, p. 175-196. 1993.

RUTTER, A.J. Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. 4. Direct observations on the rates of transpiration, evaporation of intercepted water, and evaporation from the soil surface. **J. Ecol.** n. 3, p. 393--405. 1966.

SCHILLER, G., Y. COHEN. Water regime of a pine forest under a Mediterranean climate. **Agric. For. Meteorol.** n. 74, p. 181--193. 1995.

SCHULZE, E.-D., J. ÈERMÁK, R. MATYSSEK, M. PENKA, R. ZIMMERMANN, F. VASÍCEK, W. GRIES, J. KUÈERA.. Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees----a comparison of xylem flow, porometer and cuvette measurements. **Oecologia**. n.66, p. 475--483. 1985.

SHUNGUO, Y. A research on the water conserving function of the chinese pine in the forest of Qiaoshan mountain. **Journal Of Soil And Water Consevation**. Ankeny, IA, n.2. 1989.

SMITH, D.M., S.J. ALLEN. Measurement of sap flow in plant stems. **J. Exp. Bot.** n. 47, p. 1833—1844. 1996.

SWANSON, R.H. Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. **Agric. For. Meteorol.** n. 72, p.113–132. 1994.

SWANSON, R.H.; D.W.A. WHITFIELD A numerical analysis of heat pulse velocity and theory. **J. Exp. Bot.** n. 32, p. 221–239. 1981.

WARING, R.H., J.M. ROBERTS. Estimating water flux through stems of Scots pine with tritiated water and phosphorus-32. **J. Exp. Bot.** n. 30, p. 459--471. 1979.



## ANEXOS

### Anexo I - Dados obtidos da análise química do solo.

pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC		% MO
					Efet.	Indice SMP	
1:1	cmol/dm <sup>3</sup>						(m.v <sup>-1</sup> )
4,5	0,3	0,1	0,9	2,8	1,4	6,4	0,3

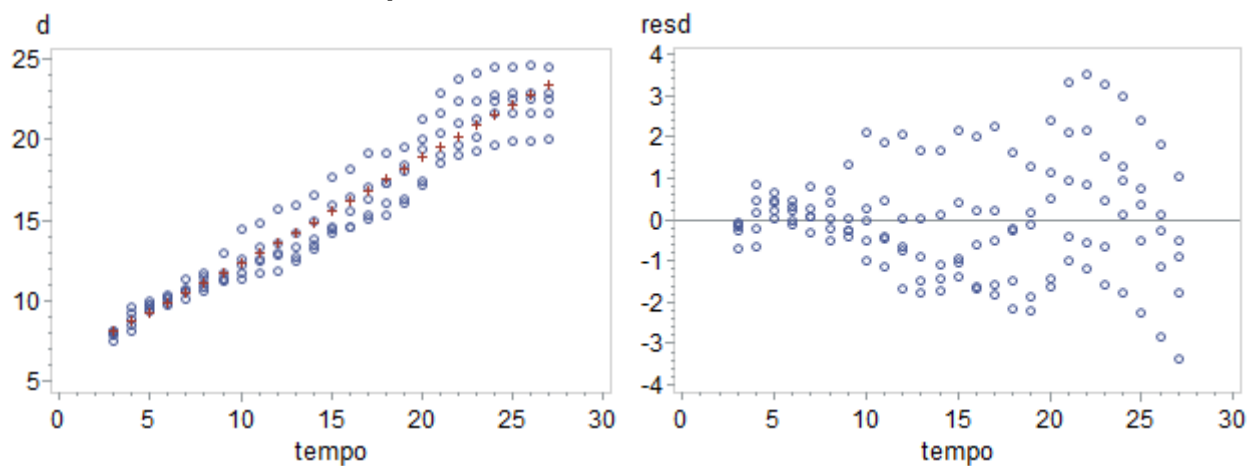
  

S	P- Mehlich	K	CTC pH		Cu	Zn	B
			7	K			
mg/dm <sup>3</sup>			cmol/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>		
6,8	5,3	0,082	3,3	32	0,3	0,2	0,1

Fonte Bellé, 2014.

## APÊNDICES

### Apêndice I – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de *P. Elliottii* para a testemunha

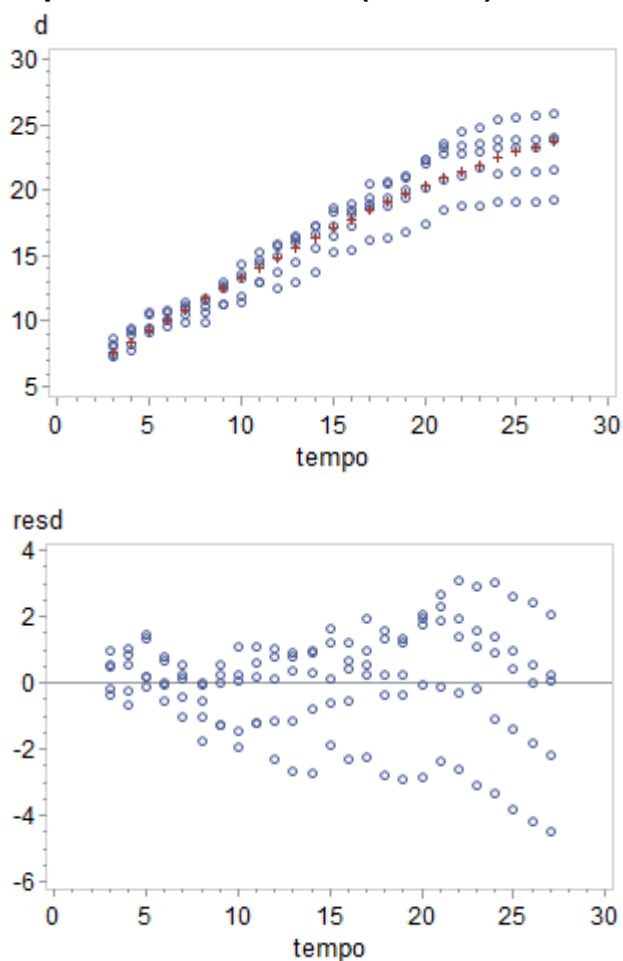


### Apêndice II – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. Elliottii* para a testemunha.

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	214,8	1,76	1,33	0,9259	0,9247

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	17,91	44.675	4,01	0,0001
k	0,68968	0,1018	6,77	<,0001
m	0,03709	0,00841	4,41	<,0001

**Apêndice III– Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 1. (Set-Out).**

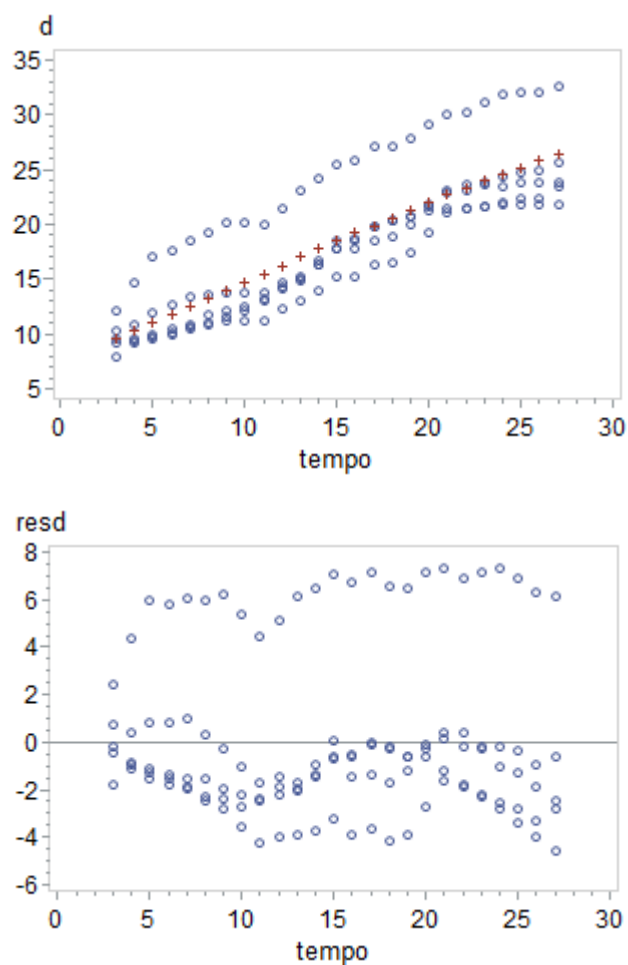


**Apêndice IV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 1. (Set-Out).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	299.4	2	2	0.9101	0.9086

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob.>  t
a	10,93	0.7804	14.00	<.0001
k	0.52595	0.0334	15.72	<.0001
m	0.074673	0.00987	7.57	<.0001

**Apêndice V – Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 2. (Out-Nov).**



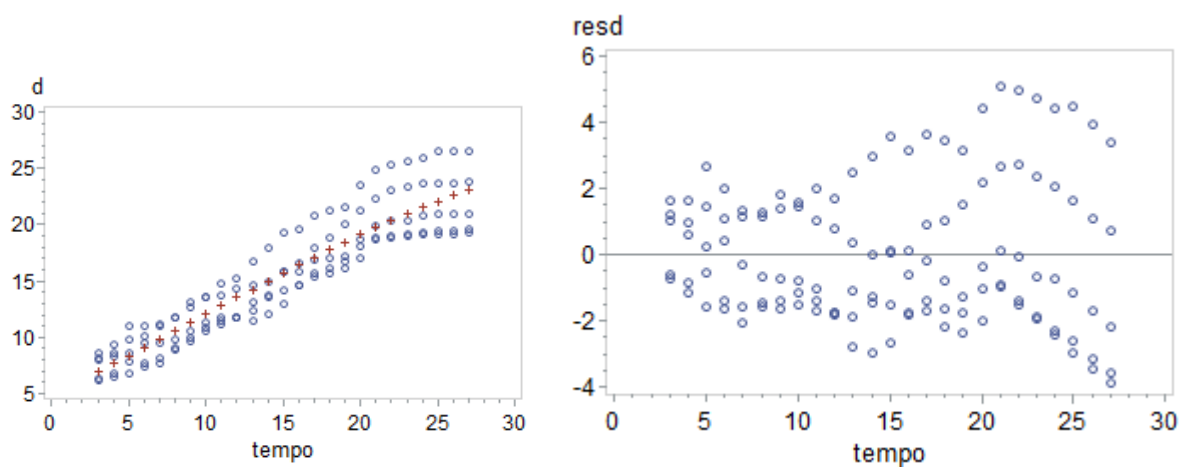
**Apêndice VI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 2. (Out-Nov).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	1384,1	11,35	3,37	0,701	0,6961

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	14,95	44.692	3,34	0,0011
k	0,51333	0,1223	4,2	<,0001
m	0,05002	0,0196	2,55	0,0119

**Apêndice VII– Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 3. (Dez-Jan).**



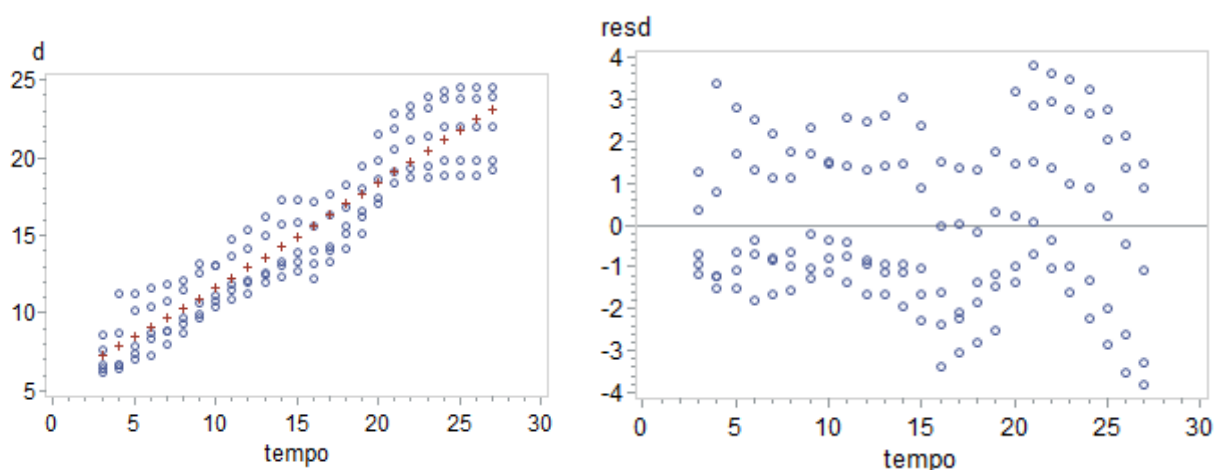
**Apêndice VIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 3. (Dez-Jan).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	534	4	2	0,8519	0,8495

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	12,14	18.031	6,73	<,0001
k	0,62403	0,0484	12,89	<,0001
m	0,06152	0,0129	4,78	<,0001

**Apêndice IX– Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 4. (Jan.-Fev).**



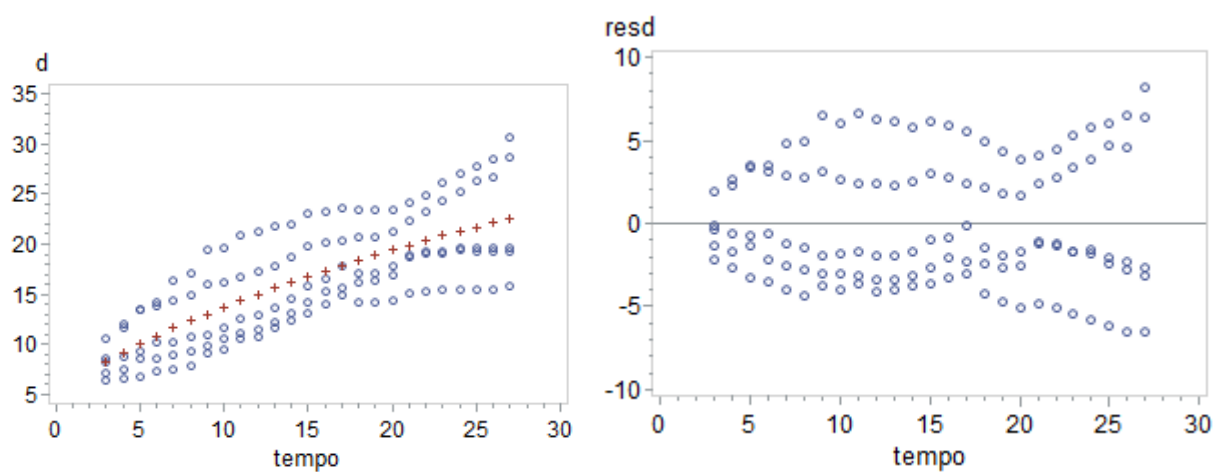
**Apêndice X– Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 4. (Jan.-Fev).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	417,9	3	2	0,8733	0,8712

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	16,95	51.319	3,3	0,0013
k	0,73005	0,1122	6,51	<,0001
m	0,04071	0,0114	3,56	0,0005

**Apêndice XI– Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 5. (Mar-Abr).**

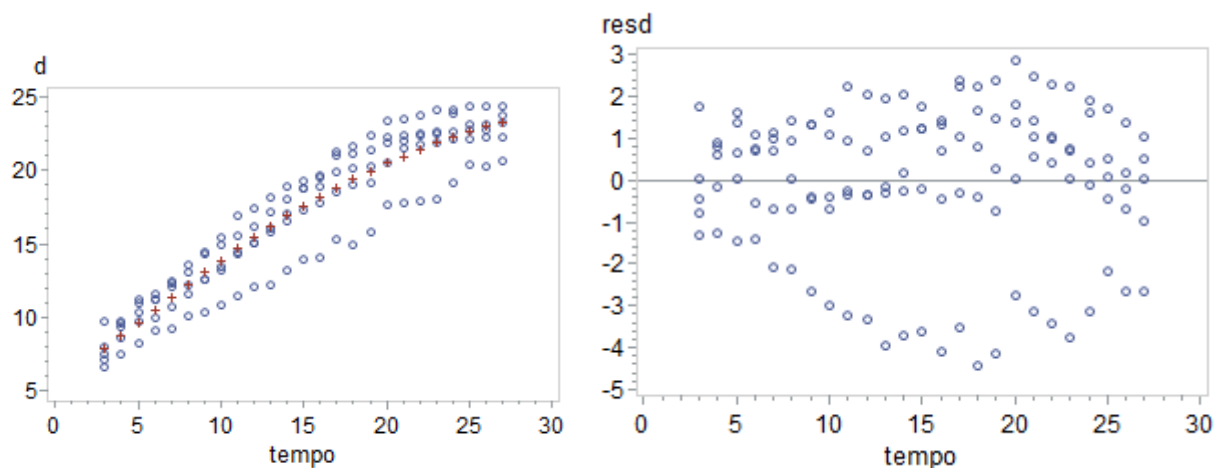


**Apêndice XII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. Elliottii* para o tratamento 5. (Mar-Abr).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	1673,8	14	4	0,5703	0,5633

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	10,20	19.267	5,29	<,0001
k	0,36857	0,0891	4,14	<,0001
m	0,07067	0,0268	2,63	0,0096

**Apêndice XIII– Modelo de Weibull ajustado e distribuição de resíduos para o diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 6. (Abr-Mai).**

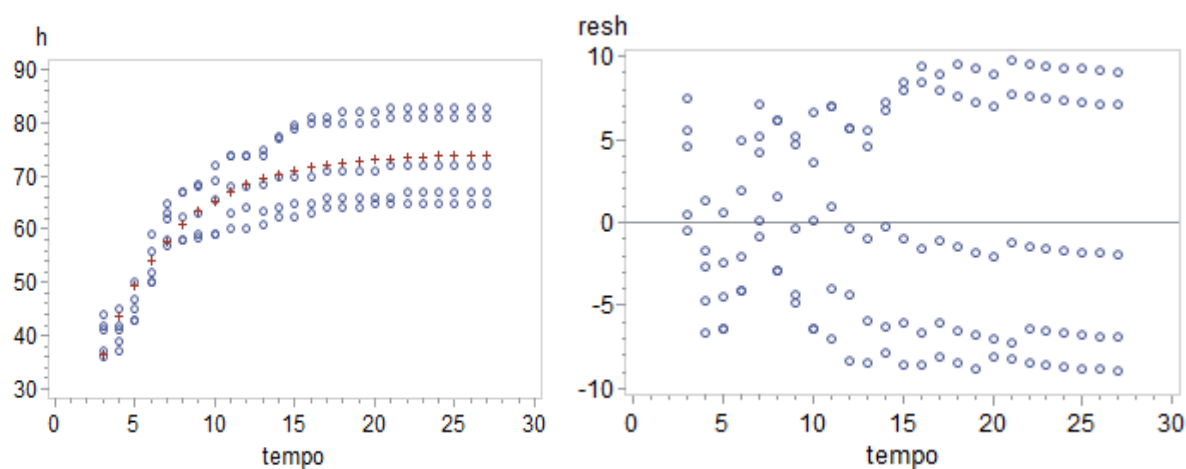


**Apêndice XIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 6. (Abr-Mai).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	374,2	3,07	1,75	0,8813	0,8794

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	9,99	0,5978	16,71	<,0001
k	0,46717	0,0444	10,52	<,0001
m	0,08644	0,0118	7,35	<,0001

**Apêndice XV – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de *P. Elliottii* para o tratamento testemunha.**



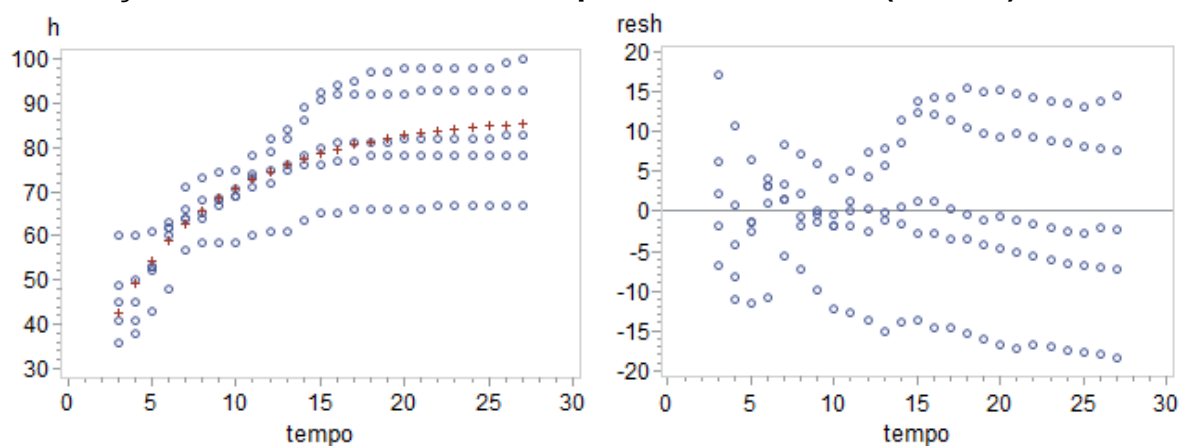
**Apêndice XVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. Elliottii* para o tratamento testemunha.**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3,00	122,00	4852,70	39,78	6,31	0,724	0,720

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	74,17	1,15	64,64	<,0001
k	0,20	0,04	5,67	<,0001
m	-0,10	0,23	-0,43	0,67

**Apêndice XVII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de *P. Elliottii* para o tratamento 1 (Set Out).**



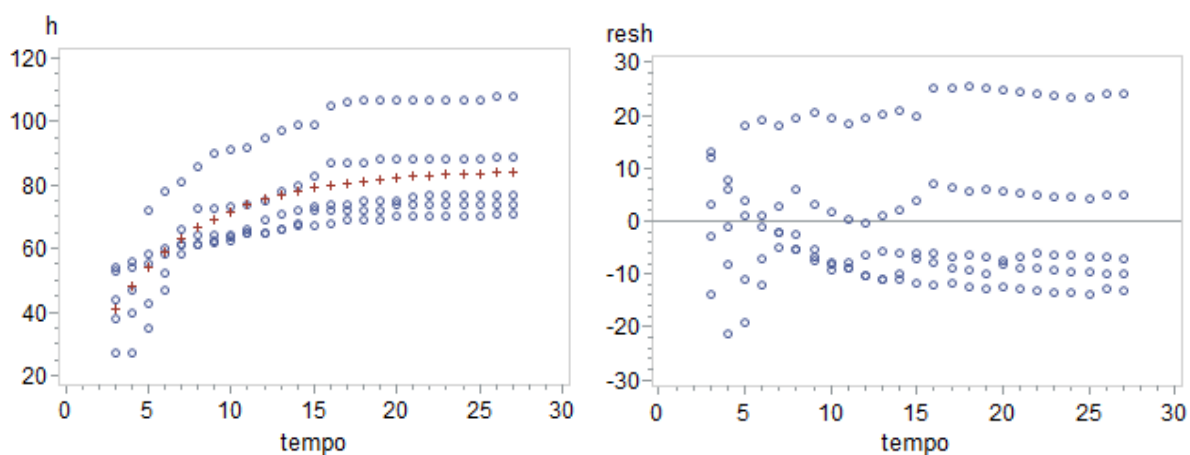
**Apêndice XVIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. Elliottii* para o tratamento 1 (Set Out).**



Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3,00	122,00	10683,80	87,57	9,36	0,620	0,614

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	87,20	3,18	27,45	<,0001
k	0,12	0,04	3,15	0,00
m	-0,64	0,42	-1,54	0,13

**Apêndice XIX– Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de *P. Elliottii* para o tratamento 2 (Out-Nov).**



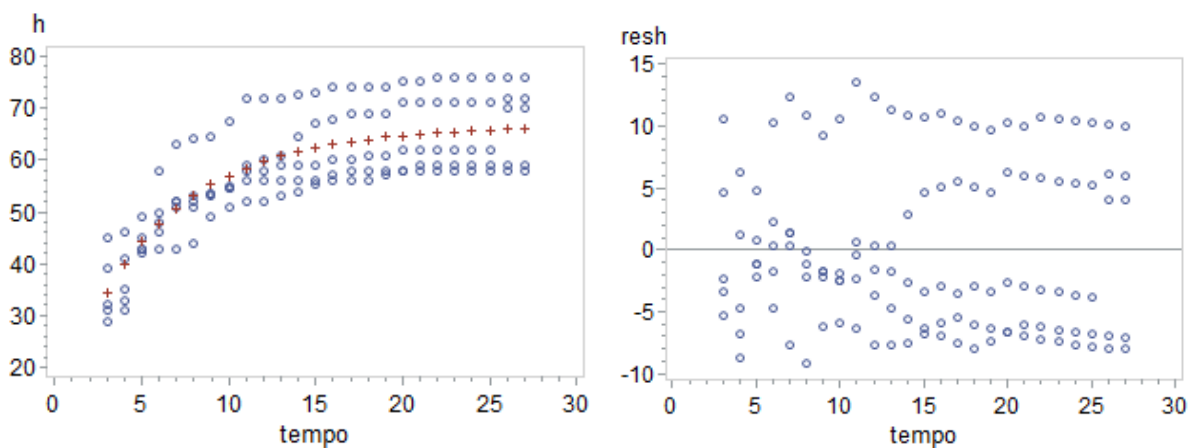
**Apêndice XX – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. Elliottii* para o tratamento 2 (Out-Nov).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	18732,8	153,5	12,39	0,4855	0,477

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	84,88	2,93	28,97	<,0001
k	0,161953	0,055	2,94	0,0039
m	-0,30609	0,4464	-0,69	0,4942

**Apêndice XXI– Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de *P. Elliottii* para o tratamento 3 (Dez-Jan).**

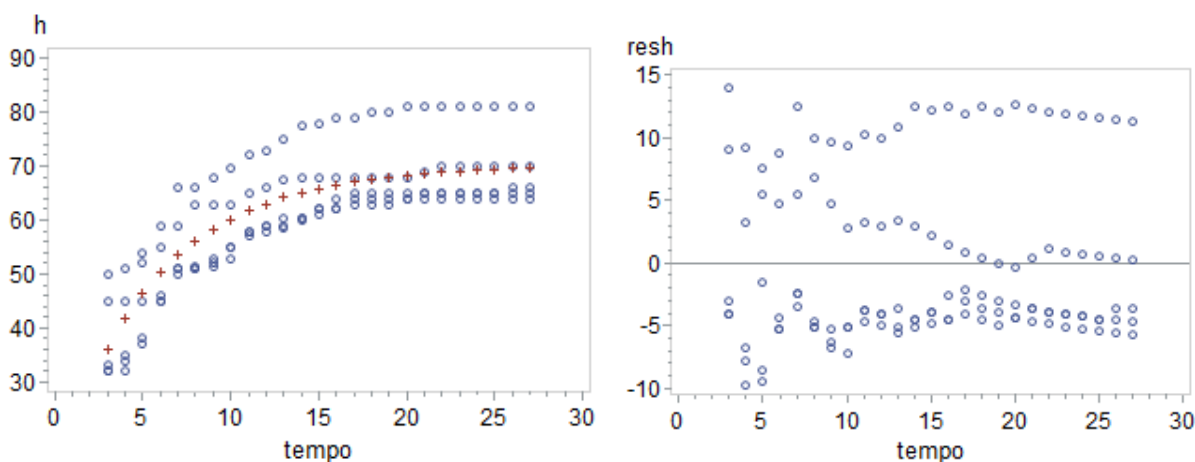


**Apêndice XXII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 3. (Dez-Jan).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	5325	43	6,61	0,6395	0,6336

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	66,66	1,60	41,56	<,0001
k	0,157248	0,0399	3,95	0,0001
m	-0,47511	0,3626	-1,31	0,1925

**Apêndice XXIII– Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de *P. elliotii* para o tratamento 4 (Jan-Fev).**

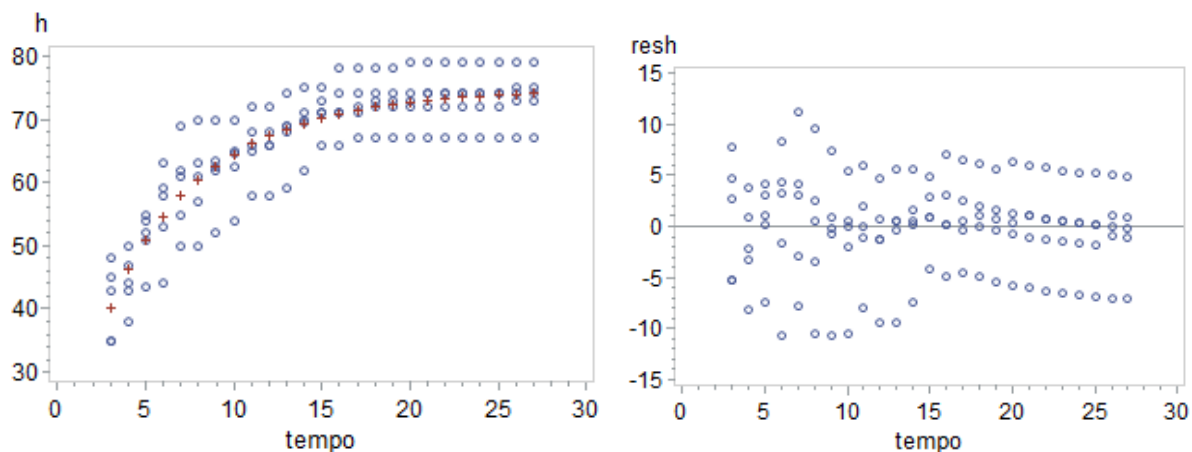


**Apêndice XXIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 4 (Jan-Fev).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	5247,8	43	7	0,6695	0,6641

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	70,33	1,56	45,13	<,0001
k	0,160119	0,0374	4,28	<,0001
m	-0,43846	0,3309	-1,33	0,1876

**Apêndice XXV – Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de *P. Elliottii* para o tratamento 5 (Mar-Abr).**



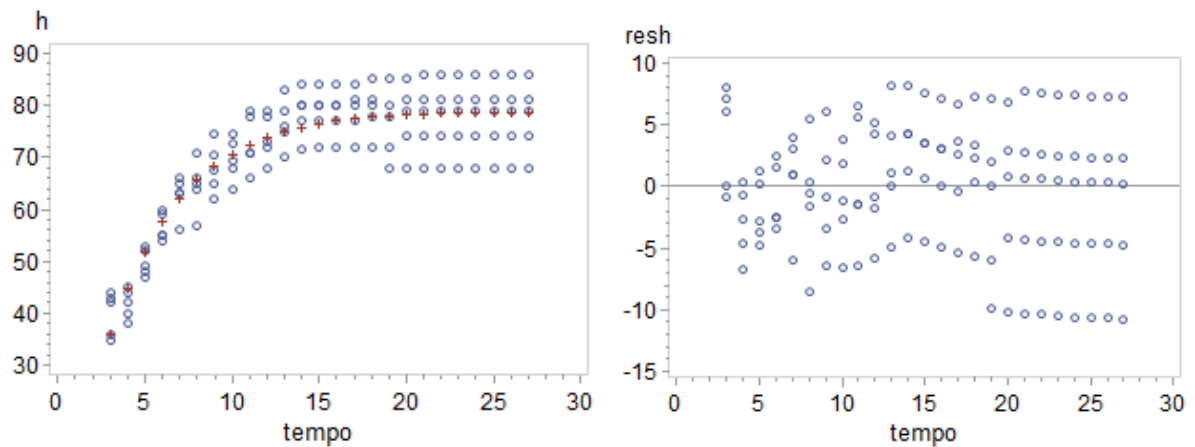
**Apêndice XXVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. Elliottii* para o tratamento 5 (Mar-Abr).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	2661	21,8	4,67	0,8005	0,7972

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	74,78	1,14	65,82	<,0001
k	0,156135	0,0264	5,91	<,0001
m	-0,58986	0,2573	-2,29	0,0236

**Apêndice XXVII– Modelo de Chapman-Richards ajustado para altura e distribuição de resíduos de *P. Elliottii* para o tratamento 6 (Abr Mai).**

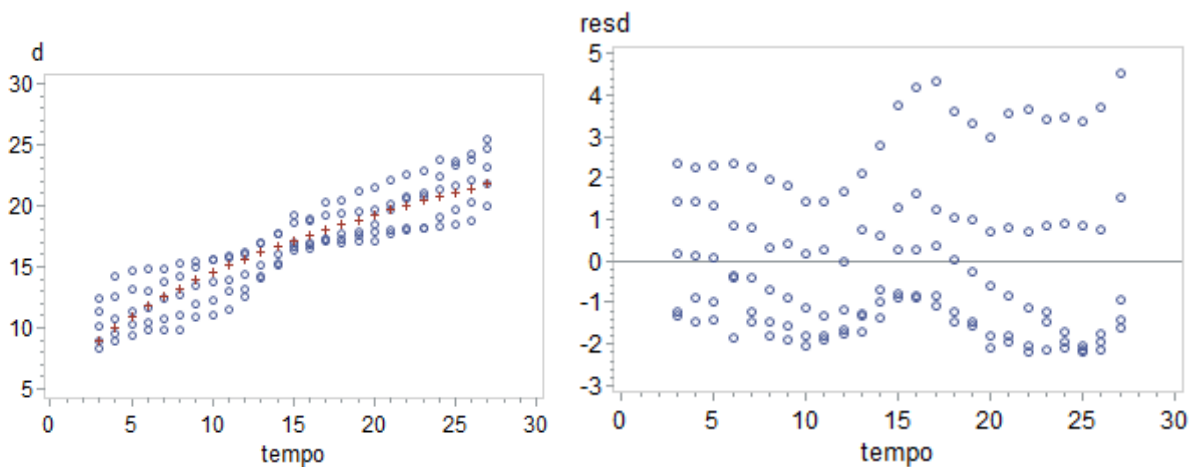


**Apêndice XXVIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 6 (Abr Mai).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	3189,7	26,15	5,11	0,8358	0,8332

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Prob. >  t
a	78,85	0,8017	98,36	<,0001
k	0,243175	0,0282	8,61	<,0001
m	0,16455	0,1322	1,25	0,2155

**Apêndice XXIX – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento testemunha.**

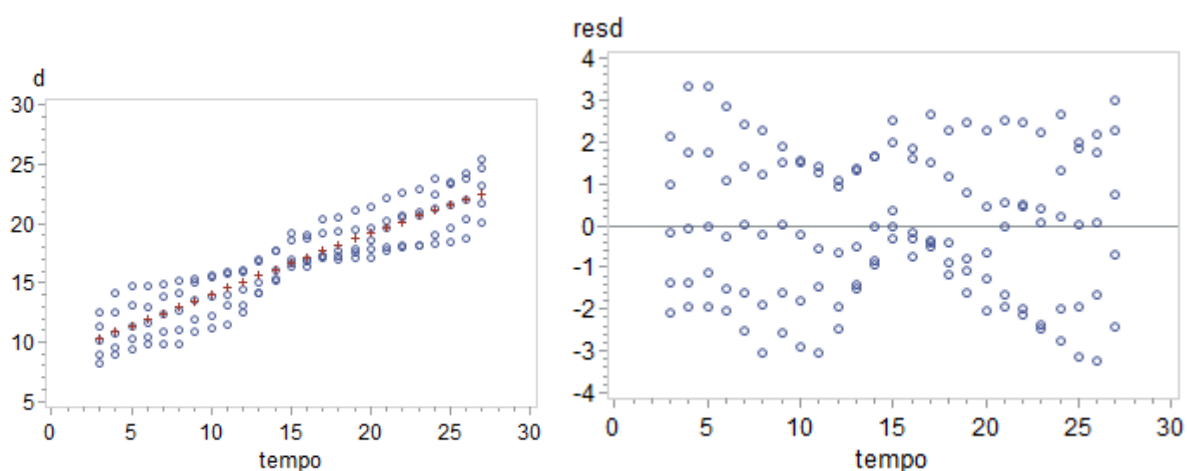


**Apêndice XXX – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento testemunha.**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	406,1	3,43	1,82	0,7584	0,7545

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	9,59	14.487	6,62	<,0001
k	0,165372	0,0841	1,97	0,0516
m	0,056293	0,0168	3,35	0,0011

**Apêndice XXXI – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 1 (Set Out).**

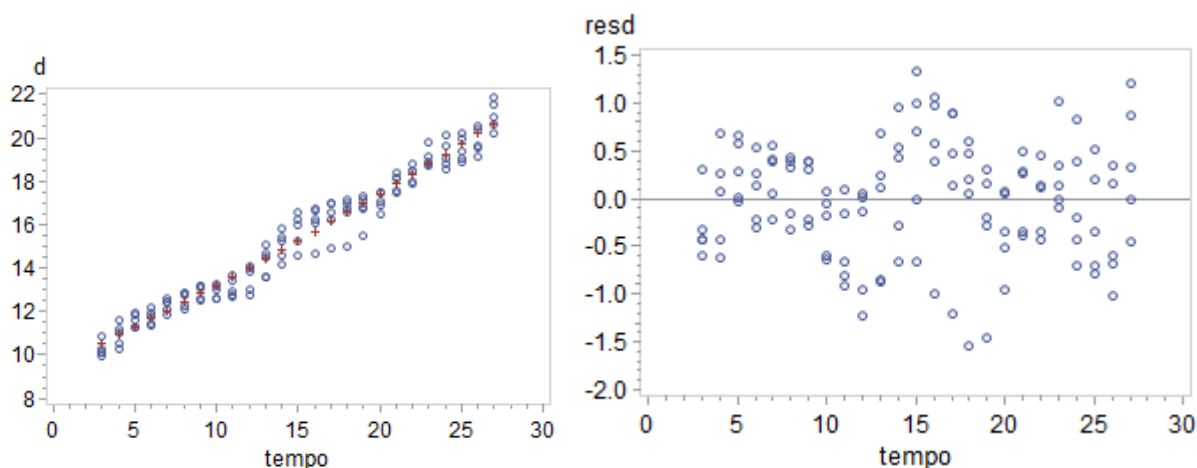


**Apêndice XXXII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 1 (Set Out).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	365,3	2,99	1,73	0,8222	0,8193

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	13,74	38.369	3,58	0,0005
k	0,365651	0,1582	2,31	0,0225
m	0,038587	0,0136	2,84	0,0053

**Apêndice XXXIII – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 2 (Out-Nov).**



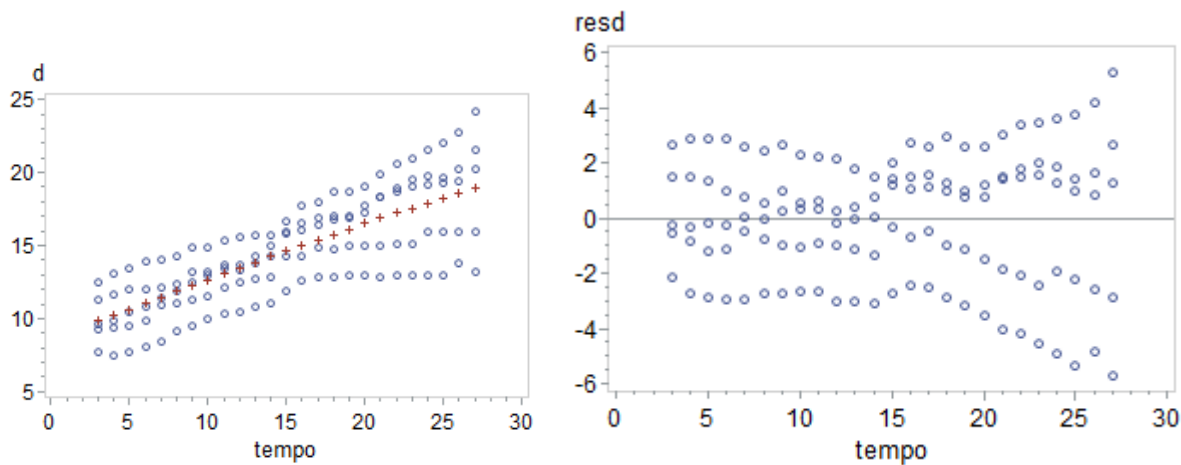
**Apêndice XXXIV– Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 2 (Out-Nov).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	416.611	0,3415	0,5844	0,9652	0,9646

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	31,24	178.377	1,75	0,0824
k	0,782816	0,2532	3,09	0,0025
m	0,016163	0,00545	2,97	0,0036

**Apêndice XXXV – Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 3 (Dez-Jan).**



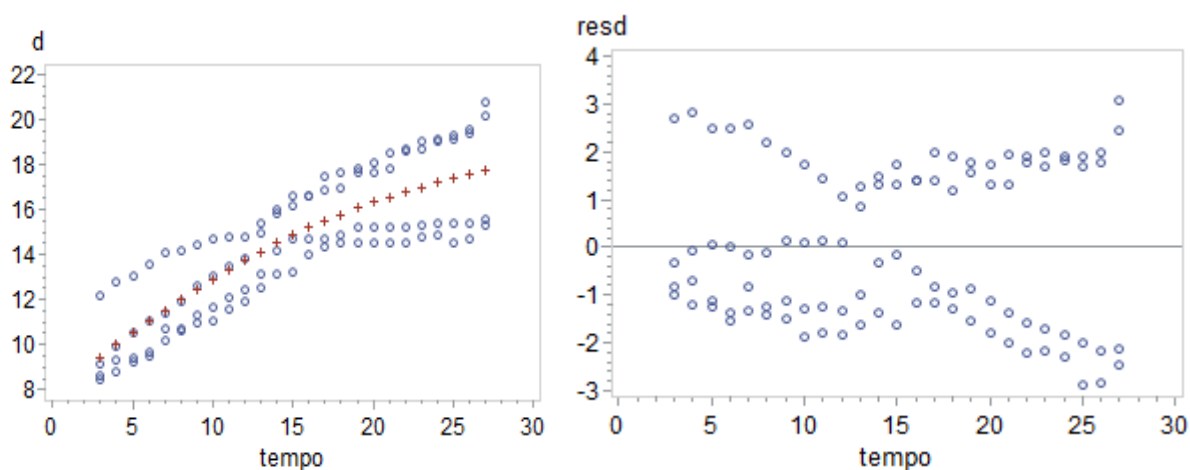
**Apêndice XXXVI– Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 3 (Dez-Jan).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	642,6	5,27	2,30	0,5949	0,5882

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	11,11	52.305	2,12	0,0357
k	0,224995	0,317	0,71	0,4793
m	0,036415	0,024	1,52	0,131

**Apêndice XXXVII– Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 4 (Jan-Fev).**



**Apêndice XXXVIII– Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 4 (Jan –Fev)**

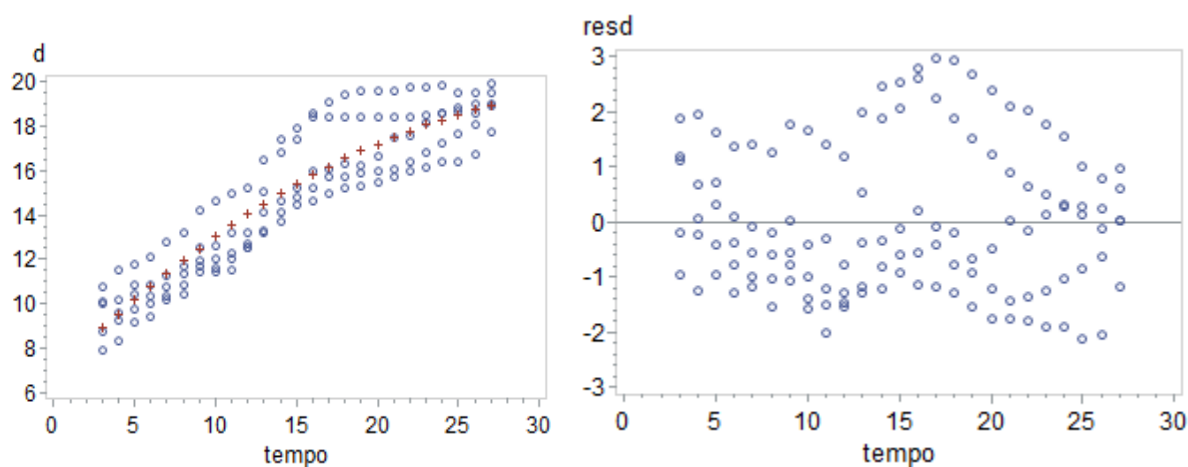
Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	97	264,2	2,72	1,65	0,7035	0,6973

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	7,30	0,6379	11,44	<,0001
k	-0,06225	0,0713	-0,87	0,3848
m	0,07836	0,0225	3,49	0,0007



**Apêndice XXXIX– Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 5 (Mar-Abr).**



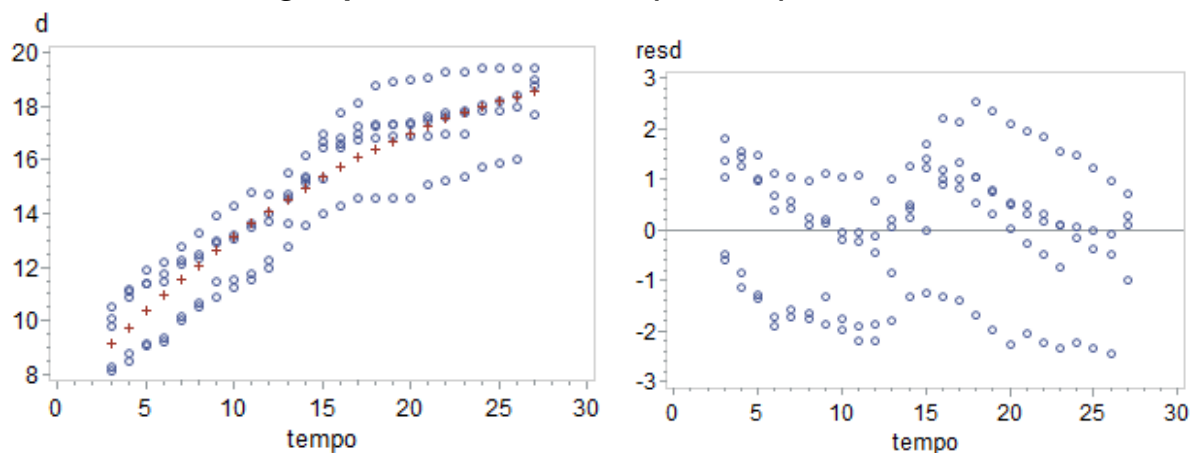
**Apêndice XL– Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliotii* para o tratamento 5 (Mar-Abr).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	122	215,5	1,77	1,33	0,843	0,8404

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	7,92	0,4609	17,18	<,0001
k	0,115562	0,0438	2,64	0,0095
m	0,080429	0,0134	6,21	<,0001

**Apêndice XLI– Modelo de Weibull ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 6 (Abr-Mai).**



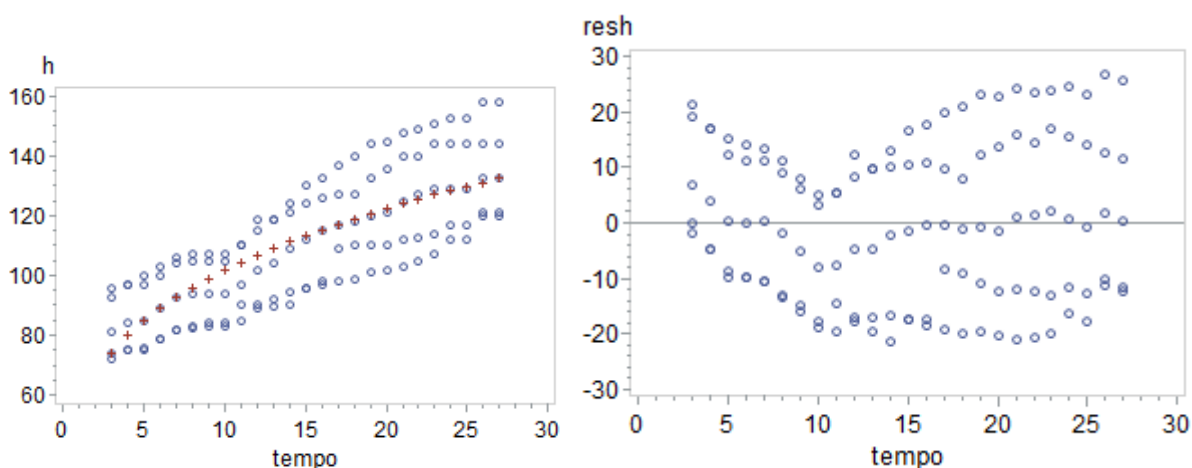
**Apêndice XLII– Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em diâmetro de *P. elliptii* para o tratamento 6 (Abr- Mai).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
d	3	118	186,7	1,58	1,26	0,838	0,8352

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	8	0,4086	18,61	<,0001
k	0,05038	0,0456	1,11	0,2713
m	0,08397	0,014	5,98	<,0001

**Apêndice XLIII– Modelo de Chapman-Richards ajustado para a altura e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento testemunha.**



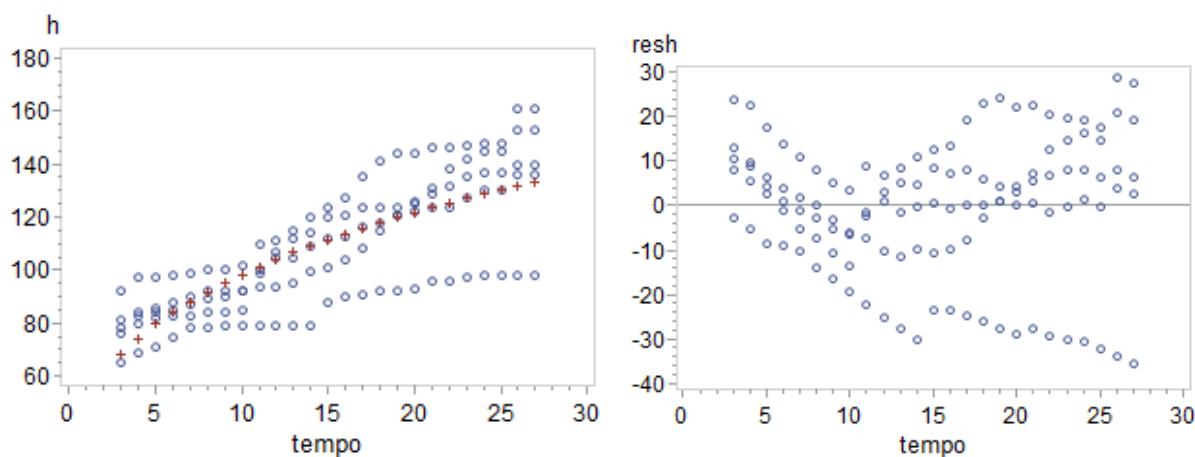
**Apêndice XLIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliptii* para o tratamento testemunha.**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	4852,7	40	6,42	0,7241	0,7195

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	74	11.476	64,63	<,0001
k	0,20418	0,036	5,67	<,0001
m	-0,1	0,231	-0,43	0,666

**Apêndice XLV– Modelo de Chapman-Richards ajustado para a altura e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 1 (Set Out).**



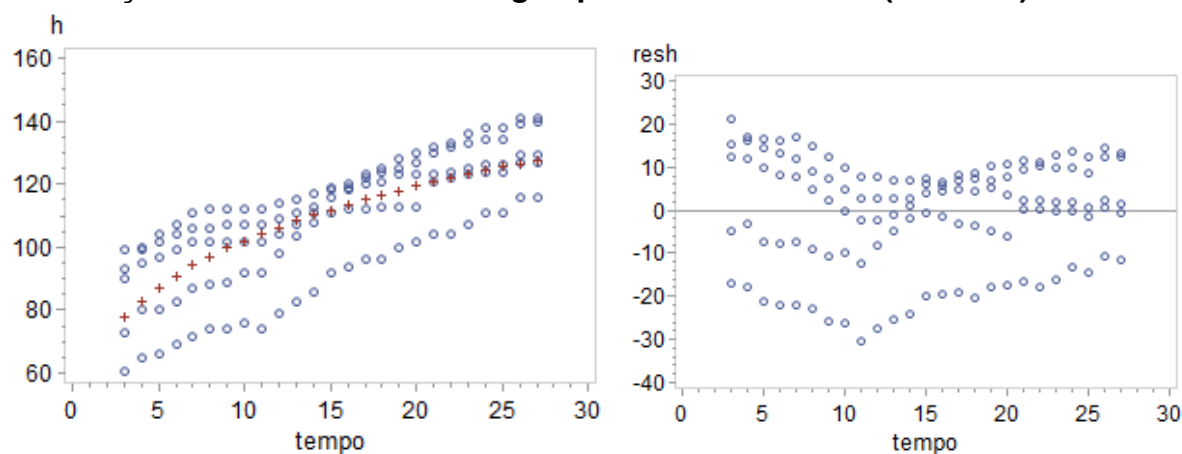
**Apêndice XLVI– Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 1 (Set Out).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	10683.8	88	9	0.6204	0.6141

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	87	31.695	27.51	<.0001
k	0.123922	0.0393	3.16	0.0020
m	-0.63921	0.4170	-1.53	0.1279

**Apêndice XLVII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 2 (Out-Nov).**

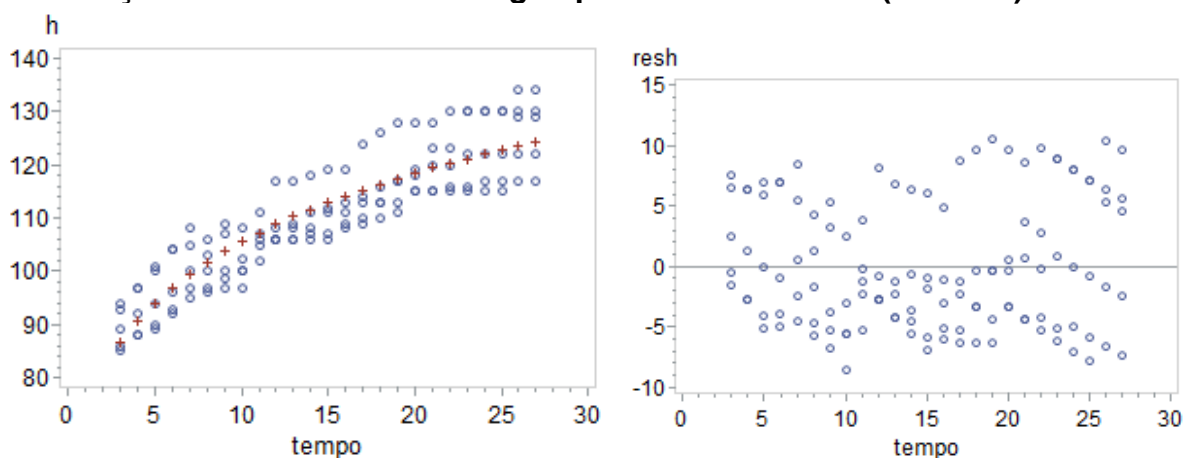


**Apêndice XLVIII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 2 (Out-Nov).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	18732,8	153,5	12	0,4855	0,477

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	85	29.302	28,97	<,0001
k	0,16194	0,0551	2,94	0,0039
m	-0,3063	0,4465	-0,69	0,494

**Apêndice XLIX – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 3 (Dez-Jan).**

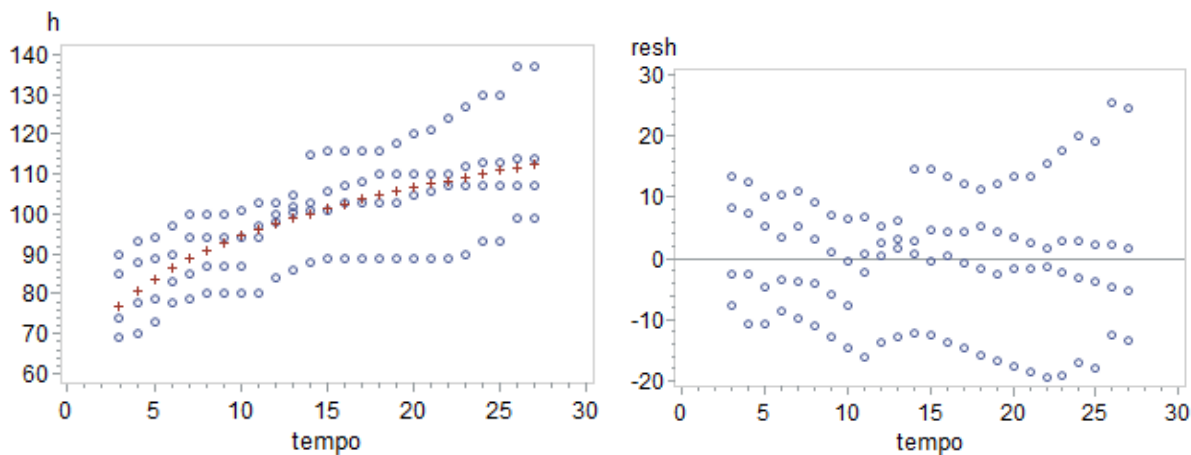


**Apêndice L – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 3 (Dez-Jan).**

Equação	G.L. Modelo	G.L. Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	5325	44	7	0,6395	0,6336

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	67	16.025	41,59	<,0001
k	0,15737	0,0399	3,95	0,0001
m	-0,4741	0,3624	-1,31	0,1932

**Apêndice LI – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 4 (Jan-Fev).**



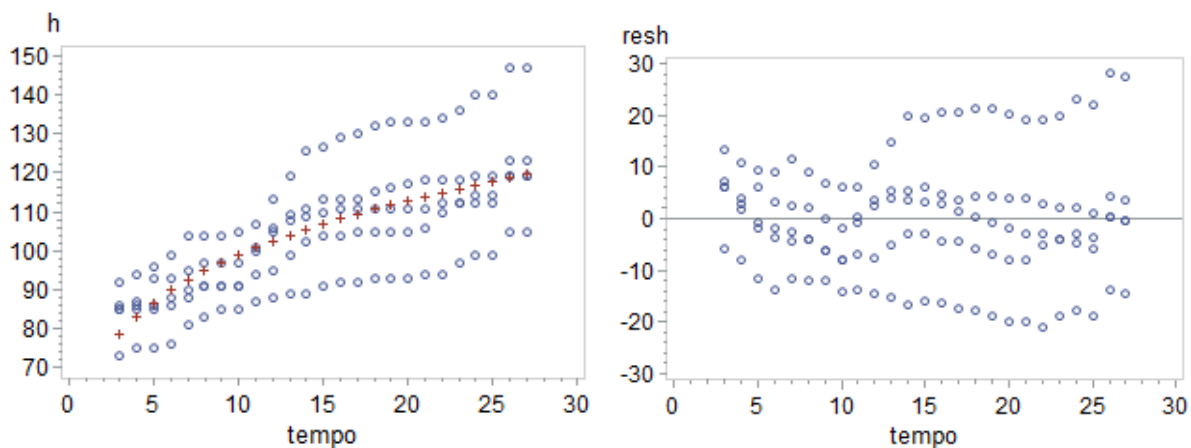
**Apêndice LII – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 4 (Jan-Fev).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	5247,8	43	7	0,6695	0,6641

Parâmetro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	70	15.558	45.20	<.0001
k	0.160344	0.0374	4.29	<.0001
m	-0.43659	0.3305	-1.32	0.1890

**Apêndice LIII – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 5 (Fev-Mar).**



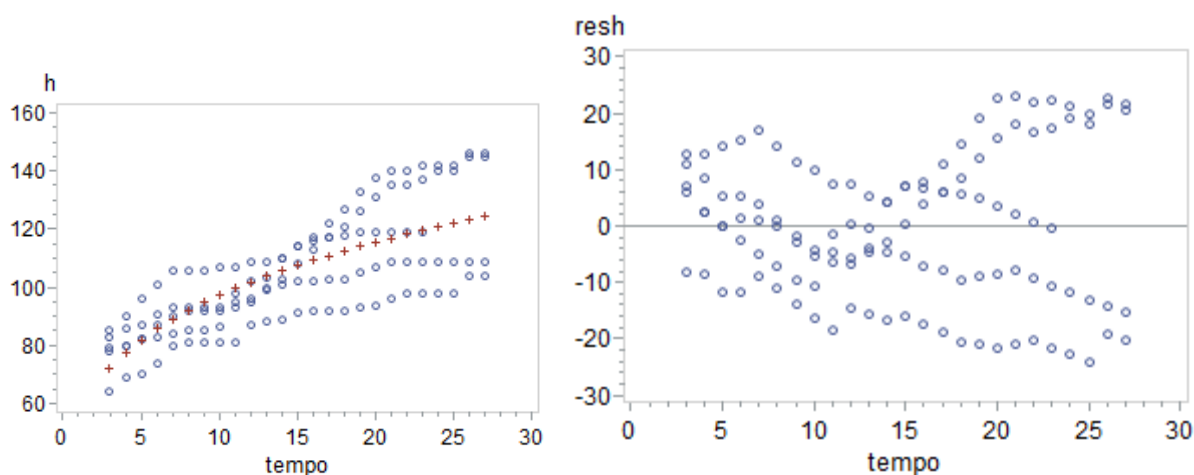
**Apêndice LIV – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 5 (Fev-Mar).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	2661	22	5	0,8005	0,7972

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	75	11.362	65,82	<,0001
k	0,15612	0,0264	5,91	<,0001
m	-0,59	0,2573	-2,29	0,0236

**Apêndice LV – Modelo de Chapman-Richards ajustado para o diâmetro e distribuição de resíduos de *E. saligna* para o tratamento 6 (Abr-Mai).**



**Apêndice LVI – Estatísticas de ajuste coeficientes do modelo para o crescimento em altura de *P. elliotii* para o tratamento 6 (Abr-Mai).**

Equação	G.L. Modelo	G.L Erro	S.Q.E.	Q.M.E.	SyX	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajust
h	3	122	3189,7	26	5	0,8358	0,8332

Parametro	Estimado	Erro padrão	t	Pr >  t
a	78,85	0,8014	98,39	<,0001
k	0,24328	0,0283	8,61	<,0001
m	0,16477	0,1322	1,25	0,2149

**Apêndice LVII Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *P. elliotii* para o primeiro período de déficit hídrico. (Set.- Out.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	0,595	0,149	1,330	0,265
Erro	98	10,985	0,112		
Total	102	11,581			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,051	62,722	0,335	0,534

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,059	0,059	0,520	0,471
Trat	1	0,082	0,082	0,730	0,395
quinzena*Trat	2	0,190	0,095	0,850	0,431

**Apêndice LVIII Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *P. elliotii* para o segundo período de déficit hídrico. (Out.- Nov.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	2,067	0,517	3,030	0,022
Erro	82	13,966	0,170		
Total	86	16,034			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,129	58,544	0,413	0,705

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,431	0,431	2,530	0,116
Trat	1	0,014	0,014	0,080	0,773
quinzena*Trat	2	0,446	0,223	1,310	0,276

**Apêndice LIX Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *P. elliotii* para o terceiro período de déficit hídrico. (Dez.-Jan.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	1,309	0,327	4,400	0,003
Erro	68	5,059	0,074		
Total	72	6,369			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,206	43,658	0,273	0,625

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,136	0,136	1,830	0,181
Trat	1	0,012	0,012	0,170	0,685
quinzena*Trat	2	0,170	0,085	1,140	0,326

**Apêndice LIX Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *P. elliotii* para o quarto período de déficit hídrico. (Jan.-Fev.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	3,331	0,833	6,630	0,0002
Erro	51	6,401	0,126		
Total	55	9,732			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,342	50,417	0,354	0,703

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena*quinzena	1	1,650	1,650	13,140	0,001
Trat	1	0,752	0,752	5,990	0,018
quinzena*Trat	2	2,279	1,139	9,080	0,0004

**Apêndice LX Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *P. elliotii* para o quinto período de déficit hídrico. (Fev.-Mar.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	8,145	2,036	21,880	<,0001
Erro	36	3,350	0,093		
Total	40	11,495			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,709	49,124	0,305	0,621

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	1,117	1,117	12,000	0,001
Trat	1	1,056	1,056	11,350	0,002
quinzena*Trat	2	1,990	0,995	10,690	0,0002

**Apêndice LX Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *P. elliotii* para o quinto sexto de déficit hídrico. (Abr.- Mai.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	5,844	1,461	26,690	<,0001
Erro	25	1,368	0,055		
Total	29	7,212			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,810	45,429	0,234	0,515

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,119	0,119	2,170	0,153
Trat	1	1,385	1,385	25,310	<,0001
quinzena*Trat	2	1,387	0,694	12,670	0,0002



**Apêndice LXI Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *P. elliotii* para o primeiro período de déficit hídrico. (Set.- Out.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	360,928	90,232	11,780	<,0001
Erro	98	750,504	7,658		
Total	102	1.111,432			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,325	65,003	2,767	4,257

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	61,354	61,354	8,010	0,006
Trat	1	2,872	2,872	0,370	0,542
quinzena*Trat	2	53,062	26,531	3,460	0,035

**Apêndice LXII Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *P. elliotii* para o segundo período de déficit hídrico. (Out.- Nov.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	28,081	7,020	3,730	0,008
Erro	82	154,522	1,884		
Total	86	182,603			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,154	71,729	1,373	1,914

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	7,292	7,292	3,870	0,053
Trat	1	0,886	0,886	0,470	0,495
quinzena*Trat	2	8,399	4,200	2,230	0,114

**Apêndice LXIII Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *P. elliotii* para o terceiro período de déficit hídrico. (Dez.-Jan.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4,000	17,058	4,264	3,980	0,006
Erro	68,000	72,812	1,071		
Total	72,000	89,870			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,190	86,330	1,035	1,199

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	1,673	1,673	1,560	0,216
Trat	1	0,016	0,016	0,010	0,904
quinzena*Trat	2	1,926	0,963	0,900	0,412

**Apêndice LXIV Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *P. elliotii* para o quarto período de déficit hídrico. (Jan.-Fev.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	4,062	1,016	1,590	0,191
Erro	51	32,528	0,638		
Total	55	36,590			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,111	133,501	0,799	0,598

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,479	0,479	0,750	0,390
Trat	1	0,278	0,278	0,440	0,512
quinzena*Trat	2	0,836	0,418	0,660	0,524

**Apêndice LXV Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *P. elliotii* para o quinto período de déficit hídrico. (Fev.-Mar.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	1,984	0,496	2,710	0,045
Erro	36	6,577	0,183		
Total	40	8,561			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,232	166,902	0,427	0,256

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena*	1	1,464	1,464	8,010	0,008
Trat	1	0,714	0,714	3,910	0,056
quinzena*Trat	2	1,950	0,975	5,340	0,009

**Apêndice LXVI Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *P. elliotii* para o sexto período de déficit hídrico. (Abr.-Mai.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	0,838	0,209	3,010	0,037
Erro	25	1,738	0,070		
Total	29	2,575			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,325	175,752	0,264	0,150

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,038	0,038	0,540	0,469
Trat	1	0,119	0,119	1,720	0,202
quinzena*Trat	2	0,154	0,077	1,110	0,346

**Apêndice LXVII Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *E. saligna* para o primeiro período de déficit hídrico. (Set.-Out.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	1,481	0,370	7,850	<,0001
Erro	92	4,335	0,047		
Total	96	5,816			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,254574	56,60	0,217081	0,384

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	1,404	1,404	29,79	<,0001
Trat	1	0,00019	0,00019	0	0,9492
quinzena*Trat	2	1,404	0,702	14,9	<,0001

**Apêndice LXVIII Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *E. saligna* para o segundo período de déficit hídrico. (Out.-Nov.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	1,592	0,398	10,110	<,0001
Erro	77	3,031	0,039		
Total	81	4,623			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,344365	49,63	0,198	0,400

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	1,069	1,069	27,150	<,0001
Trat	1	0,017	0,017	0,440	0,511
quinzena*Trat	2	1,107	0,554	14,070	<,0001

**Apêndice LXIX Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *E. saligna* para o terceiro período de déficit hídrico. (Dez.-Jan.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	4,726	1,182	9,370	<,0001
Erro	65	8,198	0,126		
Total	69	12,925			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,365683	54,73	0,355149	0,649

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,933	0,933	7,400	0,008
Trat	1	0,061	0,061	0,480	0,491
quinzena*Trat	2	1,117	0,558	4,430	0,016

**Apêndice LXX Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *E. saligna* para o quarto período de déficit hídrico. (Jan.-Fev.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	2,713	0,678	5,260	0,001
Erro	49	6,315	0,129		
Total	53	9,028			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,300505	64,09	0,359002	0,560

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,00047	0,000	0,000	0,952
Trat	1	0,568	0,568	4,410	0,041
quinzena*Trat	2	0,519	0,259	2,010	0,145

**Apêndice LXXI Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *E. saligna* para o quinto período de déficit hídrico. (Fev.-Mar.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	0,0749	0,0187	0,8200	0,5209
Erro	37	0,8454	0,0228		
Total	41	0,9203			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,081407	124,48	0,151157	0,121

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	0,0001913	0,0001913	0,010	0,928
Trat	1	0,009827	0,009827	0,430	0,516
quinzena*Trat	2	0,0104445	0,0052222	0,230	0,797

**Apêndice LXXII Análise de variância e covariância para o incremento em diâmetro de *E. saligna* para o sexto período de déficit hídrico. (Abr.-Mai.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	0,6322	0,1580	2,3000	0,0872
Erro	25	1,7206	0,0688		
Total	29	2,3527			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	incd Médio
0,268698	101,81	0,26234	0,258

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena*quinzena	1	0,126	0,126	1,830	0,188
Trat	1	0,000	0,000	0,010	0,934
quinzena*Trat	2	0,130	0,065	0,950	0,402

**Apêndice LXXIII Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *E. saligna* para o primeiro período de déficit hídrico. (Set.-Out.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	92,899	23,225	16,560	<,0001
Erro	92	129,055	1,403		
Total	96	221,954			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,419	53,435	1,184	2,216

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	25,131	25,131	17,920	<,0001
Trat	1	6,730	6,730	4,800	0,031
quinzena*Trat	2	27,234	13,617	9,710	0,000

**Apêndice LXXIV Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *E. saligna* para o segundo período de déficit hídrico. (Out.-Nov.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	167,900	41,975	14,430	<,0001
Erro	77	223,978	2,909		
Total	81	391,878			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,428	130,704	1,706	1,305

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	43,505	43,505	14,960	0,000
Trat	1	17,429	17,429	5,990	0,017
quinzena*Trat	2	6,196	3,098	10,650	<,0001

**Apêndice LXXV Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *E. saligna* para o terceiro período de déficit hídrico. (Dez.-Jan.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	56,478	14,119	2,960	0,026
Erro	65	309,669	4,764		
Total	69	366,146			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0.154249	81,055	2,183	2,693

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	12,158	12,158	2,550	0,115
Trat	1	2,958	2,958	0,620	0,434
quinzena*Trat	2	16,573	8,286	1,740	0,184

**Apêndice LXXVI Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *E. saligna* para o quarto período de déficit hídrico. (Jan.- Fev.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	32,079	8,020	1,950	0,118
Erro	49	201,833	4,119		
Total	53	233,912			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,137	110,146	2,030	1,843

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	6,423	6,423	1,560	0,218
Trat	1	0,012	0,012	0,000	0,957
quinzena*Trat	2	6,770	3,385	0,820	0,446

**Apêndice LXXVII Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *E. saligna* para o quinto período de déficit hídrico. (Fev.-Mar.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	30,246	7,562	2.63	0.0497
Erro	37	106,377	2,875		
Total	41	136,623			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0.221384	103,210	1,696	1,643

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	3,412	3,412	1.19	0.2830
Trat	1	1,988	1,988	0.69	0.4110
quinzena*Trat	2	6,053	3,027	1.05	0.3592

**Apêndice LXXVIII Análise de variância e covariância para o incremento em altura de *E. saligna* para o sexto período de déficit hídrico. (Abr.-Mai.)**

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
Modelo	4	19,575	4,894	4.12	0.0106
Erro	25	29,667	1,187		
Total	29	49,242			

R <sup>2</sup>	C.V.	Q.M.E.	inch Médio
0,398	73,439	1,089	1,483

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr > F
quinzena	1	8,067	8,067	6,800	0,015
Trat	1	0,327	0,327	0,280	0,604
quinzena*Trat	2	8,666	4,333	3,650	0,041