

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

**INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DO
PREPARO DO SOLO NO CRESCIMENTO DE *Pinus
elliottii* Engelm. CULTIVADO EM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pierre André Bellé

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DO PREPARO DO
SOLO NO CRESCIMENTO DE *Pinus elliottii* Engelm. CULTIVADO
EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

Pierre André Bellé

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal, Área de Concentração, Crescimento e
Produção Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Paulo Renato Schneider

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bellé, Pierre André
Influência da disponibilidade hídrica e do preparo do solo no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. cultivado em neossolo quartzarênico. / Pierre André Bellé.-2014.
108 p.; 30cm

Orientador: Paulo Renato Schneider
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2014

1. Consumo hídrico 2. Incremento 3. Fertilidade 4. Solo degradado I. Schneider, Paulo Renato II. Título.

©2014

Todos os direitos autorais reservados a Pierre André Bellé. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização do autor.

Endereço eletrônico: pierreandrebellé@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DO PREPARO DO
SOLO NO CRESCIMENTO DE *Pinus elliottii* Engelm. CULTIVADO
EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

Elaborada por
Pierre André Bellé

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Paulo Renato Schneider, Dr.
(Presidente /Orientador)

José Imaña-Encinas, Dr. (UnB)

Jussara Cabral Cruz, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que colaboraram com a concepção, implantação, condução e análise do experimento. Minha gratidão pela participação neste período intenso de aprendizado e crescimento.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DO PREPARO DO SOLO NO CRESCIMENTO DE *Pinus elliottii* Engelm. CULTIVADO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

Autor: Pierre André Bellé
Orientador: Paulo Renato Schneider
Santa Maria, 26 de fevereiro de 2014

A implantação de povoamentos florestais em ambientes com solos arenosos degradados apresenta desafios ligados a baixa fertilidade e ao déficit hídrico. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento de plantas jovens de *Pinus elliottii* em solo arenoso com o uso de compostos químicos e orgânicos para sua fertilização, sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica. O cultivo das plantas teve a duração de 13 meses sob estufa em vasos de 7 litros, os quais foram mantidos a 20, 40, 60 e 80% da capacidade máxima de retenção de água do vaso. Os tratamentos resultaram da combinação do preparo do solo (NPK e/ou acícula parcialmente decomposta e controle) com o nível de disponibilidade hídrica, resultando em 16 tratamentos em delineamento bifatorial quali-quantitativo com distribuição inteiramente casualizada com quatro repetições. Foram avaliadas a altura e diâmetro do colo ao final do experimento, análise do incremento mensal, produção de matéria seca, consumo hídrico e eficiência do uso de água na assimilação de massa seca. Os resultados obtidos mostraram que o uso de fertilizante químico influenciou negativamente a sobrevivência das plantas, principalmente em baixas disponibilidades de água no solo. A altura final e seu incremento foram influenciados pela disponibilidade hídrica no solo, já o diâmetro do colo e seu incremento, pela disponibilidade de água e sua interação com o preparo de solo. O crescimento em altura ao longo do período foi atribuído ao preparo de solo, já o período de crescimento em diâmetro do colo foi prolongado pela baixa saturação de água no solo. O consumo hídrico se elevou à medida que aumentou a disponibilidade hídrica, entretanto a eficiência de uso da água aumenta com diminuição da mesma, e na presença de fertilizante químico.

Palavras-chave: Consumo hídrico. Incremento. Fertilidade. Solo degradado.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Graduate Program in Forest Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

INFLUENCE OF WATER AVAILABILITY AND SOIL PREPARE IN THE GROWTH OF Slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) IN QUARTZRENIC NEOSSOIL.

Author: Pierre André Bellé
Advisor: Paulo Renato Schneider
Santa Maria, February 26th, 2014

The establishment of forest stands on degraded sandy soils environments presents challenges related to low fertility and drought. The objective of this study was to evaluate the growth of young plants of *Pinus elliottii* Engelm. in sandy soil with the use of chemicals and organic fertilizer under different levels of water availability. The cultivation of plants lasted 13 months in a greenhouse in pots of 7 liters were kept at 20, 40, 60 and 80% of maximum water holding capacity of the container. The treatments consisted of combinations of soil preparation (NPK and / or partially decomposed pine needles and control) with the level of water availability, resulting in 16 treatments in factorial quali-quantitative distribution completely random distribution with four replications. The height and diameter of the stem base at the end of the experiment, analysis of monthly growth, dry matter yield, water use efficiency and water use in the assimilation of dry mass were observed. The results showed that the use of chemical fertilizer negatively influenced the survival of the plants, especially at lower water availability in the soil. The final height and its growth were influenced by soil water availability, the diameter of the stem base and its increment was influenced by the availability of water and its interaction with soil preparation. The growth in height over time was attributed to soil prepare, also the diameter growth period of the diameter was extended by the low water saturation in the soil. The water consumption rose as increased water availability, however, the efficiency of water use increases with the lower water quantity in soil, and in the presence of chemical fertilizer.

Keywords: Water consumption. Increment. Fertility. Degraded soil.

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Al	Alumínio
ANOVA	Analysis of Variation (Análise de Variação)
B	Boro
Ca	Cálcio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
CV%	Coefficiente de Variação Percentual
cm	Centímetro
Cu	Cobre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
F	Valor de F calculado
Fe	Ferro
FV	Fonte de Variação
GL	Graus de Liberdade
h	Hora
ha	Hectares
K	Potássio
Kg	Quilograma
LTDA	Limitada
m	Metro
ml	Mililitros
MO	Matéria orgânica
Mg	Magnésio
mm	Milímetro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
NPK	Nitrogênio Fósforo Potássio
NS	Não-significativo
°C	Graus Celsius
P	Fósforo
Ph	Potencial Hidrogênio do solo
Prob. F	Probabilidade de significância para F
QM	Quadrado Médio
RS	Rio Grande do Sul
S	Enxofre
SAS	Statistical Analysis System
SQ	Soma de Quadrados
TNT	Tecido não Tecido
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USGS	United States Geological Service
Zn	Zinco

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Dados obtidos com análise química do solo.	29
Tabela 2 -	Dados obtidos em laudo de análise química de tecidos vegetais da serapilheira usada na mistura.	30
Tabela 3 -	Quantidades de elementos contidos na dose de serapilheira usada nos tratamentos.	31
Tabela 4 -	Quantidades totais de nutrientes, por preparo de solo em miligramas por vaso.	31
Tabela 5 -	Sobrevivência de mudas de <i>Pinus elliottii</i> cultivados em diferentes preparos de solo e níveis de saturação o mesmo. Santa Maria, 2013.	39
Tabela 6 -	Alturas médias (cm) e coeficiente de variação (CV %) em função de diferentes tipos de preparo de solo e disponibilidade hídrica para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	40
Tabela 7 -	Alturas médias por preparo de solo para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	41
Tabela 8 -	Alturas médias por saturação para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	41
Tabela 9 -	Diâmetros médios (cm) e coeficiente de variação (CV %) em função de diferentes tipos de preparo de solo e disponibilidade hídrica para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	44
Tabela 10 -	Diâmetro médio (mm) e coeficiente de variação (CV %) em função de diferentes tipos de preparo de solo para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	44
Tabela 11 -	Diâmetro médio (mm) e coeficiente de variação (CV %) em função da disponibilidade hídrica no cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	45
Tabela 12 -	Análise de variância para incremento em diâmetro do colo para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	47
Tabela 13 -	Incremento médio em diâmetro por diferentes tipos de preparo de solo e da disponibilidade hídrica no cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	48
Tabela 14 -	Análise de variância para incremento em altura para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	49

Tabela 15 - Incremento médio em altura por diferentes tipos de preparo de solo e da disponibilidade hídrica no cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	50
Tabela 16 - Análise de covariância da influência do preparo do solo sobre o crescimento em altura relativa, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	66
Tabela 17 - Diferenças dos solos no crescimento relativo em altura, por contrastes de médias, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	67
Tabela 18 - Análise de covariância do crescimento relativo em diâmetro do colo. para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	70
Tabela 19 - Diferenças entre solos no crescimento diâmetro relativos, por contrastes de médias, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	70
Tabela 20 - Análise de covariância do crescimento em altura relativa para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	73
Tabela 21 - Diferenças disponibilidades de água no crescimento em altura relativa, por contrastes de médias, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	74
Tabela 22 - Análise de covariância do crescimento relativo em diâmetro para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	76
Tabela 23 - Diferenças de disponibilidades de água no crescimento em diâmetro do colo relativo, por contrastes de médias, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	76
Tabela 24 - Análise de variância para a massa seca total para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	79
Tabela 25 - Teste de médias para massa seca total, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	82
Tabela 26 - Concentrações de sais nos vasos apresentando má distribuição das raízes, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	83
Tabela 27 - Teste de médias para a eficiência do uso de água, em milímetros por grama de matéria seca, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região de ocorrência natural de <i>Pinus. elliottii</i>	18
Figura 2 - Visão geral do experimento após a implantação.....	27
Figura 3 - Vaso de sete litros marca. A) vaso vazio. B) Vaso após pintura, obstrução dos orifícios e preenchimento com substrato.	28
Figura 4 - Realização das medições de diâmetro (A) e altura(B).	33
Figura 5 - Mini-tanque usado no monitoramento da evaporação na estufa durante o experimento.	34
Figura 6 - Exemplo dos significados do gráfico no formato boxplot.....	37
Figura 7 - Modelos de altura em função da saturação, por preparo de solo para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	42
Figura 8 - Diâmetro do colo em função da saturação do solo, por preparo de solo para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	46
Figura 9 - Modelos de incremento em diâmetros do colo em função da saturação do solo, por preparo de solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	49
Figura 10 - Modelos de incremento em altura em função da saturação do solo, por preparo de solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	51
Figura 11 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo do solo com acículas com diferentes saturações e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	52
Figura 12 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo do solo com acículas + NPK com diferentes saturações e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	53
Figura 13 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo do solo com NPK com diferentes saturações para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	54
Figura 14 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo testemunha, com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	55
Figura 15 - Crescimento em altura para o preparo do solo com acículas com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	56
Figura 16 - Gráfico do crescimento em altura para o preparo do solo com acículas + NPK com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	57

Figura 17 - Crescimento em altura para o preparo do solo com NPK com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	58
Figura 18 - Crescimento em altura para o preparo do solo testemunha com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	59
Figura 19 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação de 20%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	60
Figura 20 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação de 40%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	61
Figura 21 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação do solo de 60%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	62
Figura 22 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação do solo de 80%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	62
Figura 23 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 20%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	63
Figura 24 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 40%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	64
Figura 25 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 60%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	65
Figura 26 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 80%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	65
Figura 27 - Modelos do crescimento em altura relativo acumulado, por preparo de solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	68
Figura 28 - Distribuição do crescimento em altura relativa para os diferentes preparos de solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013. ...	69
Figura 29 - Modelo do crescimento do diâmetro do colo relativo acumulado, por tratamento de preparo de solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	71
Figura 30 - Distribuição do incremento do diâmetro para os diferentes preparos de solo para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	72
Figura 31 - Modelo do crescimento relativo acumulado em altura, por disponibilidade hídrica, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	74

Figura 32 - Distribuição do incremento em altura relativo para as diferentes disponibilidades hídricas para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	75
Figura 33 - Modelo do crescimento relativo acumulado em diâmetro, por disponibilidade hídrica para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	77
Figura 34 - Distribuição do crescimento relativo em diâmetro para as diferentes disponibilidades hídricas para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	78
Figura 35 - Boxplot da massa seca total por tratamento, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	80
Figura 36 - Modelos de regressão para massa seca total em função da disponibilidade de água para os diferentes preparos de solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	81
Figura 37 - Plantas representando os tratamentos 1, 2, 3 e 4, preparo de solo com adição de acículas com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	84
Figura 38 - Plantas representando os tratamentos 5, 6, 7 e 8, preparo de solo com adição de acículas e NPK com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	84
Figura 39 - Plantas representando os tratamentos com preparo de solo com adição de NPK com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	85
Figura 40 - Plantas representando os tratamentos 9, 10, 11 e 12, preparo de solo com solo testemunha com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	85
Figura 41 - <i>Boxplot</i> da Irrigação em milímetros por tratamentos.	87
Figura 42 - Transpiração semanal de indivíduos submetidos a diferentes disponibilidades hídricas durante o experimento, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	88
Figura 43 - Evapotranspiração e transpiração semanal dos indivíduos submetidos aos extremos de disponibilidades hídricas durante o experimento, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	89
Figura 44 - Boxplot da transpiração em milímetros para cada unidade de massa seca, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	92
Figura 45 - Eficiência do uso da água para assimilação de massa seca total, por tratamento de solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	93

LISTA DE ANEXOS

Anexo I -	Temperaturas máximas e mínimas com registros pontuais de intervalos de 2 a 4 dias e a linha mdia durante o experimento, Santa Maria 2013.	104
Anexo II -	Evaporação do mini tanque e umidade relativa do ar com registros pontuais de intervalos de 2 a 4 dias, e a linha média durante o experimento, Santa Maria 2013.....	104
Anexo III -	Perda de água por evaporação do vaso versus evaporação do mini tanque, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	105
Anexo IV -	Análise de covariância com variáveis “dummy” dos níveis de evaporação por saturação, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	105
Anexo V -	Representação das equações usadas para correção da perda de água e estimação da transpiração por saturação do solo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	106
Anexo VI -	Análise de variância para altura final de planta de <i>Pinus elliottii</i> cultivado em diferentes preparos de solo e níveis de saturação, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	106
Anexo VII -	Análise da variância para o diâmetro do colo, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	107
Anexo VIII -	Teste de randomização do intercepto para diferentes preparos de solo nos modelo de incremento em diâmetros do colo por saturação, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> , Santa Maria, 2013.....	107
Anexo IX -	Teste de randomização do intercepto para diferentes preparos de solo nos modelo de incremento em altura por saturação, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> , Santa Maria, 2013.....	107
Anexo X -	Massa seca total das raízes por tratamentos, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.	108
Anexo XI -	Uso da água de irrigação na produção de uma unidade de massa seca total, por tratamento, para o cultivo de <i>Pinus elliottii</i> . Santa Maria, 2013.....	108

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Sobre o gênero Pinus	18
2.2 Relações hídricas, nutricionais e crescimento	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 Local e época de realização do experimento	27
3.2 Delineamento Experimental	28
3.2.1 Caracterização do solo.....	29
3.2.2 Capacidade de retenção de água.	31
3.3 Condução do experimento	32
3.3.1- Análise estatística dos dados.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 Sobrevivência das plantas	38
4.2 Altura de planta e diâmetro de colo	39
4.2.1 Altura	39
4.2.2 Diâmetro de colo	43
4.3 Incrementos em altura e diâmetro do colo	47
4.3.1 Incrementos em diâmetro do colo	47
4.3.2 Incrementos em Altura	49
4.4 Crescimento em altura e diâmetro	52
4.4.1 Diferenças em diâmetro do colo por disponibilidade de água	52
4.4.2 Diferenças em altura por disponibilidade de água no solo	55
4.5 Distribuição do crescimento	66
4.5.1 Distribuição do crescimento relativo em função do preparo do solo	66
4.5.1.1 Distribuição do crescimento em altura por preparo de solo.....	66
4.5.1.2 Distribuição do crescimento em diâmetro do colo por preparo de solo.	69
4.5.2 Distribuição do crescimento relativo em função da disponibilidade hídrica	73
4.5.2.1 Distribuição do crescimento em altura relativa por disponibilidade hídrica....	73
4.5.2.2 Distribuição do crescimento diâmetro do colo relativo por disponibilidade hídrica	75
4.6 Produção de matéria seca	79
4.6.1 Matéria seca total	79
4.7 Consumo e eficiência no uso da água	86
4.7.1 Consumo hídrico	86
4.7.2 Eficiência no uso da água	90
5 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	103

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 ano de 2005 foi totalizada uma área de 5,24 milhões de hectares de florestas plantadas, somando o gênero *Eucalyptus* e sequência o gênero *Pinus*. No Brasil são apontados levantamentos de uma área plantada de *Pinus* por empresas florestais de cerca de 1,82 milhões de hectares em nove estados onde existem plantações com este gênero (ABRAF, 2007).

Como as florestas do gênero *Pinus* possuem vantagens competitivas ligadas à tecnologia de produção, consideradas, florestas de elevada produtividade, as previsões indicam um aumento da área plantada para os próximos anos.

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, 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 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, 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 etapa delicada, devido às características do solo de baixa fertilidade, pouca capacidade de retenção de água e grande amplitude térmica. A susceptibilidade a deficiência hídrica é um dos principais problemas na implantação de florestas nestes solos arenizados.

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 de água e minerais.

O entendimento de como os componentes ecofisiológicos nas plantas são afetados pela fertilização e disponibilidade de água, e como o crescimento é modificado por tratamentos aplicados, pode ajudar no sucesso de implantações de florestas nestas condições de solos arenizados e degradados pela ação antrópica e fatores naturais.

Por sua grande rusticidade, tolerância a solos pobres, temperaturas extremas e déficit hídrico, espécies do gênero *Pinus* apresentam alto potencial para recuperação e aproveitamento de áreas degradadas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O conhecimento do comportamento do crescimento de *P.elliottii* neste ambiente de solo arenizado e degradado faz-se necessário na implantação de povoamentos florestais. Sendo assim, os objetivos do presente trabalho podem ser enumerados; Quantificar o consumo de água e a eficiência de seu uso; Verificar a influência de diferentes disponibilidades hídrica e uso de diferentes insumos, químicos e orgânicos adicionados ao solo que atuam sobre o crescimento e no uso de água pelas plantas.

1.1.2 Objetivos específicos.

Os objetivos específicos a serem alcançados foram os seguintes:

- a) Verificar a influência dos tratamentos com fertilização química e orgânica, e disponibilidade hídrica na sobrevivência, e crescimento em altura e diâmetro do colo;
- b) Quantificar a resposta dos incrementos em altura e diâmetro do colo sob diferentes tratamentos nutricionais;
- c) Detectar mudanças nas distribuições de incrementos ao longo do tempo;
- d) Quantificar o uso e eficiência do uso da água na produção de matéria seca.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sobre o gênero *Pinus*

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 de ocorrência bem mais restrita à metade sul da península da Florida e Ilhas Keys (LOHREY; KOSSUTH, 1965).

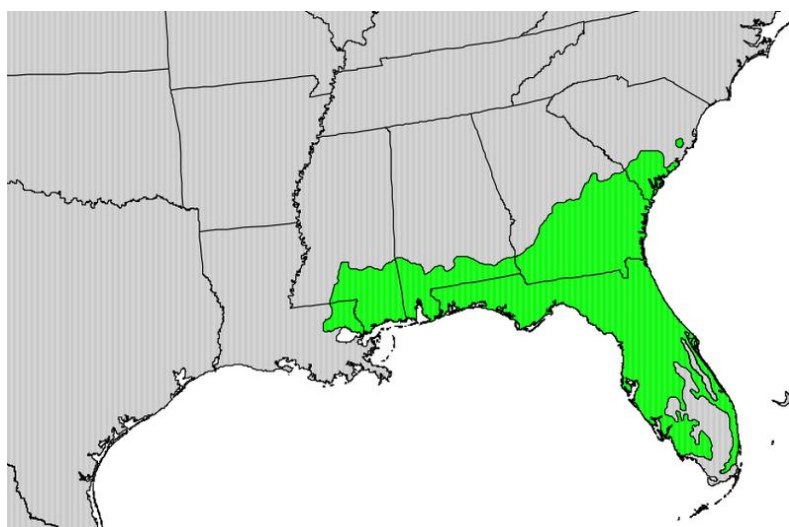


Figura 1 - Região de ocorrência natural de *Pinus. elliottii*.

Fonte: Atlas of United States trees. Elbert, L. L. Jr. USGS, disponível em www.esp.cr.usgs.gov/data/little.

O clima na região de ocorrência natural é quente e úmido com verões chuvosos e outonos e primaveras secos. A precipitação média 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 que o *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; KOSSUTH, 1965)

Muitos 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; GORBEL, 1968) nos EUA, Mongólia Interior, na China (SHI, 2012), Escócia (PROE *et al.*, 1992), e no Brasil (ROVEDDER *et al.*, 2008).

2.2 Relações hídricas, nutricionais e crescimento

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 (KOZLOWSKI, 1962).

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, e outras partes da planta também são ricas em água, até o tronco, com 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 estomatal, 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 conseqüente 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 “*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 de sítios, e gradual na Flórida, onde a variabilidade de sítios é consideravelmente menor, tendo maior influência o clima (SQUILLACE, 1966).

Burley (1966) revisou as variações de várias 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 as 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, chamado mesófilo das folhas, que possui pigmentos especializados para a captação de luz, característicos 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; 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 por Assmann (1970), como sendo a expressão de sucessivos ganhos em altura, e correspondente aumento da altura em relação com a idade.

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 CO₂. Além disso, também afeta a distribuição dos nutrientes, uma vez que ela se constitui no meio de transporte que permite aos nutrientes serem absorvidos pela planta e levados até todos os seus 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 capacidade ótima 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 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 e podendo 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, 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 os autores, a disponibilidade de umidade do solo tem grande influência na deficiência nutricional das plantas, que geralmente desaparecem em períodos chuvosos.

Em estudo de desempenho do crescimento de *P. taeda* e *P. ellioti* em solos arenosos e degradados no sudoeste do Rio Grande Do Sul, indica curvas de crescimento com maiores diâmetros e volumes para *P. ellioti*. Este fato atribuído pela 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), conduziram um experimento de disponibilidade hídrica, luz e nitrogênio, para *Pinus ponderosa*, conduzido em casa de vegetação, em vasos com substrato organo-arenoso, na Florida. 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 em 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 maior proporção 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 EUA, 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 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 (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. Também, afirma que a taxa de umidade do solo é significativa pra 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 disponibilidade de nutrientes, ambas influenciadas pelo micro-relevo (PRITCHETT; 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 próxima 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*, Zang 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 (2008) com *Eucaliptus 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 influente significativamente.

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 com o 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 (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. Os incrementos deste tratamento também foram inferiores aos dos tratamentos de irrigação intermediários e superior.

Em geral, o crescimento das árvores aumenta com a precipitação (MURPHY; LUGO, 1986) e diminui com a seca (NATH et al., 2006; LOLA DA COSTA et al., 2010). Independentemente da chuva, a fertilidade do solo também pode afetar a taxa de crescimento das árvores (LU; MORAN; MAUSEL, 2002; 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. Para Schultz (1997), 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; 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).

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 um 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 micorrizos. Considerado 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; TRAPPE, 1984).

O nitrogênio é um macro-nutriente que chega ao solo através do ar, sendo seu teor, no solo, indicador do grau de riqueza em matéria orgânica. Ele tem a capacidade de exercer efeito mais rápido sobre a planta, estimulando o crescimento vegetativo e sendo responsável pela cor verde-escura da folhagem (COELHO, 1973). Além disso, participa da formação de diversos compostos, como as proteínas e clorofilas, ambas importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (CRUZ; PELACANI; ARAÚJO, 2006). As plantas cultivadas sob deficiência de nitrogênio não expressam seu potencial produtivo. No entanto, além da quantidade de nitrogênio disponível, a proporção nitrato x amônio (NO_3^- : NH_4^+) presente no solo

pode alterar o crescimento das plantas (BARKER; MILLS, 1980). O N pode ser encontrado, principalmente, nas formas de nitrato e amônio na solução do solo. No entanto, na maioria dos solos cultivados, o nitrato é a principal forma de aquisição de Nitrogênio pelas plantas (MARSCHNER, 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e época de realização do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que se encontra na região central do estado Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas de latitude 29°41´S e longitude de 29°48´W, numa altitude de 95 metros (BURIOL et al., 1995).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cobertura de vidro, com 16 metros de comprimento, e 8 metros de largura, com orientação Leste–Oeste, dividida em dois compartimentos de 8 metros de lado, ocupando duas bancadas orientadas Norte-Sul do compartimento Leste. Na Figura 2 pode ser observada uma visão do experimento e da estufa, logo após a implantação. Acima dos vasos foi colocada uma tela de Aluminet® a fim de reduzir a incidência de radiação solar e evitar o aumento excessivo de temperatura do ar, solo e das acículas, durante os meses de novembro de 2011 a maio 2012.

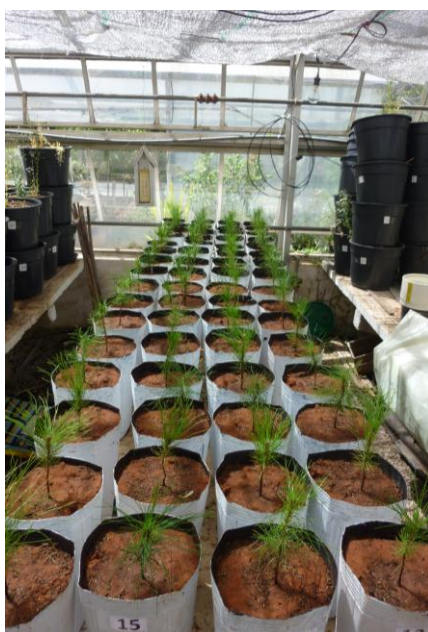


Figura 2 - Visão geral do experimento após sua implantação.

O experimento foi iniciado de 28 de outubro de 2011, com o plantio das mudas de *Pinus elliottii*, inicialmente cultivadas em tubetes, provenientes do viveiro florestal da AFUBRA de Santa Cruz do Sul, RS, em recipientes plásticos pretos de secções laterais trapezoidais, pintados de branco, (Figura 3) com altura de 32 cm, 16 cm de aresta na parte superior, e a basal de 10 cm, contendo aproximadamente 7 litros. Os mesmos apresentam um orifício central no fundo e um situado próximo à aresta inferior de cada face lateral, os quais foram obstruídos com TNT (tecido não tecido) para evitar a perda de solo quando seco, este material foi escolhido por ser permeável, que funciona como um filtro.

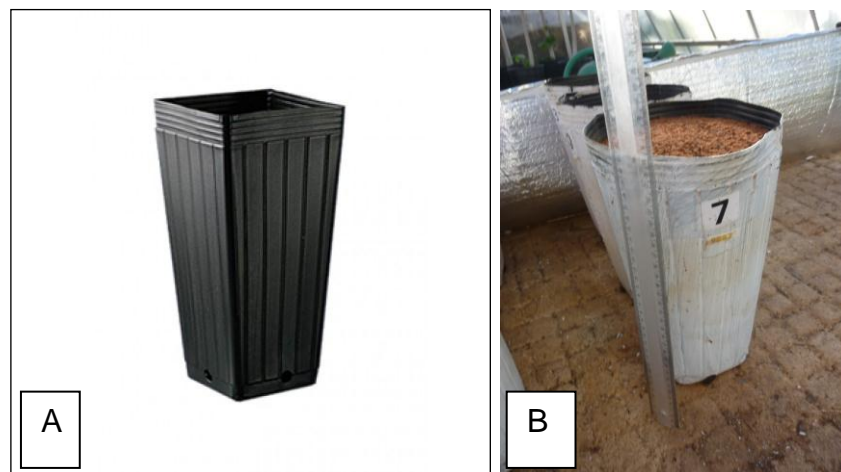


Figura 3 - Vaso de sete litros. A) vaso vazio. B) Vaso após pintura, com obstrução dos orifícios e preenchimento com substrato.

3.2 Delineamento Experimental

O ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com divisão fatorial 4x4, quali-quantitativo, onde foram combinados quatro tratamentos de preparo de solo, com quatro níveis de disponibilidade hídrica no vaso, com quatro repetições por tratamento. O ensaio foi conduzido em solo Neossolo quartzarênico distrófico (EMBRAPA, 2006) originado de uma formação arênica do interior do

município de Alegrete, onde foram retirados os 30 centímetros superiores de um solo degradado, conhecido como areal.

3.2.1 Caracterização do solo

A granulometria do solo é constituída de 92,4% de areia, 6,3% de argila, e 1,3% de silte. Nota-se que a principal característica do solo usado como base para o experimento é seu alto teor de areia, o que confere a ele pouca retenção de água e grande capacidade de drenagem. A baixa quantidade de argila, também infere na sua baixa fertilidade química.

O solo foi submetido a análise química realizada pelo Laboratório de Análise de Solos, do Departamento de Solos da UFSM, com o objetivo de quantificar a presença de macro e micronutrientes em sua composição (Tabela 1). A metodologia usada pelo laboratório pode ser encontrada em Tedesco *et al.* (1995).

Tabela 1 - Dados obtidos da análise química do solo.

pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC Efet.	Índice SMP	% MO
1:1	cmol/dm ³						(m.v ⁻¹)
4,5	0,3	0,1	0,9	2,8	1,4	6,4	0,3
S	P- Mehlich	K	CTC pH 7	K	Cu	Zn	B
mg/dm ³		cmol/dm ³			mg/dm ³		
6,8	5,3	0,082	3,3	32	0,3	0,2	0,1

Os preparos de solo foram constituídos de: solo (testemunha); solo mais adubação NPK (5-20-10) 25 g/vaso, solo mais adubação NPK (5-20-10) 25g/vaso; e serapilheira de *Pinus* 150 g/vaso (equivalente á 700 ml em volume); e solo com adição de serapilheira. Os níveis de disponibilidade hídrica foram correspondentes a 80%, 60%, 40% e 20% da capacidade máxima de retenção de água do vaso,

calculado individualmente. Os tratamentos contam com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais.

O material vegetal da serapilheira foi coletado em um povoamento no campus da UFSM, em que a camada superficial, de acículas secas e inteiras foi removida, revelando abaixo uma camada parcialmente decomposta, a qual foi coletada e peneirada em malha de 0,5 cm, com subsequente secagem ao sol para remoção de umidade, este material não foi seco em estufa a fim de evitar possíveis danos a microrganismos tais como micorrizas.

Deste material foram retiradas três amostras para análise de sua composição química. A análise foi feita pelo Laboratório de Ecologia e Nutrição Florestal da UFSM, constando os resultados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados obtidos em laudo de análise química de tecidos vegetais das acículas decompostas.

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	12,07	0,4	0,7	3,78	1,05	1,1	13,6	10,66	4832,4	303,93	37,74
2	12,87	0,59	0,51	3,99	1,17	1,51	12,48	11,61	4689,6	336,05	37,47
3	12,92	0,62	0,65	3,84	1,13	1,46	15,12	11,02	3998,5	345,94	35,22
Média	12,62	0,53	0,62	3,87	1,12	1,36	13,73	11,10	4506,83	328,64	36,81

Os seguintes métodos analíticos laboratoriais foram usados para a determinação dos elementos: Nitrogênio: Kjeldahl; Fósforo e Boro: espectrometria visível; Potássio: fotometria de chama; Enxofre: turbidimetria; Cálcio, Magnésio, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco: espectrofotometria de absorção atômica.

Com os teores por quilo dos elementos contidos no material, pode-se facilmente calcular a quantidade de elementos fornecida pela adição de 150 gramas de serapilheira ao preparo de solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Quantidades de elementos contidos na dose de serapilheira usada nos tratamentos.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
g						mg				
1,893	0,0805	0,093	0,5805	0,1675	0,2035	2,06	1,6645	676,025	49,296	5,5215

A adição de 25 gramas de adubo químico NPK (5 20 10), da marca Yara do Brasil, com fósforo na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5), e óxido de potássio (K_2O), segundo o fabricante o produto também contém 11,5% de Cálcio e 9,5% de Enxofre

Tendo em mãos as quantidades de elementos no solo, serapilheira, e no fertilizante químico, a quantidade total de nutrientes por vaso pode ser calculada (Tabela 4).

Tabela 4 - Quantidades totais de nutrientes, por preparo de solo em miligramas por vaso.

Solo com adição de:	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Total
	mg/L ⁻¹											
Acícula	1893*	117,6	93,6	584,7	168	251	2,8	3,8	676,0	49,3	6,9	549,6
Acícula +NPK	3143*	5118	2593,6	3459,7	168	2626	2,8	3,8	676,0	49,3	6,9	2549,6
NPK	1250*	5037	2500,6	2879,2	0,85	2423	0,7	2,1	nd	Nd	1,4	2013,5
Testemunha	nd	37,1	0,6	4,2	0,85	47,6	0,7	2,1	Nd	Nd	1,4	13,5

Em que: Nd - Não disponível; * valores não consideram a quantidade de nitrogênio contida inicialmente no solo.

3.2.2 Capacidade de retenção de água.

A capacidade total de retenção de água foi calculada para cada vaso. Através da diferença entre o peso do vaso saturado e seu peso seco, para tal o solo foi

previamente seco exposto ao sol e revirado diariamente durante 4 dias, e após submetido a secagem em estufa 65°C por 3 dias. A secagem da serapilheira deu-se apenas sob o sol.

A saturação do solo dos vasos, com solo já preparado, deu-se com a irrigação abundante na parte superior do vaso, até o momento em que a drenagem se fazia visível pelos orifícios basais. No momento em que o gotejamento da drenagem cessava, era considerado o ponto de saturação do substrato, e então o vaso era cuidadosamente pesado.

Os tratamentos com valores de 20, 40, 60 e 80% da saturação máxima foram atribuídos para cada preparo de solo. O peso do vaso pintado, material usado na obstrução dos orifícios e das mudas e seu substrato também foram contabilizados a fim de poder ser descontado do peso das medições, para maior acurácia dos valores.

Os valores de saturação do solo usados para o tratamento podem ser traduzidos como limites superiores de saturação, visto que com a evaporação e uso de água pela planta a sua quantidade no solo vem a diminuir com o tempo, com valores diferentes para cada saturação inicial.

Para o plantio todos os vasos encontravam-se próximos a saturação de 100% da capacidade máxima de retenção de água do vaso, a fim de prover melhores condições ao pegamento das mudas e diminuir o estresse de plantio.

3.3 Condução do experimento

A irrigação dos vasos dava-se de maneira manual com água da chuva previamente acumulada. A determinação da quantidade de irrigação era feita com ajuda de uma balança de prato da marca Balmak do tipo semi Roberval, modelo 63, de maneira a reestabelecer o peso determinado ao tratamento. Ao mesmo tempo realizava-se o registro do peso no momento antes da irrigação, para posterior cálculo da perda de água, feito pela diferença entre o peso estabelecido ao vaso pelo tratamento, e pelas leituras de monitoramento realizadas antes da irrigação.

A medição do crescimento das mudas e seu registro fotográfico eram efetuados mensalmente. As medidas eram efetuadas com um paquímetro digital

para o diâmetro (Figura 4), a um centímetro acima do colo, sempre na orientação leste-oeste, e com uma régua, para a altura, do colo até a ponta da gema apical. Neste mesmo intervalo de tempo, os vasos eram reposicionados aleatoriamente nas bancadas, assim como o recolhimento de acículas secas e mortas, brotações epicórnica da base do tronco, classificados na fração tecido morto/deiscente.

No decorrer do experimento houve mortalidade de indivíduos, os quais eram substituídos por mudas novas, a fim de acompanhar seus incrementos relativos. Uma vez que o plantio destas mudas era feito em época diferente, seu desenvolvimento final em altura e diâmetro do colo ficou inferior aos demais, sendo estes não contabilizados, a fim de não comprometer a média dos indivíduos sobreviventes nos tratamentos com mortalidade.

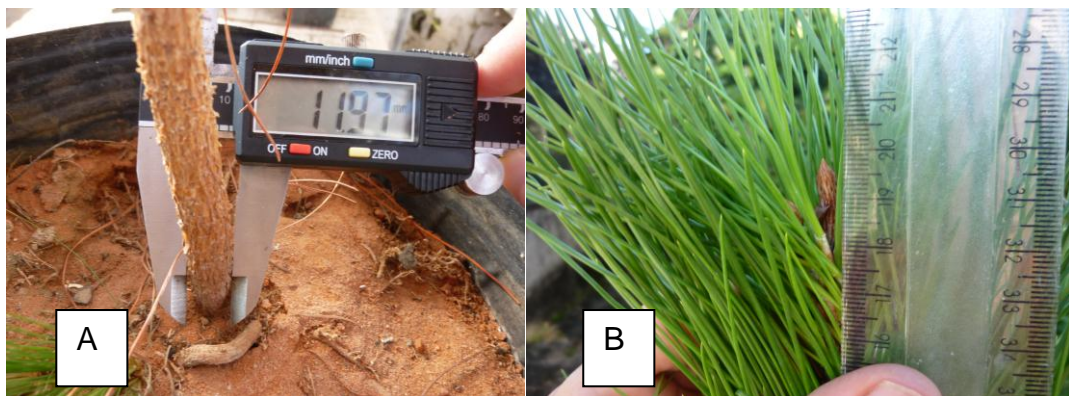


Figura 4 - Realização das medições de diâmetro (A) e altura(B).

Foram instalados dentro da estufa um mini-tanque com 21 centímetros de diâmetro (Figura 5), para medição da evaporação, termômetro de máxima e mínima digital e um psicrômetro não aspirado. Para uma melhor correção da evaporação e melhor estimativa da transpiração, juntamente com o mini-tanque, foram usados 6 vasos sem o plantio de mudas, os quais eram pesados, irrigados e registrados da mesma forma que os demais.

O monitoramento das temperaturas máximas, mínimas, com registros pontuais de intervalos de 2 a 4 dias, com linha média semanal. As máximas absolutas variaram de 47°C em janeiro à 18°C em abril, e as mínimas de 25°C em

fevereiro e -1°C em junho. Toda esta sequência de temperaturas está representada no Anexo I.



Figura 5 - Mini-tanque usado no monitoramento da evaporação na estufa durante o experimento.

A umidade relativa do ar e a evaporação do mini-tanque, constam sob forma gráfica no Anexo II, mostram a variação da evaporação acumulada em períodos de 2 dias no verão e 3 dias no inverno, e a umidade relativa do ar no momento da irrigação, que era majoritariamente executado entre às 8 e 11h e 16 e 19h.

Ao final de 13 meses de experimento, foi feita uma última avaliação, esta destrutiva, em que as plantas foram removidas dos vasos, fotografadas, e com ajuda de uma peneira, o solo foi desagregado das raízes e após as frações; raízes, tronco, ramos e acículas foram separados e pesadas em balança analítica da marca Bel modelo Mark 5000, para determinação do peso verde e após secagem em estufa a 65°C durante quatro dias, foi obtida a massa seca de cada fração, e sua soma, juntamente com os tecidos mortos/ deiscente, a massa seca total de cada planta.

A avaliação final em altura e diâmetro do colo foi feita através do teste de Tukey a 5% de significância, para os tratamentos, e também para os preparos de solo, e graus de disponibilidade hídrica, de maneira a comparar todos de uma dada disponibilidade hídrica com as demais, sob todos os preparos de solo, e da mesma

maneira, comparar os preparos do solo entre si, sendo influenciados por todas as disponibilidades hídricas.

A sobrevivência avaliada em forma percentual ao final do experimento foi feita de forma percentual sobre o total de repetições.

Os incrementos, obtidos pelas diferenças de alturas e diâmetros do colo, entre meses consecutivos, foram comparados por teste de médias de Tukey a 5% de significância, por preparo de solo e por disponibilidade hídrica. Uma análise de variância foi realizada a fim de verificar e relacionar as influências do preparo do solo e da disponibilidade hídrica, bem como suas possíveis interações, sobre os incrementos em diâmetro do colo e altura.

Modelos de regressão foram gerados para representar os incrementos as alturas e os diâmetros conforme a disponibilidade hídrica para cada preparo de solo.

Na conclusão do experimento, observou-se a distribuição irregular de raízes em vasos contendo adubação NPK, com o intuito de quantificar a concentração de sais, amostras de solo das plantas apresentando sistema radicular anormal foram coletadas na parte intermediária e inferior do vaso, para avaliação da eletrocondutividade, medida proporcional a quantidade de sais totais.

Para tanto, amostras de 50 mililitros de solo foram misturadas em partes iguais com água deionizada, agitada por um minuto, e realizada a leitura com eletrocondutivímetro, os valores então foram convertidos de micro-Siemens/centímetro para miligramas/litro.

3.3.1- Análise estatística dos dados

A análise da altura e diâmetro do colo finais foi feita por teste de médias de Tukey à 5% de probabilidade para todos os tratamentos e para os preparos de solo envolvendo todas as saturações e por saturação, cada uma contendo todos os preparos de solo. Foi feita uma análise de regressão da altura e diâmetro do colo em função da saturação de cada preparo de solo.

Os incrementos foram diferenciados por teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade, por preparo de solo e disponibilidade hídrica. Um modelo de incrementos mensais em função da disponibilidade de água foi estabelecido para

incrementos em altura e diâmetro do colo, por preparo de solo, com diferença de níveis verificada por randomização do intercepto, e ângulo testado por contrastes no procedimento MIXED do pacote SAS 9.2.

As diferenças de crescimento em altura e diâmetro foram feitas aos 4, 8 12 meses, por solo e disponibilidade hídrica, com a opção “slicediff” do procedimento GLM do pacote estatístico SAS 9.2 (SAS, 2009).

A distribuição relativa do crescimento foi feita para a altura e diâmetro do colo, por preparo de solo e por saturação, para o primeiro ciclo de crescimento, de nove meses, de novembro a agosto. Uma análise de covariância com o cofator tempo foi feita para determinar diferenças de níveis e angulação de um modelo linear ao longo do crescimento.

A produção total de massa foi avaliada por análise de variância e teste de médias, além da representação gráfica dos modelos estimadores de massa total em relação à disponibilidade hídrica do tratamento.

A correção de perda de água do solo foi feita com o uso de vasos com o solo do estudo, sem o plantio de mudas, os quais eram mantidos nas saturações de 20, 50 e 80%, cuja diferença de peso era repostada, e valores de perda de água por evaporação, transformados para milímetros, através da área do vaso. A análise de covariância com variáveis “dummy” foi usada para determinar diferenças de nível e ângulo nos modelos de evaporações nas diferentes saturações, e para o estabelecimento da fórmula de correção da perda de água por evaporação, a fim de estimar a transpiração.

O comportamento da transpiração ao logo do experimento foi representado de forma gráfica, apresentando indivíduos representativos de cada disponibilidade hídrica.

No Anexo III é apresentada a perda de água dos vasos sem o plantio de mudas, relacionados com a evaporação do mini-tanque. Na análise de covariância do Anexo IV, verificar que existe diferença de ângulo significativa e semelhança de níveis entre as saturações. Com estes dados em mãos foram geradas as equações apresentadas no Anexo V, as quais corrigem os valores de perda total de água do vaso, retirando o valor de perda por evaporação do solo, e estimando por consequência a transpiração da planta.

A eficiência do uso da água na produção de matéria seca foi feita com os valores estimados de transpiração, divididos pela massa seca total, representando

assim, a quantidade de água usada para a produção de uma unidade de matéria seca.

Alguns gráficos apresentados são do tipo *boxplot*, que representam cinco valores distintos, além da média (SAS, 2013). Esses valores são: menor valor observado, quartil inferior, mediana, média, quartil superior. E o maior valor observado, a zona interquartil, é marcada como um caixa, originando seu nome em inglês *box*, esta zona representa 50% dos dados observados, um exemplo pode ser encontrado na Figura 6. Com este tipo de representação gráfica podemos ter uma melhor ideia da distribuição da variação dos dados, com a comparação da simetria da parte superior e inferior, e com o tamanho da zona interquartil e dos valores extremos observados entre as variáveis dos tratamentos em questão.

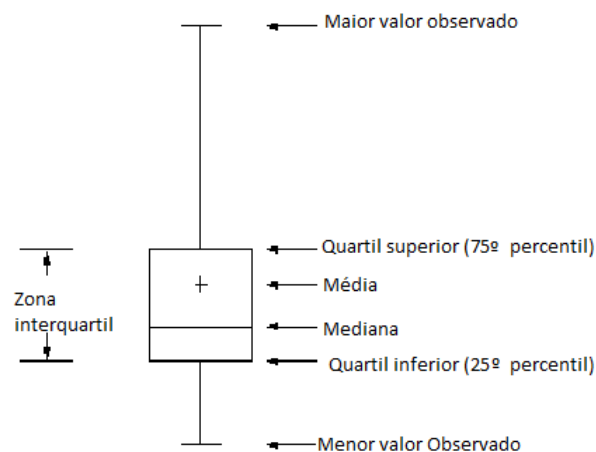


Figura 6 - Exemplo dos significados do gráfico no formato boxplot.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sobrevivência das plantas

As taxas de sobrevivência das plantas nos diferentes tratamentos estão representadas na Tabela 5, na qual se observa que todos os preparos de solo que continham o húmus de acícula mais a fertilização química tiveram as menores sobrevivências, variando de 0 à 75%. Já os preparos que continham unicamente os fertilizantes a sobrevivência foi de 50%, unicamente nas disponibilidades hídricas de 20 e 40%. Todos os demais tratamentos a sobrevivência das plantas foi de 100%.

A morte de plantas ocorreu de maneira mais expressiva nos meses iniciais, mas se estendeu durante quase toda a duração do experimento. As plantas apresentavam inicialmente um baixo crescimento com descoloração das acículas seguido de seu secamento. Nos indivíduos mortos se constatou que o sistema radicular possuía um crescimento mínimo. Esta situação ocorreu provavelmente devido a salinização do solo com a contribuição de sais dos fertilizantes e do húmus. A presença de fertilizantes em condições de baixa disponibilidade hídrica causou uma maior concentração da solução do solo causando o estresse letal.

Esta resposta negativa em decorrência do uso de fertilização em *Pinus* foi relatada por diversos autores como Yang (1998) que apresenta resultados de fertilização de *P. contorta* semimaduros, em que altas doses de nitrogênio causaram mortalidade de indivíduos. Resultados semelhantes foram encontrados por Fischer *et al.* (1981), em povoamentos de *P. elliotii*, no qual se procurava um tratamento para o combate ao cancro (*pitch canker*).

Tabela 5 - Sobrevivência de mudas de *Pinus elliottii* cultivados em diferentes preparos de solo e níveis de saturação o mesmo. Santa Maria, 2013.

Tratamento	Código de Preparo do solo	Preparo de solo	Saturação %	Sobrevivência %
1	1	Acícula	20	100
2	1	Acícula	40	100
3	1	Acícula	60	100
4	1	Acícula	80	100
5	2	NPK+Acícula	20	0
6	2	NPK+Acícula	40	25
7	2	NPK+Acícula	60	75
8	2	NPK+Acícula	80	75
9	3	NPK	20	50
10	3	NPK	40	50
11	3	NPK	60	100
12	3	NPK	80	100
13	4	Testemunha	20	100
14	4	Testemunha	40	100
15	4	Testemunha	60	100
16	4	Testemunha	80	100

Por outro lado, Weetman *et al.* (1985) também relata mortalidade e redução do crescimento em *P. banksiana* adultos, após 10 anos de fertilização de nitrogênio com dose total de 1344 Kg/ ha⁻¹ dividida em 5 aplicações bienais.

Já Broncano *et al.* (1998) usando uma dose de seis gramas por quilo de solo de fertilizante NPK (12 12 17), em *Pinus halepensis* observaram que a fertilização não teve influência sobre a mortalidade de plantas.

4.2 Altura de planta e diâmetro de colo

4.2.1 Altura

A análise da variância dos dados de altura de planta demonstrou que a saturação do solo foi altamente significativa para este parâmetro. Já o preparo do

solo não teve influência na altura da planta assim como a interação dos fatores (preparo do solo x níveis de saturação) como pode ser visto no anexo IV.

Na Tabela 6 observa-se que as maiores alturas foram atingidas com altas saturações de 60 e 80%, com preparos de solo contendo adubação química. Porém não apresentou diferença dos tratamentos com a adição de acículas e testemunha nas saturações de 80, 60 e 40%.

Estes resultados são concordantes com os apresentados por El Juhany et al (2008), onde as espécies *Eucalyptus microtheca* e *Conocarpus erectus* foram altamente influenciados pelos níveis de irrigação em ambiente árido na Arábia Saudita.

Observou-se que as maiores alturas dos tratamentos com foram obtidas a saturação de água de 80%, com os preparos de solo com NPK e Acículas + NPK, tratamentos 12 e 8, respectivamente. Porém não sendo diferentes dos demais, com exceção dos tratamentos 1, 9 e 5, sendo os dois últimos tratamentos os mais atingidos por mortalidade.

Na Tabela 7 observa-se o teste de médias para a altura por preparo de solo, o qual mostra diferença significativa apenas entre o preparo NPK + acícula e o testemunha.

Como vimos anteriormente, no Anexo VI, o tipo de preparo de solo não foi significativo para o desenvolvimento final em altura, fato reiterado pelo teste de médias feito por preparo de solo (Tabela 8), levando em consideração para cada solo todos os níveis de disponibilidade hídrica.

Tabela 6 - Alturas médias (cm) e coeficiente de variação (CV %) em função de diferentes tipos de preparo de solo e disponibilidade hídrica para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Código do tratamento	Tratamento	Média (cm)	CV%
8	Acícula +NPK 80%	80,66 a	9,6
12	NPK 80%	74,25 a	16,0
7	Acícula +NPK 60%	71,66 ab	6,6
11	NPK 60%	69,87 ab	9,3
3	Acícula 60%	63,25 abc	13,8
4	Acícula 80%	62,37 abc	9,7
15	Testemunha 60%	58,87 abc	12,4
14	Testemunha 40%	58,12 abc	12,3

2	Acícula 40%	57,62 abc	8,5
6	Acícula +NPK 40%	54,00 abc	32,2
10	NPK 40%	53,50 abc	34,4
16	Testemunha 80%	49,75 abc	8,2
13	Testemunha 20%	41,50 bc	10,0
9	NPK 20%	39,75 bc	8,0
1	Acícula 20%	34,62 c	8,7
5	Acícula +NPK 20%	--	--

(*) Médias com mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Alturas médias por preparo de solo para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Preparo de solo	Altura média (cm)	CV%
NPK + Acícula	68,77 a(*)	16,47
NPK	59,34 ab	19,48
Acícula	54,46 ab	19,82
Testemunha	52,06 b	21,9

(*) Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes. P=0,05

Para as médias das alturas por saturação do solo houve diferença significativa, como já havia demonstrado a análise de variância do Anexo VI, e confirmado pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 8). Este teste gerou três grupos, sendo o de desempenho superior com as saturações de 80, 60 e 40 %, com médias semelhantes entre si, seguida da saturação de 20%.

Tabela 8 - Alturas médias por saturação para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Saturação %	Altura média (cm)	CV%
80	66,75 a(*)	25,03
60	65,91 a	15,89
40	55,81 a	22,15
20	38,4 b	15,9

(*) Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes. P=0,05

Na Figura 7 pode ser observada a distribuição das alturas dos tratamentos e seus modelos. Verifica-se que para os preparos de solo com acículas e testemunha, que o aumento da saturação do solo não se reflete e diretamente em altura, alcançando máximas alturas nas saturações de 64 e 53%, respectivamente.

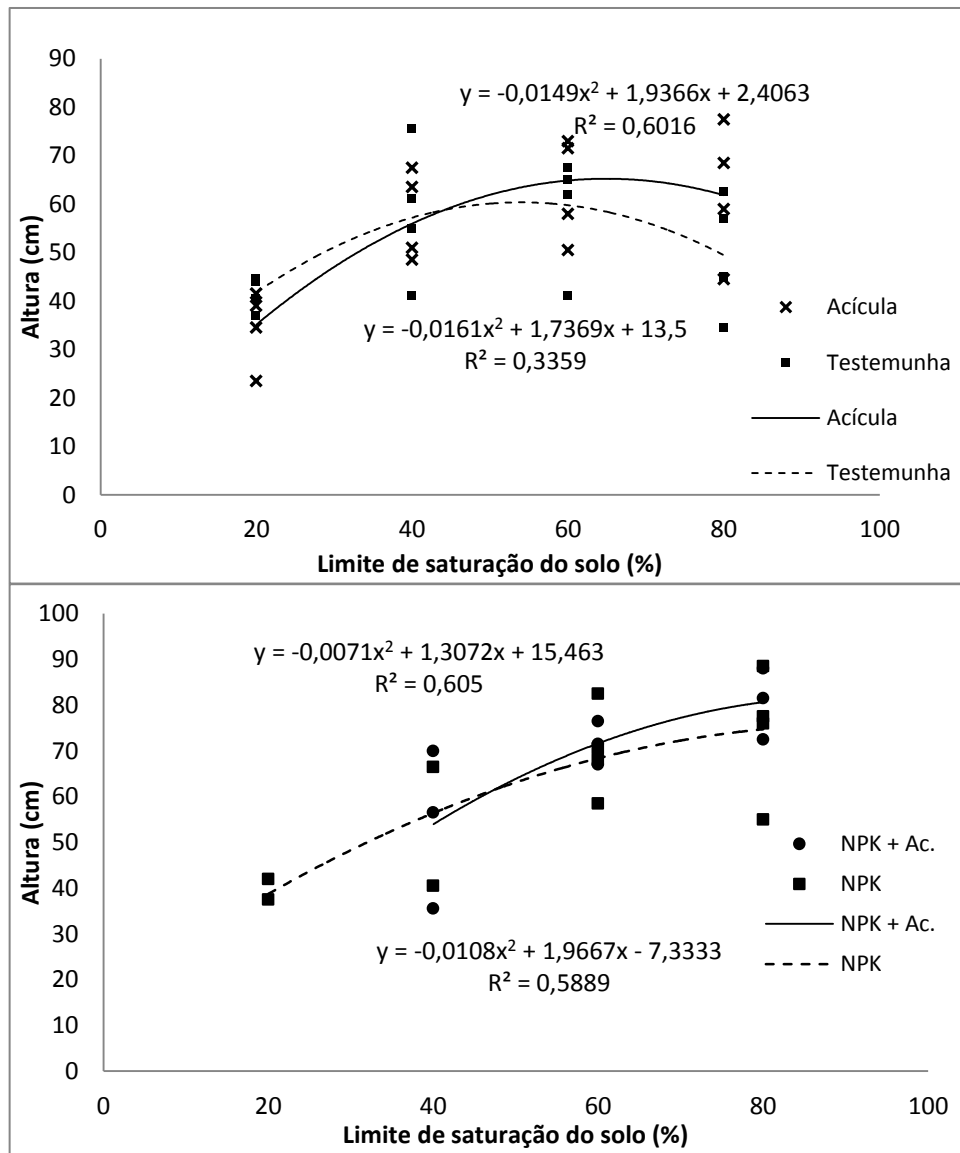


Figura 7 - Modelos de altura em função da saturação, por preparo de solo para o cultivo de *Pinus elliotii*. Santa Maria, 2013.

Para os preparos de solo com adição de NPK e acícula mais NPK, observa se o aumento da altura conforme o aumento da saturação, comportamento não demonstrado pelos modelos de preparo de solo com acículas e testemunha, apesar

de não haver diferenças significava destes preparos de solo nas saturações de 40, 60 e 80%, como visto anteriormente, nota-se uma diferença em sua tendência, os preparos de solo com fertilizante NPK, melhoram sua resposta com um aumento da quantidade de água a partir de 60 % de saturação do solo, o que não é observado nos demais preparos de solo.

4.2.2 Diâmetro do colo

A análise de variância para o diâmetro do colo (Anexo VII) mostrou que, a influência da saturação e sua interação com o preparo do solo foram significativas, sendo esta medida mais sensível aos tratamentos aplicados, já que para a altura, apenas a saturação do solo foi influente.

A comparação das médias dos diâmetros do colo pelo teste de Tukey (Tabela 9) teve quatro grupos, e novamente os tratamentos de maior desempenho foram os contendo NPK no preparo do solo e alta saturação de água, seguido dos tratamentos com acícula nas saturações de 40 e 80%. Os tratamentos com piores desempenhos em diâmetro do colo foram os de saturação de 20%, com os preparos testemunha, acícula, NPK e NPK + acícula, estes em ordem decrescente de altura, sendo que o tratamento 5, acículas + NPK sob saturação de 20%, apresentam os valores de diâmetros do colo das mudas nos plantio, devido a perda total dos indivíduos deste tratamento.

O teste de médias por tipo de preparo de solo mostrou diferença apenas entre o preparo de solo testemunha e com adição de acículas sobre os tratamentos NPK e NPK mais acículas (Tabela 10).

Tabela 9 - Diâmetros médios (cm) e coeficiente de variação (CV %) em função de diferentes tipos de preparo de solo e disponibilidade hídrica para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Código do tratamento	Tratamento	Diâmetro do colo médio (mm)	CV%
11	NPK 60%	21,02 a(*)	9,3
8	Acícula +NPK 80%	20,70 a	7,24
7	Acícula +NPK 60%	19,03 ab	14,44
12	NPK 80%	18,85 ab	41,0
10	NPK 40%	16,20 abc	20,95
2	Acícula 40%	13,70 bcd	8,5
4	Acícula 80%	13,47 bcd	9,7
6	Acícula +NPK 40%	13,03 cd	20,87
3	Acícula 60%	13,02 cd	13,8
15	Testemunha 60%	12,47 cd	12,4
14	Testemunha 40%	11,62 cd	12,3
9	NPK 20%	11,60 cd	7,13
16	Testemunha 80%	11,27 cd	8,2
13	Testemunha 20%	9,10 d	10
1	Acícula 20%	8,40 d	8,7
5	Acícula +NPK 20%	--	--

(*) Médias com mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Diâmetro médio (mm) e coeficiente de variação (CV %) em função de diferentes tipos de preparo de solo para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Preparo do solo	Diâmetro do colo médio (mm)	CV%
NPK+ Acícula	17,58 a(*)	13,61
NPK	16,92 a	15,8
Acícula	12,15 b	12,45
Testemunha	11,12 b	12,87

(*) Médias com mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A saturação de água foi significativa na diferenciação da média do diâmetro do colo, com a saturação de 60% tendo a maior média, porém não significativamente maior que a de saturação do solo de 80%, seguida das de 40 e 20% respectivamente, sendo estas estatisticamente semelhantes (Tabela 11).

Tabela 11 - Diâmetro médio (mm) e coeficiente de variação (CV %) em função da disponibilidade hídrica no cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Saturação do solo %	Diâmetro do colo médio (mm)	CV%
60	16,38 a(*)	26,89
80	16,06 a	27,55
40	13,63 a	18,02
20	9,7 b	16,07

(*) Médias com mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5%

Os modelos de regressão para o diâmetro do colo em função da saturação são apresentados para os diferentes preparos de solo na Figura 8.

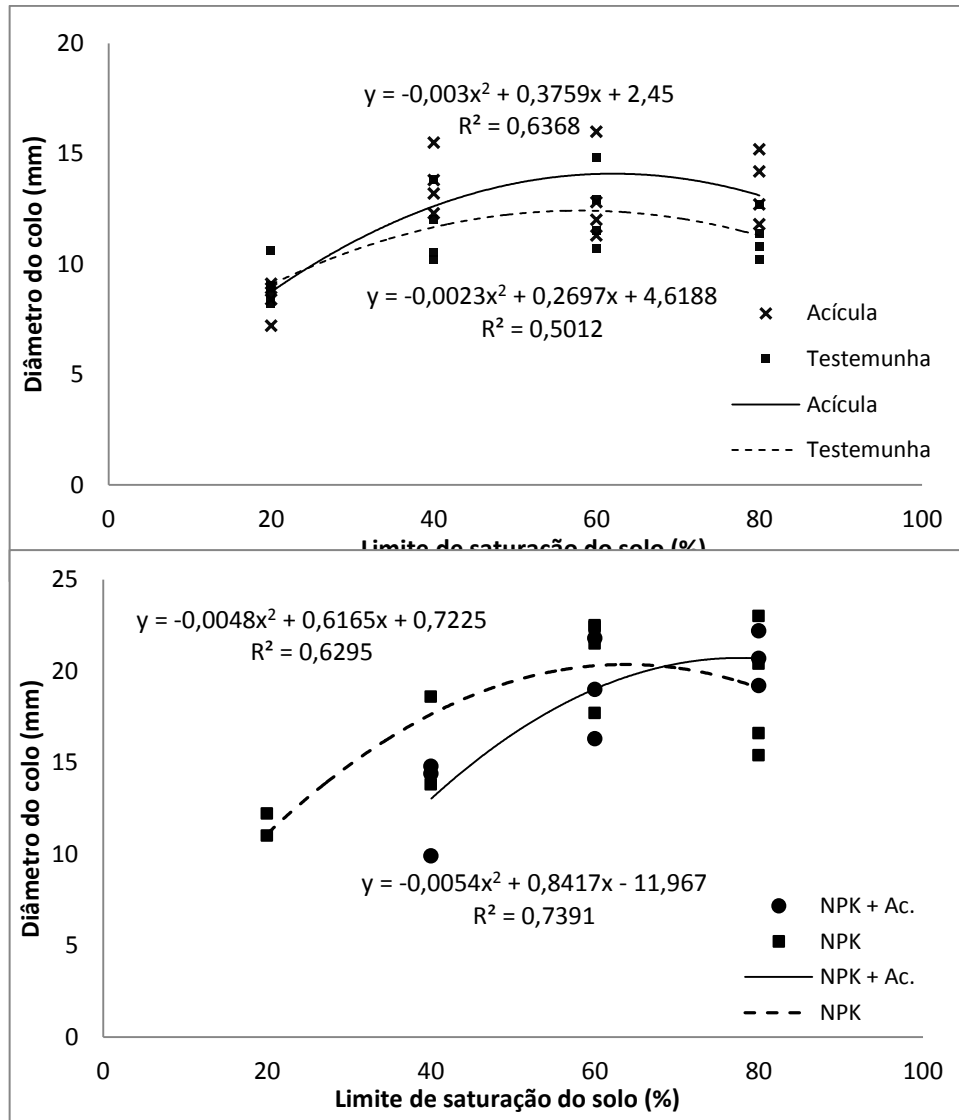


Figura 8 - Diâmetro do colo em função da saturação do solo, por preparo de solo para o cultivo de *Pinus elliotii*. Santa Maria, 2013.

Observa-se nos modelos que o comportamento do diâmetro do colo aumenta com o aumento da saturação do solo, atingindo um ponto máximo entorno de 60% para os preparos de solo com adição de acículas, testemunha e NPK. O preparo de solo com adição de NPK mais acículas, apresentou mortalidade de todos os indivíduos nas saturações de 20%, e um aumento do diâmetro do colo sempre crescente de acordo com a saturação do solo, dentro dos limites testados. É importante ressaltar que não existem diferenças significativas entres todos os preparos de solo e saturação, assim sendo, os modelos representam a tendência de seu comportamento em crescimento em diâmetro do colo.

4.3 Incrementos em altura e diâmetro do colo

4.3.1 Incrementos em diâmetro do colo

As medidas de incrementos foram tomadas mensalmente no período de novembro a julho. Ao observarmos a Tabela 12, vemos que a influência do solo não é significativa nos incrementos periódicos em diâmetro do colo, a saturação e também a sua interação com o preparo do solo, foram altamente significativas para os incrementos em diâmetro.

Tabela 12 - Análise de variância para incremento em diâmetro do colo para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Fonte de variação	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Prob. > F
Solo	3	2,79	0,93	8,62	0,1101
Saturação.	1	33,74	33,47	30,10	<0,0001
Solo*Saturação	3	10,73	3,57	4,14	<0,0001
Modelo	7	56,23	8,032	10,08	<0,0001
Erro	750	334,83	0,46		
Total	757	403,07			

Em que: G.L. = graus de liberdade, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

Para a comparação dos incrementos em diâmetro do colo, foi feito um teste de médias de Tukey a 5% de significância, para preparo de solo e saturação do solo (Tabela 13), a qual mostra o desempenho superior dos tratamentos contendo adubação NPK e acículas+NPK. Sobre os demais tratamentos, pode se observar que o número de observações foi inferior nestes tratamentos, devido a mortalidade e a exclusão dos valores das plantas perdidas.

A saturação do solo de 60% teve a maior média, não diferindo de 80%, em seguida de 40%, e após de 20%. Em ambos os casos de saturação e preparo de solo, observa-se um grande coeficiente de variação, atribuído à amplitude de valores

observados, devido à própria variação de cada planta e principalmente a sazonalidades dos incrementos, com valores altos na primavera, e mínimos por vezes nulo no inverno.

Tabela 13 - Incremento médio em diâmetro por diferentes tipos de preparo de solo e da disponibilidade hídrica no cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Preparo do solo	Incremento médio em diâmetro do colo (mm)	CV%	Nº	Saturação (%)	Incremento médio em diâmetro do colo (mm)	CV%	Nº
NPK	0,902 a(*)	87,96	174	60	0,919 a(*)	91,53	188
Acícula +NPK	0,823 a	97,56	168	80	0,885 a	91,29	206
Acícula	0,612 b	90,69	208	40	0,628 b	97,07	199
Testemunha	0,548 b	98,53	208	20	0,341 c	114,6	165

(*) Médias com mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Em que CV%= coeficiente de variação percentual

Como é mostrado pela análise de variância, os incrementos médios de diâmetros do colo em função da saturação, para diferentes preparos do solo, apresentam diferenças de ângulo em relação a média, representado pela sua interação significativa, como observado na Figura 9. deve-se também ressaltar que os baixos valores do coeficiente de determinação ao devido à grande variação dos incrementos mensais, de forma sazonal, como pode ser comprovado na observação das figuras 28 e 30, por exemplo. Observa-se também que os preparos de solo NPK e acículas mais NPK possuem ângulo diferente que os tratamentos acícula e testemunha, porém, que todos os tratamentos possuem mesmo nível, como visto no Anexo VIII de randomização dos interceptos. Isto representa que em baixas disponibilidades hídricas, independente das condições de preparo de solo, os incrementos em diâmetros do colo são semelhantes, vindo a ter respostas diferentes em níveis superiores de disponibilidade hídrica.

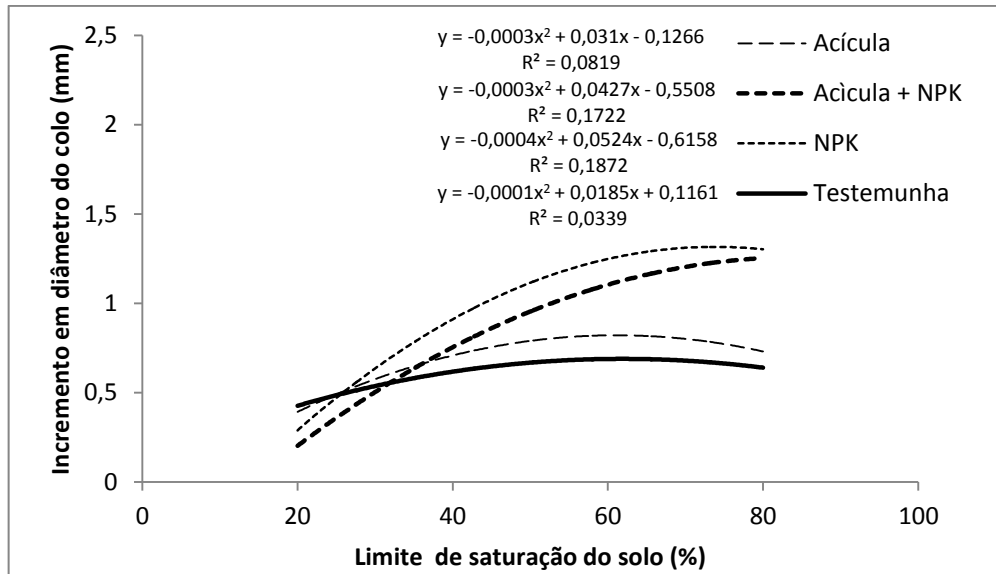


Figura 9 - Modelos de incremento em diâmetros do colo em função da saturação do solo, por preparo de solo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

4.3.2 Incrementos em altura

Para a altura, a análise de variância da Tabela 14, mostrou que apenas a saturação do solo foi influente no seu incremento, mostrando que os mesmos são estatisticamente semelhantes nos tratamentos de mesmo preparo do solo e diferem apenas quanto à saturação do solo.

Tabela 14 - Análise de variância para incremento em altura para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Fonte de variação.	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Prob. > F
Solo	3	106,30	35,43	1,57	0,1951
Saturação.	1	613,47	613,47	27,19	<,0001
Solo*Saturação.	7	152,72	50,90	2,26	0,0805
Modelo	7	732,68	104,66	4,64	<,0001
Erro	742	16920,47	22,56		
Total	757	17653,16			

Em que: G.L. = graus de liberdade, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

Tabela 15 - Incremento médio em altura por diferentes tipos de preparo de solo e da disponibilidade hídrica no cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Preparo do solo	Incremento médio em altura (cm)	CV%	N	Saturação.	Incremento médio em altura (cm)	CV%	N
NPK	3,428 a(*)	164,6	174	60	4,093 a(*)	142,26	188
Acícula + NPK	3,155 a	151,2	168	80	3,827 a	137,98	206
Acícula	3,126 a	148,0	208	40	2,904 b	151,84	199
Testemunha	2,938 a	104,2	208	20	1,528 c	164,88	165

(*) Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes, $p=0,05$ de probabilidade. Em que CV%= coeficiente de variação percentual

Observando a Tabela 15 do teste Tukey para os incrementos em altura não foram diferentes para os preparos de solo, sendo todas as médias semelhantes entre si. Novamente, a saturação do solo se diferenciou em três grupos, 60 e 80% de saturação, seguidos de 40 e 20%, observa-se novamente a diferença do número de observações devido a mortalidade e substituições de indivíduos, o que impossibilitou a utilização de dados de incrementos desta plantas substituídas em determinado período.

A representação dos modelos do incremento em altura é mostrada na Figura 9, os quais não apresentam variação de ângulo, como mostrado pela análise de variância (Tabela 14). A diferença de níveis não foi verificada conforme teste de randomização do intercepto pelo procedimento MIXED do pacote estatístico SAS 9.2, visto no Anexo IX.

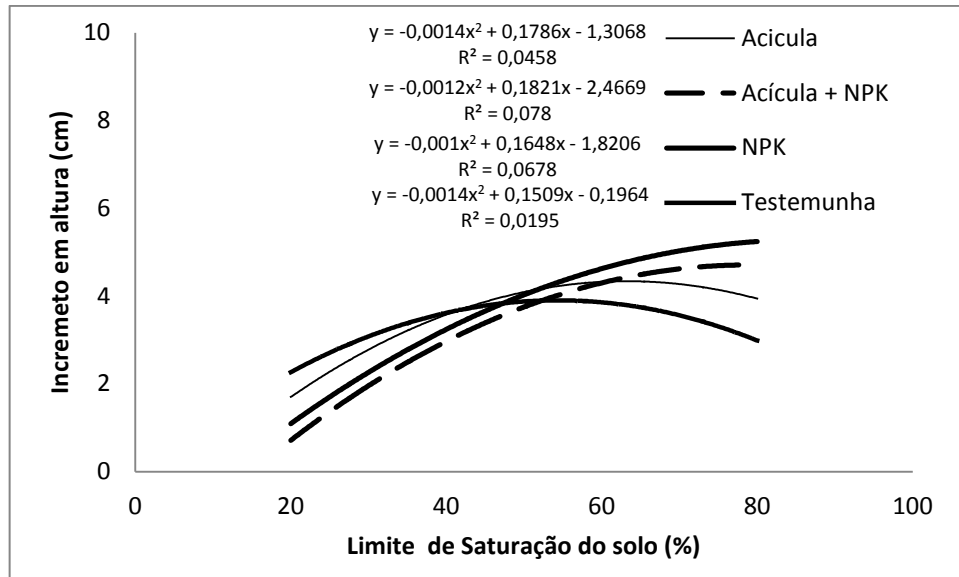


Figura 10 - Modelos de incremento em altura em função da saturação do solo, por preparo de solo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

A análise da Figura 10, também nos indica, ainda que sem significância estatística que, em baixas saturações, os incrementos em altura dos tratamentos de preparo do solo testemunha e acículas foram superiores aos que continham NPK. A mortalidade e baixo desempenho destes tratamentos explicam esse fato. Para maiores saturações, os tratamentos com NPK, antes com desempenhos inferiores, apresentam desta vez os maiores valores, enquanto os tratamentos de solo com a adição de acículas e testemunha mostram um decréscimo de seus valores máximos atingidos anteriormente. Isto pode representar a incapacidade das plantas responderem a maior disponibilidade hídrica nestes preparos de solo, ou até um efeito prejudicial da saturação elevada do solo.

4.4 Crescimento em altura e diâmetro

4.4.1 Diferenças em diâmetro do colo por disponibilidade de água

As diferenças no crescimento foram tomadas aos 4, 8, e 12 meses após o plantio, e comparadas inicialmente com as diferentes disponibilidades hídricas para cada preparo de solo. Primeiramente foi comparado o preparo de solo com adição de acículas, observou-se que, já no primeiro ponto de comparação houve a diferenciação de diâmetros do colo entre os tratamentos de disponibilidade hídrica de 80 e 60% com a de 20%. Com a continuação do experimento, no oitavo mês essa diferença também ocorreu entre as saturações do solo de 40 e 60%, contrastando com a saturação de 20%, continuando até o final do experimento (Figura 11).

Pode se afirmar que para o preparo de solo com acículas, nas saturações de 40, 60 e 80% geram diâmetros do colo estatisticamente semelhantes, e que com 20% de saturação do solo, o diâmetro gerado sob esta influência, é estatisticamente inferior a partir do 4 mês de implantação.

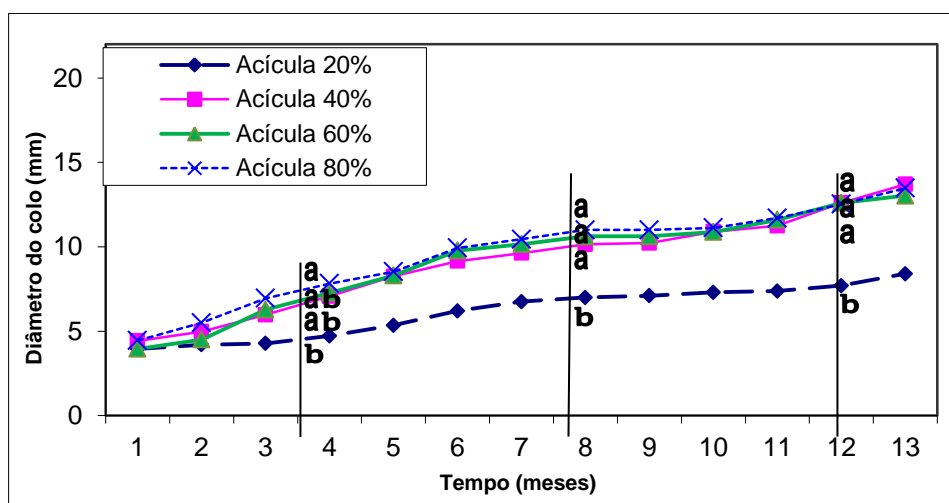


Figura 11 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo do solo com acículas com diferentes saturações e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Para o preparo de solo acícula + NPK, observa-se na Figura 12, que houve crescimento muito pequeno para a saturação de 20% durante todo experimento. Isto deveu se a ao efeito do tratamento, representando assim o mal desempenho do uso de fertilizante químico em condição de pouca disponibilidade de água no solo

Em seguida a diferença ocorreu entre os tratamentos com 80 e 60% de saturação do solo, vindo ao final distinguirem-se três grupos, no qual se destaca visivelmente o pobre desempenho com a saturação do solo de 20% (Figura 11), seguido pela saturação do solo de 40% e com os melhores desempenhos as saturações de 60 e 80%, sendo semelhantes entre si.

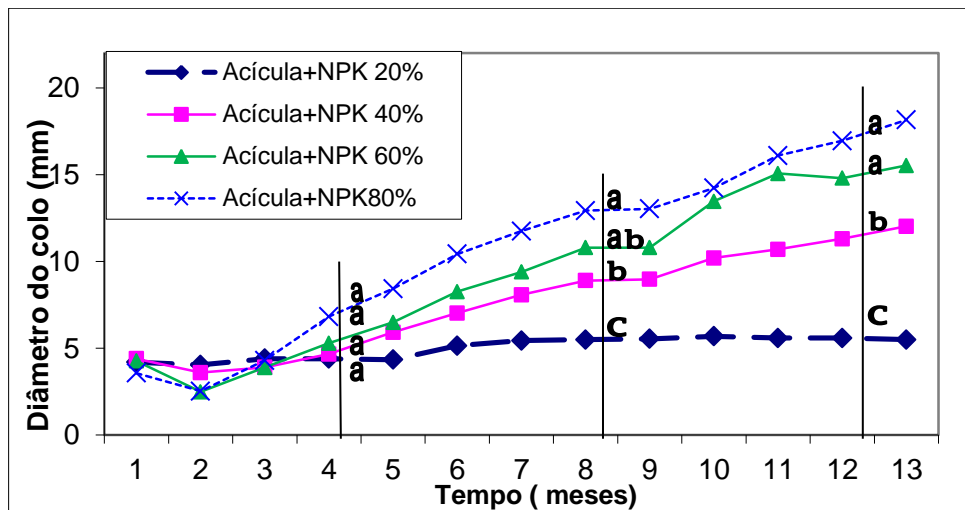


Figura 12 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo do solo com acículas + NPK com diferentes saturações e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

O preparo de solo com adição de fertilização química sob forma de NPK, apresentou os maiores diâmetros do colo. O diâmetro atingido com a saturação do solo de 80% destacou-se logo aos quatro meses, sendo semelhante ao de 60%. No oitavo mês observa-se a clara diferença entre as saturações do solo de 80 e 60% com as de 40 e 20%, este padrão será mantido até o final do experimento. Neste ponto, também ocorre a “ultrapassagem” do tratamento e saturação do solo de 60% sobre o de 80% (Figura 13).

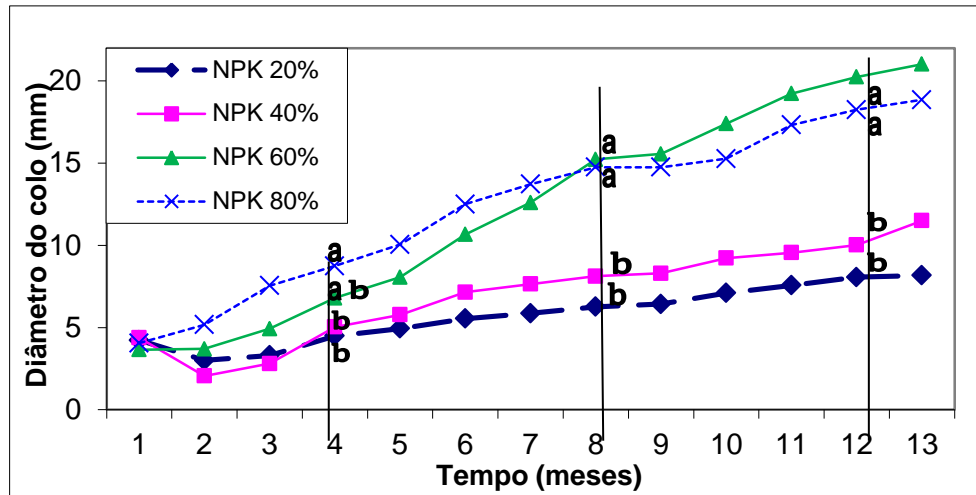


Figura 13 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo do solo com NPK com diferentes saturações para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Os tratamentos com preparo de solo testemunha foram os que atingiram desenvolvimento mais modesto do diâmetro do colo. Observando a Figura 14, nota-se que a semelhança entre os diâmetros do colo é total até o oitavo mês, aos doze meses ocorre uma diferenciação entre a saturação do solo de 20%, sendo semelhante a de 40%, e por sua vez similar as de 60 e 80%.

O longo tempo para a ocorrência da diferenciação dos diâmetros no solo testemunha pode ser explicado pela baixa fertilidade do solo, que mesmo com água disponível para solubilizar os elementos, suas concentrações são tão baixas que uma maior quantidade de água disponível não se reflete em maior crescimento.

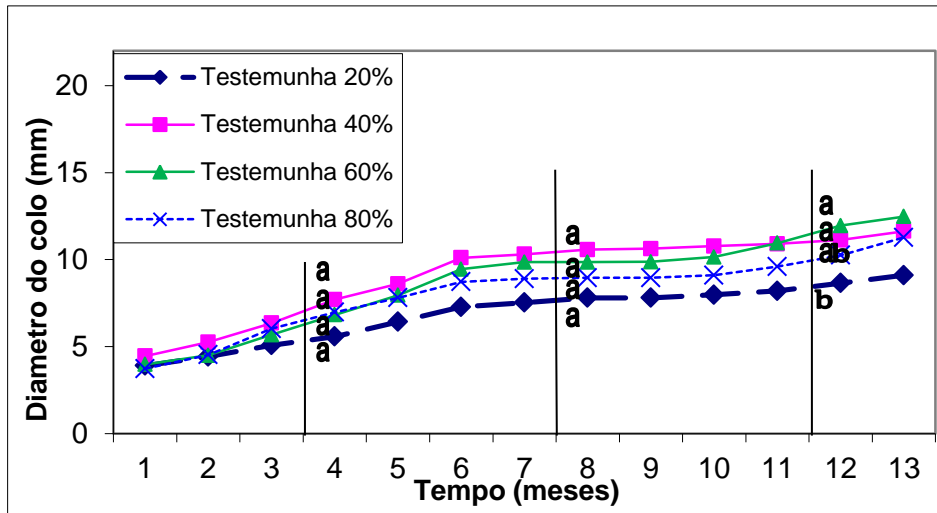


Figura 14 - Crescimento em diâmetro do colo para o preparo testemunha, com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

4.4.2 Diferenças em altura por disponibilidade de água no solo

As diferenças em altura para o preparo de solo com a adição de acículas parcialmente decompostas encontra-se na Figura 15. Nela constata-se que a altura dos tratamentos com saturação do solo de 40, 60 e 80% são semelhantes entre si e diferentes de 20% logo no quarto mês de condução do experimento, e continuando desta maneira até sua conclusão, da mesma forma com o ocorrido com o comportamento do diâmetro do colo sob este preparo de solo e disponibilidade hídrica no solo.

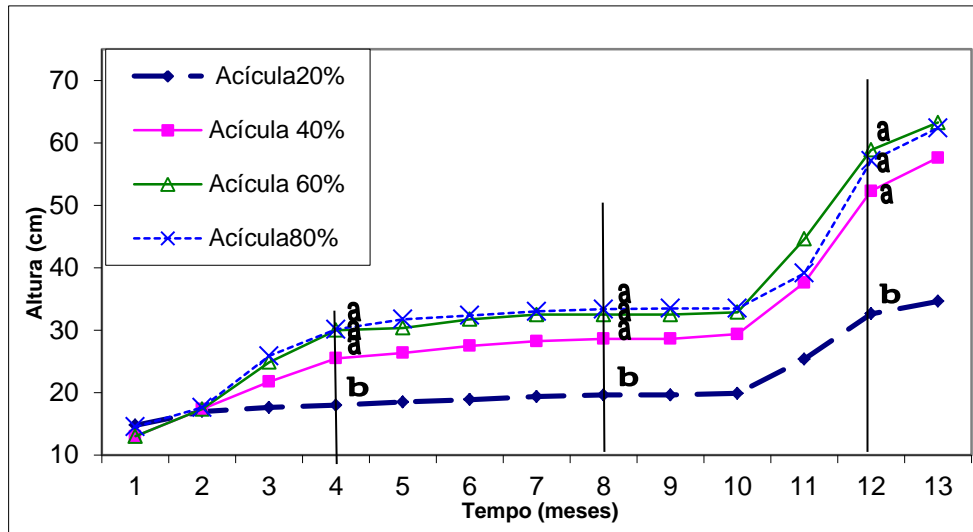


Figura 15 - Crescimento em altura para o preparo do solo com acículas com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

O preparo do solo com a adição de acículas parcialmente decompostas e NPK, gerou a diferenciação de altura em três grupos aos doze meses a partir do início do experimento, sendo o de melhor desempenho as saturações do solo de 60 e 80%, seguidos da saturação de 40%, e finalmente a de 20%, como visto na Figura 16. Inicialmente, aos quatro meses, todos os tratamentos eram semelhantes. Deve-se ressaltar que o tratamento com 20% de disponibilidade hídrica, apresentou mortalidade de todos os indivíduos inicialmente plantados, a representação gráfica deste tratamento foi mantida a fim de demonstrar a ineficiência do tratamento nessa condição de disponibilidade de água no solo.

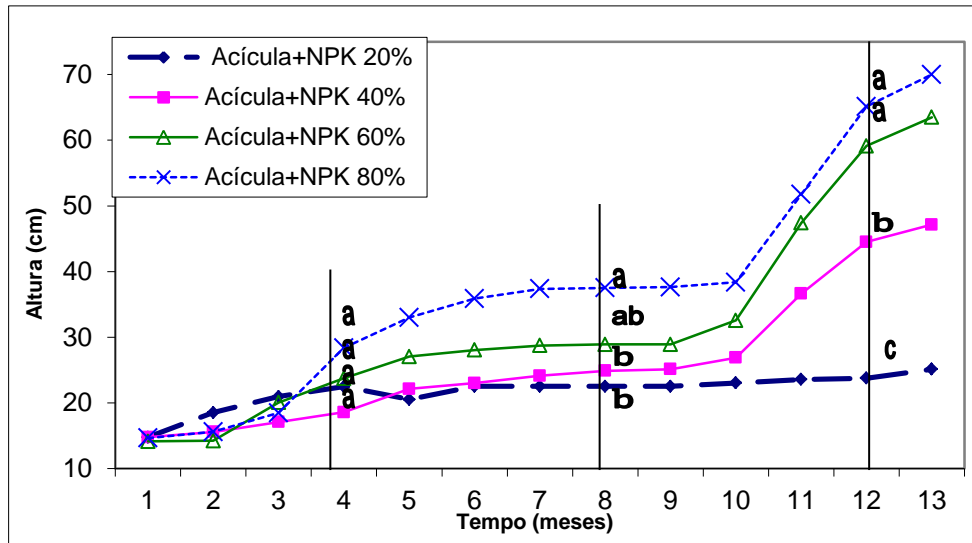


Figura 16 - Gráfico do crescimento em altura para o preparo do solo com acículas + NPK com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Na Figura 17 encontra-se a comparação do crescimento em altura das mudas plantadas com acículas e adubo NPK adicionados ao solo, sob as diferentes disponibilidades hídricas.

Observa-se um desempenho superior diferenciado das saturações do solo de 60 e 80% já no quarto mês após a implantação.

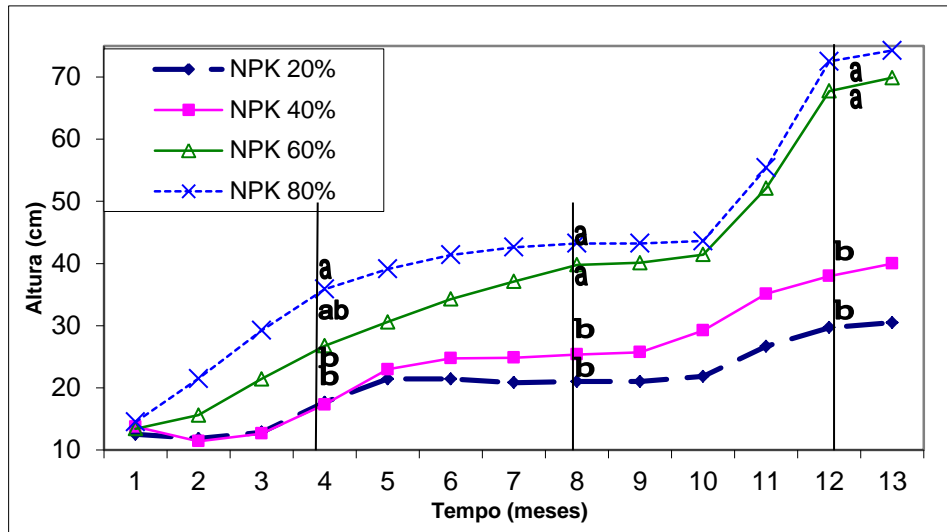


Figura 17 - Crescimento em altura para o preparo do solo com NPK com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

No oitavo mês a diferença entre as saturações do solo de 20 e 40% com as de 60 e 80% torna-se ainda mais evidente, mostrando a importância da quantidade de água no solo para solubilizar e disponibilizar os elementos nutritivos para as plantas, refletindo assim seu melhor desempenho.

O crescimento em altura no solo testemunha é apresentado na Figura 18. Observa-se que no quarto mês, que há apenas diferenças significativas nas alturas, entre as saturações de 40 e 80%. Este preparo de solo foi o único que a saturação do solo de 80% não foi a de melhor desempenho, este fato provavelmente deu-se pela semelhança nos valores de irrigação deste preparo de solo, maiores explicações sobre isto serão abordadas no item 4.8.1. A partir do décimo mês, observa-se que a saturação do solo de 60%, antes com média significativamente inferior à primeira colocada, a de 40% de saturação de solo, obteve um crescimento em altura a ponto de torna-lo o maior, porém semelhante aos de 40 e 80%, aos 12 meses de crescimento.

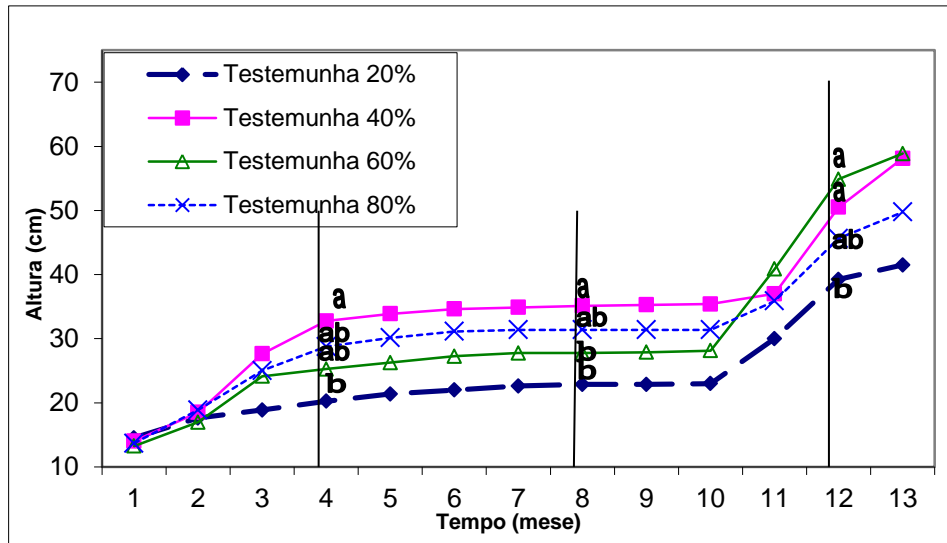


Figura 18 - Crescimento em altura para o preparo do solo testemunha com diferentes saturações do solo e suas diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

4.4.3 Diferenças em diâmetro do colo por preparo do solo

A comparação dos tratamentos sob uma mesma disponibilidade hídrica com diferentes preparos de solo, permite isolar o efeito deste sobre o crescimento em diâmetro do colo.

Na Figura 19 observamos a comparação do desempenho do crescimento em diâmetro do colo entre os preparos de solo sob diferentes saturações do solo. É possível observar que todos os preparos de solo tiveram médias de diâmetro de colo estatisticamente iguais, sendo as melhores os preparos com acículas e testemunha até o décimo mês, após observa-se o que o preparo de solo NPK atinge dimensões muito próximas das do solo testemunha. Observa-se também que o preparo do solo com adição de acículas e NPK encontra-se representado graficamente mesmo tendo este sofrido mortalidade de todos indivíduos, ilustrando apenas a altura das plantas antes da morte

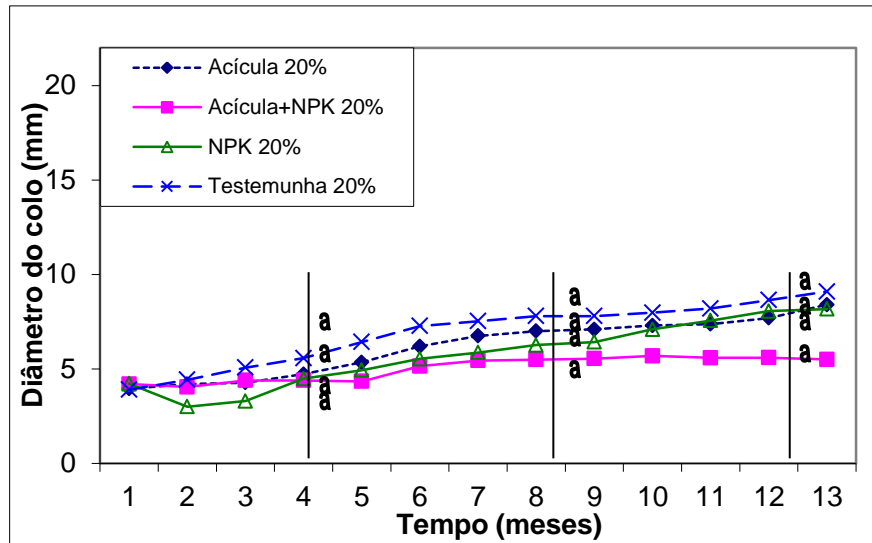


Figura 19 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação de 20%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Na saturação do solo de 40%, igualmente a de 20%, todas as médias de diâmetros do colo foram semelhantes durante toda a duração do experimento. Os tratamentos com as maiores médias foram os preparos de solo contendo acículas e o solo testemunha, pode se observar que os tratamentos contendo adubação química na preparo do solo, os quais apresentaram mortalidade, tiveram seu desempenho inferior (Figura 20).

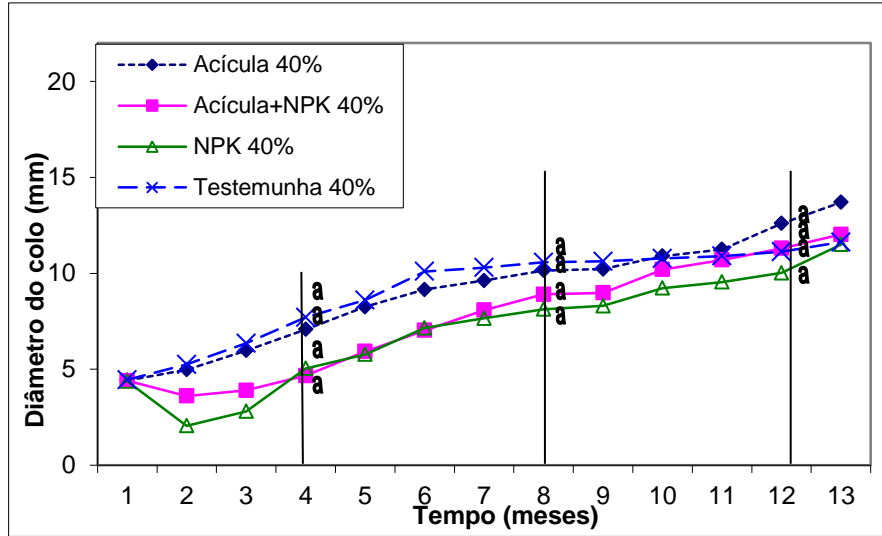


Figura 20 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação de 40%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Na condição de saturação do solo de 60%, o desempenho em diâmetro do colo foi semelhante para todos os preparos de solo no quarto mês após a implantação do experimento. A partir do oitavo mês, surge a diferença do preparo do solo com adição de NPK sendo superior aos demais, mantendo-se assim até o 12º mês. Mesmo com crescimento acentuado em diâmetro do colo no tratamento com acícula mais NPK, a partir do nono mês, este não foi suficiente para gerar médias diferentes, como pode ser visto na Figura 21.

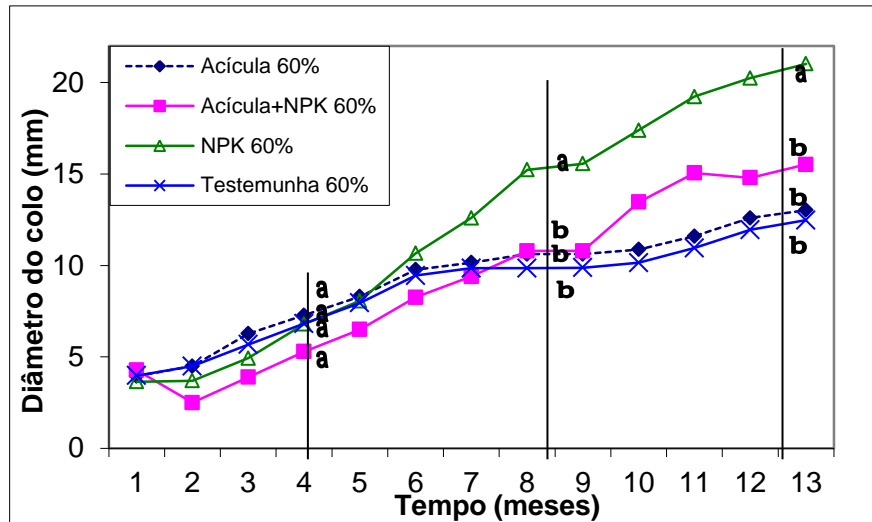


Figura 21 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação do solo de 60%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus Elliottii*. Santa Maria, 2013.

Os diâmetros do colo para as saturação do solo de 80% gerou médias semelhantes no quarto mês de condução, ao final de um ano após o plantio, observa-se pela Figura 22, que os preparos de solo contendo NPK tiveram maiores médias e significativamente superiores dos preparos de solo testemunha e com acículas, sendo estes semelhantes entre si.

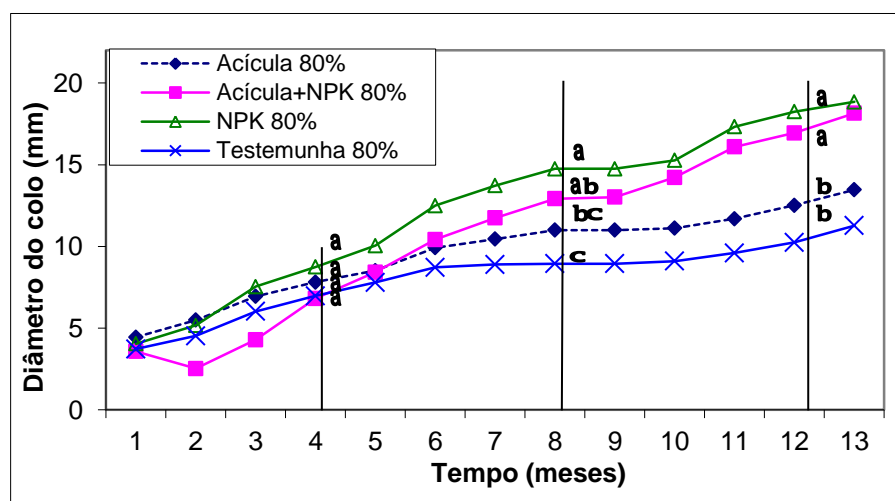


Figura 22 - Crescimento em diâmetro do colo para a saturação do solo de 80%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus Elliottii*. Santa Maria, 2013.

4.4.4 Diferenças em altura por preparo de solo

O desempenho em altura dos tratamentos sob diferentes preparos de solo com saturação do solo de 20%, (Figura 23), tiveram crescimento similar até os oito meses de condução do experimento aos diâmetros, da mesma forma que o comportamento do diâmetro sob estas mesmas condições, vindo a apresentar diferenças entre os tratamentos com preparo do solo testemunha e adição de acículas e NPK. Deve-se ressaltar que os tratamentos contendo adubação química com NPK foram afetados pela mortalidade, e os indivíduos sobreviventes também tendo crescimento prejudicado por este preparo de solo na disponibilidade de água de 20%.

Na Figura 24 apresenta-se as diferenças de crescimento em altura para a saturação do solo de 40%. Pode-se observar que os preparos de solo com NPK, tiveram desempenho inferior, porém estatisticamente semelhante no oitavo mês, mesmo após serem inferiores a testemunha logo no quarto mês. Aos 12 meses volta a haver diferença significativa entre os preparos de solo testemunha e com adição de acículas comparadas com o preparo contendo NPK.

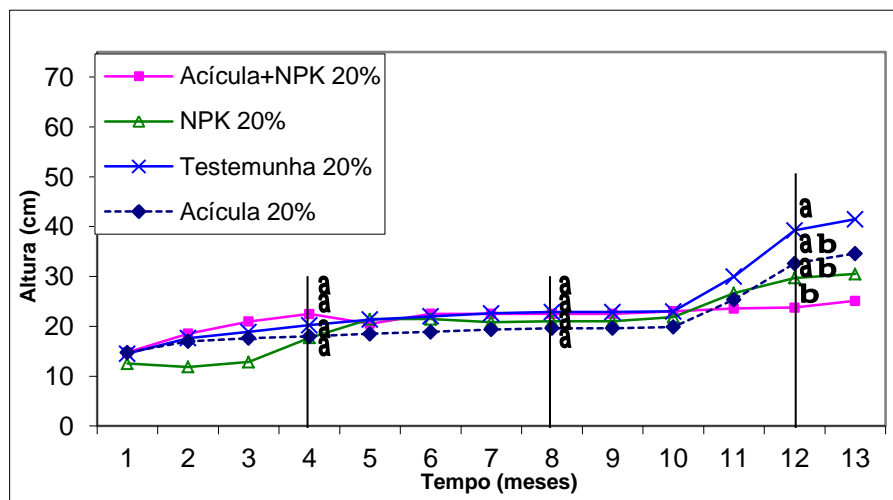


Figura 23 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 20%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

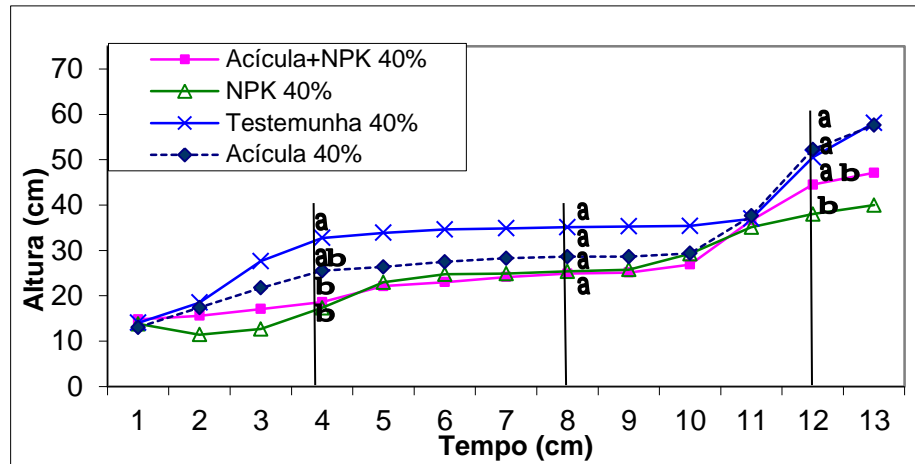


Figura 24 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 40%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

As diferenças de crescimento para a saturação do solo de 60% são apresentadas na Figura 25. Ao observarmos atentamente, nota-se que no segundo e terceiro mês de condução, os preparos de solo com acícula e testemunha apresentam altura superior aos demais, ainda que estatisticamente semelhantes. Entretanto, estes preparos vem a estabilizar seu crescimento a partir do quarto mês, tendo o preparo de solo com fertilizante NPK o melhor desempenho. Aos 12 meses, existe apenas diferença significativa entre o solo testemunha e o com adição de NPK.

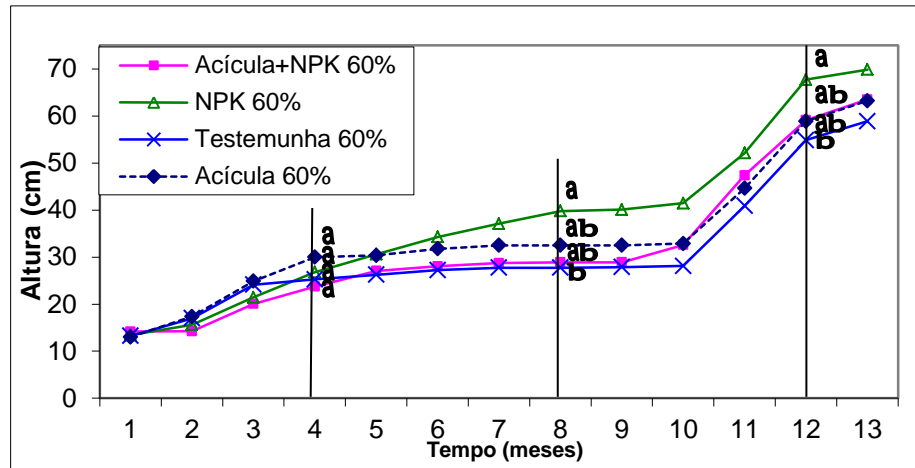


Figura 25 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 60%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Na Figura 26 é apresentada a comparação dos preparos de solo sob a saturação de 80% da capacidade total de retenção de água. Observa-se que no quarto mês todos os preparos de solo possuem médias semelhantes, no oitavo mês há apenas diferença entre os preparos de solo com NPK e testemunha, e ao final de 12 meses ocorre a diferenciação em três grupos, sendo o de menor média em altura, o solo testemunha.

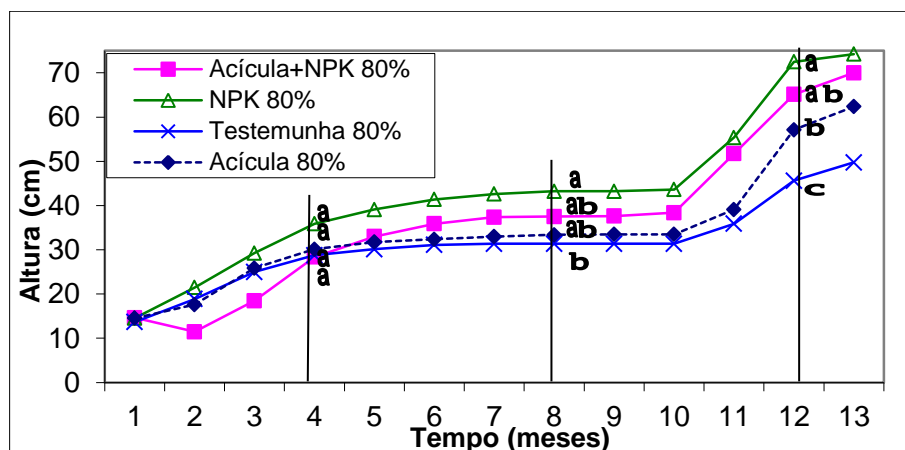


Figura 26 - Crescimento em altura para a saturação do solo de 80%, com os diferentes tratamentos de preparo de solo, e diferenças aos 4, 8 e 12 meses de idade para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

4.5 Distribuição do crescimento

4.5.1 Distribuição do crescimento relativo em função do preparo do solo

O crescimento relativo foi avaliado com a finalidade de examinar a distribuição do crescimento ao longo do tempo, a fim de constatar sobre a duração e distribuição dos incrementos em altura e diâmetro do colo sob diferentes preparos e de saturação de solo.

4.5.1.1 Distribuição do crescimento em altura por preparo de solo

A análise de covariância da influência do solo no crescimento relativo em altura pelo procedimento GLIMMIX, mostra que não houve interação significativa do preparo do solo com tempo, indicando que os modelos para os diferentes preparos de solo tiveram taxas de crescimento em altura com ângulos semelhantes do modelo, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 – Análise de covariância da influência do preparo do solo sobre o crescimento em altura relativa, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Fonte de variação	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Prob. > F
Tempo	1	574883,88	574883,88	2258,56	<,0001
Solo	3	5640,16	1880,05	7,39	<,0001
Tempo*Solo	3	1242,76	4142,52	1,63	0,1819
Modelo	7	584141,69	83448,81	327,85	<,0001
Erro	543	138212,88	254,54		
Total	550	722354,57			

Em que: G.L. = graus de liberdade, F = valor de F da ANOVA, Prob = probabilidade.

Observa-se que todos os tratamentos tiveram ângulo de inclinação do modelo semelhante. No entanto os tratamentos de preparo de solo com a adição de acícula e testemunha tiveram o mesmo nível, sendo este diferente dos níveis dos preparos de solo com NPK mais adição de acículas, e NPK, como pode ser observado nos contrastes de médias de altura da Tabela 17.

Tabela 17 – Diferenças dos solos no crescimento relativo em altura, por contrastes de médias, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Contrastes	G.L.	Nº de observações	F	Prob. > F
Acícula/ NPK + Acícula	1	546	9,25	0,0025
NPK + Acícula/ NPK	1	546	1,15	0,2839
NPK/ Testemunha	1	546	26,04	<,0001
Testemunha/ Acícula	1	546	0,83	0,362
Acícula /NPK	1	546	17,67	<,0001

Em que: G.L. = graus de liberdade, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

Observa-se que a Figura 27, que representa o modelo de crescimento relativo, que os tratamentos acícula e testemunha, possuem níveis semelhantes, porém diferentes dos demais tratamentos.

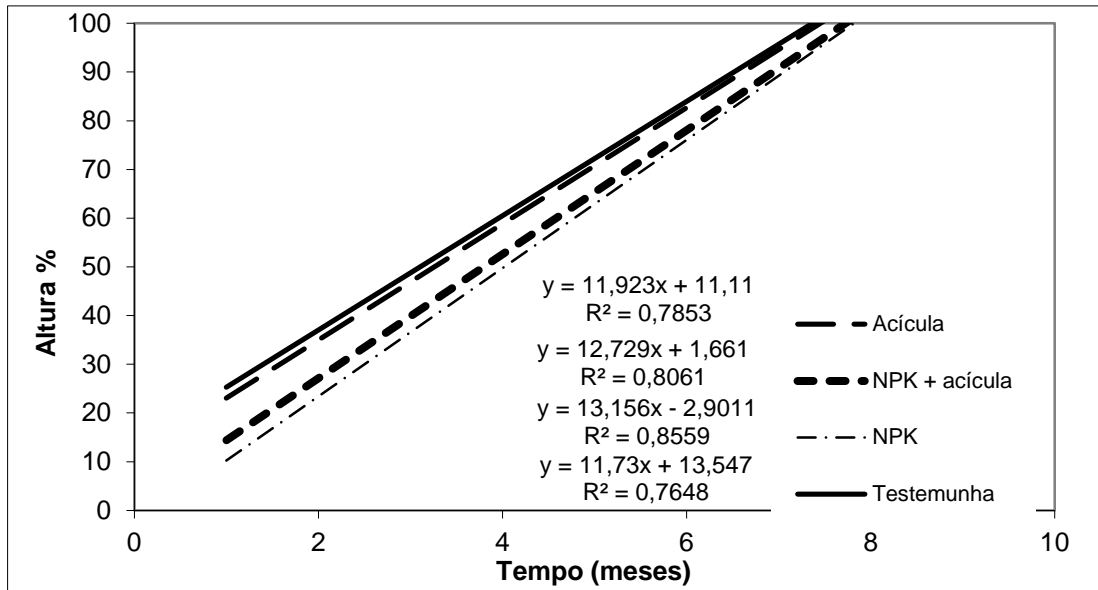


Figura 27 - Modelos do crescimento em altura relativo acumulado, por preparo de solo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

O fato dos tratamentos testemunha e acícula possuírem nível superior no crescimento relativo em altura faz com que alcancem do patamar de 100%, antes que os demais tratamentos, tendo assim seu período de crescimento abreviado em relação aos demais tratamentos. A Figura 28 dos incrementos relativos em altura dos tratamentos aponta este fenômeno, onde, tratamentos com acícula e testemunha, concentram seus crescimentos em altura, com um pico no segundo mês de crescimento, superior aos demais tratamentos, a partir do quarto mês, os tratamentos contendo NPK, passam a ter incrementos relativos em altura maiores, demonstrando maior distribuição do crescimento em altura, durante o período final crescimento observado.

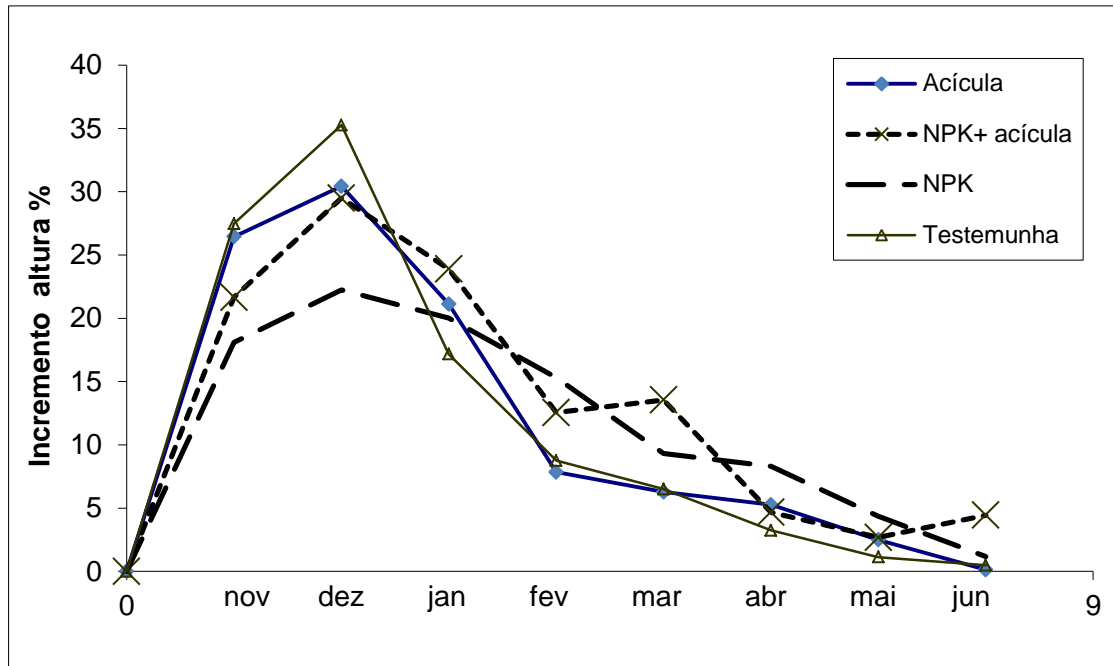


Figura 28 - Distribuição do crescimento em altura relativa para os diferentes preparos de solo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Os estudos de Assmann (1970) para florestas europeias mostraram que povoamentos em sítios de melhor qualidade, apresentavam seu incremento máximo antes que em sítios pobres, porém esta relação de distribuição, para florestas adultas e incrementos plurianuais, não correspondeu aos resultados deste experimento, de plantas jovens e incrementos intra-anuais, tendo todos os preparos de solo apresentando seu máximo incremento em altura no terceiro mês do experimento (janeiro), mesmo havendo diferenças na proporção desta distribuição.

4.5.1.2 Distribuição do crescimento em diâmetro do colo por preparo de solo.

A análise de covariância da Tabela 18 mostrou que os modelos de diâmetro do colo, apresentaram inclinações semelhantes para os diferentes preparos de solo no tempo, como demonstra a baixa probabilidade de significância da interação tempo x solo.

Tabela 18 – Análise de covariância do crescimento relativo em diâmetro do colo. para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Fonte de variação	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Prob. > F
Tempo	1	704594,27	704594,27	4684,33	<.0001
Solo	3	2131,62	710,54	4,72	0,0029
Tempo*Solo	3	85,78	28,59	0,19	0,9031
Modelo	7	717520,12	102502,87	681,47	<,0001
Erro	543	81675,43	150,42		
Total	550	799195,55			

Em que: G.L. = graus de liberdade, F = valor de F da ANOVA, Prob = probabilidade.

O teste de diferença de níveis por contraste de médias (Tabela 19), mostra que os tratamentos testemunha e acícula são diferentes entre si e dos demais, assim pode-se observar na Figura 29, que o solo testemunha apresenta nível superior aos demais. Isto representa a “termino” do crescimento no em um momento anterior quando que comparado os tratamentos NPK e NPK+ acícula, os quais tiveram níveis semelhantes, e solo preparado com acículas assumindo uma posição intermediária.

Tabela 19 - Diferenças entre solos no crescimento diâmetro relativos, por contrastes de médias, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Contrastes	GL	Nº de observações	F	Prob. >F
Acícula/ NPK + Acícula	1	546	24,52	<,0001
NPK + Acícula/ NPK	1	546	0,21	0,6491
NPK/ Testemunha	1	546	57,11	<,0001
Testemunha/ Acícula	1	546	9,17	0,0026
Acícula /NPK	1	546	20,9	<,0001

Em que: G.L. = graus de liberdade, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

Diferentemente dos incrementos relativos em altura, nos quais os tratamentos com acícula e testemunha eram semelhantes em nível, o mesmo não ocorre para o

diâmetro do colo, levando a crer que a adição de acículas no preparo do solo, alonga o período de crescimento relativo com diâmetro em relação à testemunha, o qual não se verificou para a altura.

Vários estudos demonstram que a temperatura do ar é um dos fatores determinantes para o início e duração do crescimento de plantas superiores (GRUBB, 1977; MATSUMOTO *et al.*, 2003; MANZEL; FABIAN, 1999.). Entretanto, referencias unicamente quanto a fertilidade do solo, no efeito da distribuição do incremento de espécies florestais não foram encontradas.

Ao analisar o modelo distribuição do incremento relativo em diâmetro do colo acumulado (Figura 29) e dos incrementos percentuais (Figura 30), observam-se que os tratamentos com acícula e testemunha, têm seu crescimento em diâmetros do colo superiores aos demais tratamentos, nos meses iniciais, vindo a diminuir antecipadamente. Este fato é representado pela interseção da linha de regressão estimada com o nível de 100% do crescimento, demonstrando o fim do crescimento vegetativo desta estação de maneira antecipada em relação aos demais preparos de solo.

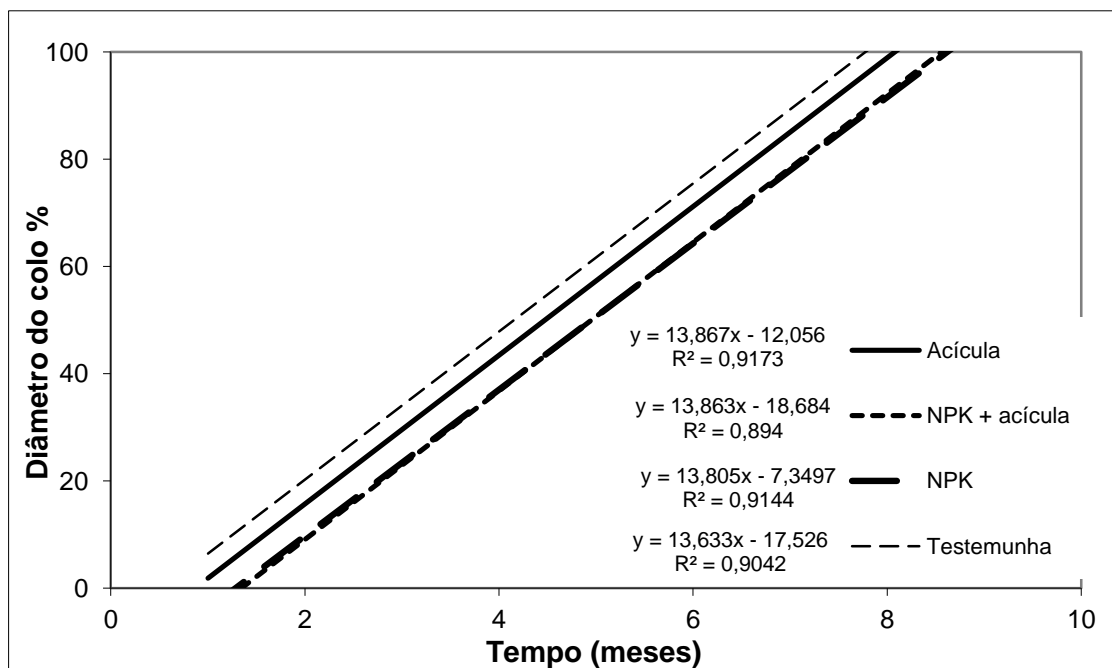


Figura 29 - Modelo do crescimento do diâmetro do colo relativo acumulado, por tratamento de preparo de solo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Os preparos do solo NPK e NPK + acículas continuaram com o seu crescimento em diâmetro do colo com valores superiores no fim do período de crescimento, sendo ainda superiores a 10% nos dois últimos meses, o que pode ser explicado pela maior solubilidade de nutrientes, que tornou possível alongar o crescimento por mais tempo, quando comparada aos preparos de solo testemunha e solo com acículas, os quais submetidos as mesmas condições atmosféricas, reduziram o ritmo do seu crescimento. Este resultado concorda com os obtidos por Leaf *et al.* (1968) com *Pinus resinosa*, na América do Norte.

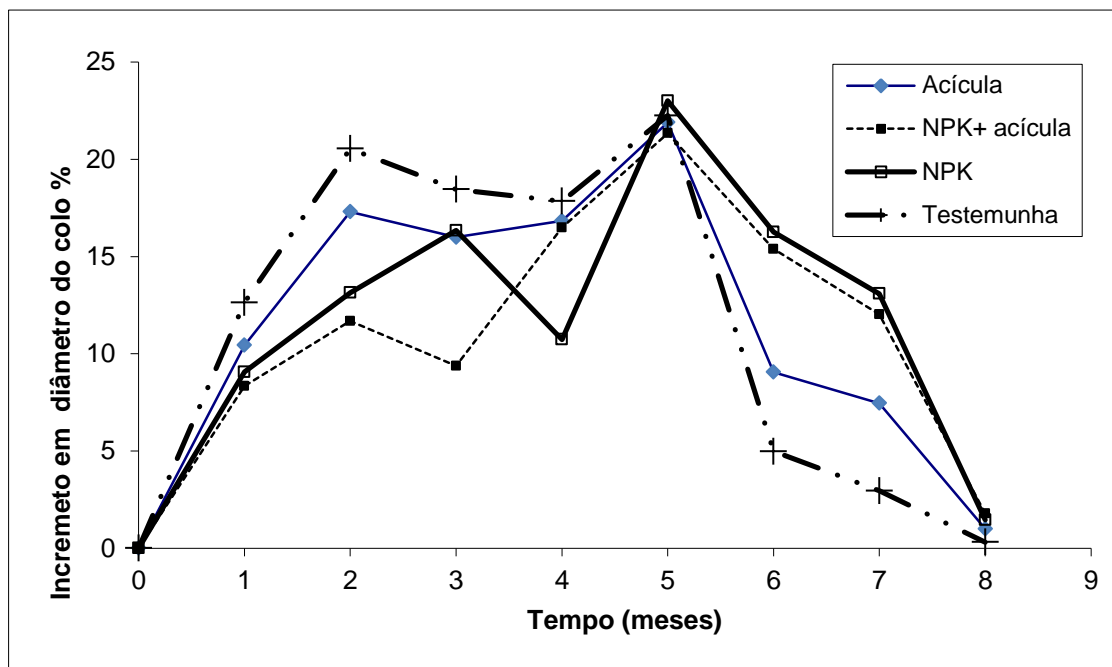


Figura 30 - Distribuição do incremento do diâmetro para os diferentes preparos de solo para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Sobre isto, Sterba (1990) apresenta resultados de distribuição de incrementos diamétricos de *Picea abies*, os quais chegam a ser de 70% no mês de agosto. Também, demonstra que em grandes altitudes o incremento relativo é concentrado, enquanto em baixas altitudes este vem a ser mais distribuídos sobre o período de crescimento. Neste experimento, constataram diferenças nas alocações de incrementos em diâmetro, porém, sem mudança no período de maior incremento.

4.5.2 Distribuição do crescimento relativo em função da disponibilidade hídrica

4.5.2.1 Distribuição do crescimento em altura relativa por disponibilidade hídrica

A distribuição do crescimento em altura relativa em função da disponibilidade hídrica mostrou, através de análise de covariância da Tabela 20, que não há diferenças de ângulo e de níveis entre os modelos sob as saturações do solo estudadas. Isto significa que independentemente da saturação, o crescimento em altura é distribuído de maneira semelhante durante o período de crescimento.

Tabela 20 - Análise de covariância do crescimento em altura relativa para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Efeito	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	Prob. > F
Tempo	1	83599,2	309,33	<,0001
Saturação	1	52,02	0,19	0,6610
Tempo*Saturação	1	310,9	1,15	0,2839
Modelo	3	191,507	708,6	<,0001
Erro	547	147883,1		
Total	550			

Em que: F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

A confirmação da semelhança dos níveis nos modelos de crescimentos altura relativa pode ser vista na Figura 31, no qual as linhas estão muito próximas, e quase sobrepostas, representando o sincronismo na duração do crescimento em altura relativa para diferentes disponibilidades hídricas. Isto também é demonstrado pelo contraste de médias dos níveis (Tabela 21), mostra que todos os modelos lineares são semelhantes.

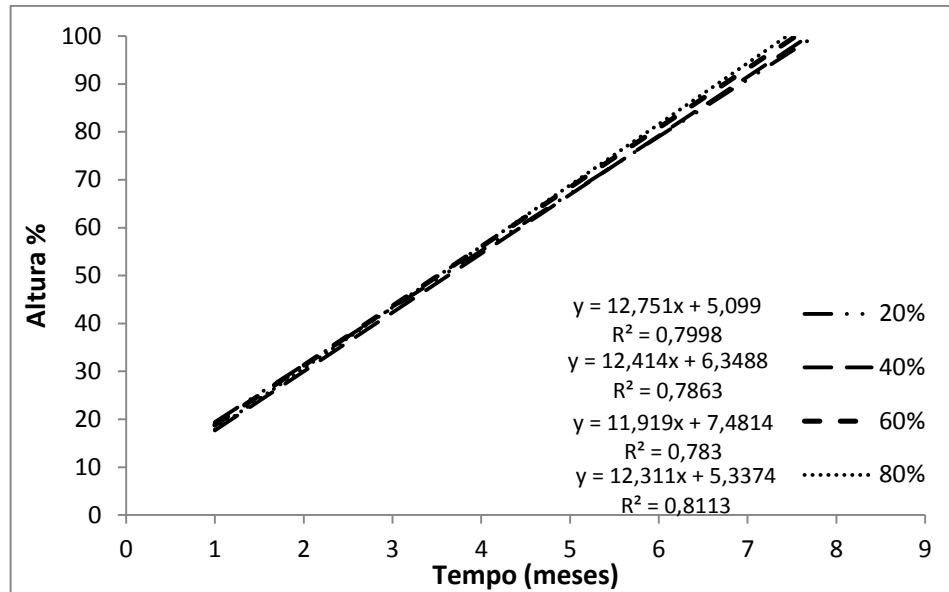


Figura 31 - Modelo do crescimento relativo acumulado em altura, por disponibilidade hídrica, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Tabela 21 - Diferenças disponibilidades de água no crescimento em altura relativa, por contrastes de médias, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Contrastes	GL	Nº de observações	F	Prob. > F
Saturação 20 Saturação 40	1	546	0,01	0,9335
Saturação 40 Saturação 60	1	546	0,6	0,4391
Saturação 60 Saturação 80	1	546	0,05	0,8235
Saturação 80 Saturação 20	1	546	0,8	0,3716
Saturação 20 Saturação 60	1	546	0,45	0,5027

Em que: G.L. = graus de liberdade, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

A Figura 32 mostra que a distribuição de incrementos em altura relativa dos tratamentos mais secos (20 e 40%), é superior no primeiro mês aos demais tratamentos. Entretanto, no mês seguinte o inverso acontece na sequência do período de crescimento, o percentual de incremento em altura decresce sem padrões definidos para as diferentes disponibilidades hídricas. Entretanto, essas diferenças na distribuição dos incrementos em altura não se mostram significativas, como visto nos testes anteriores.

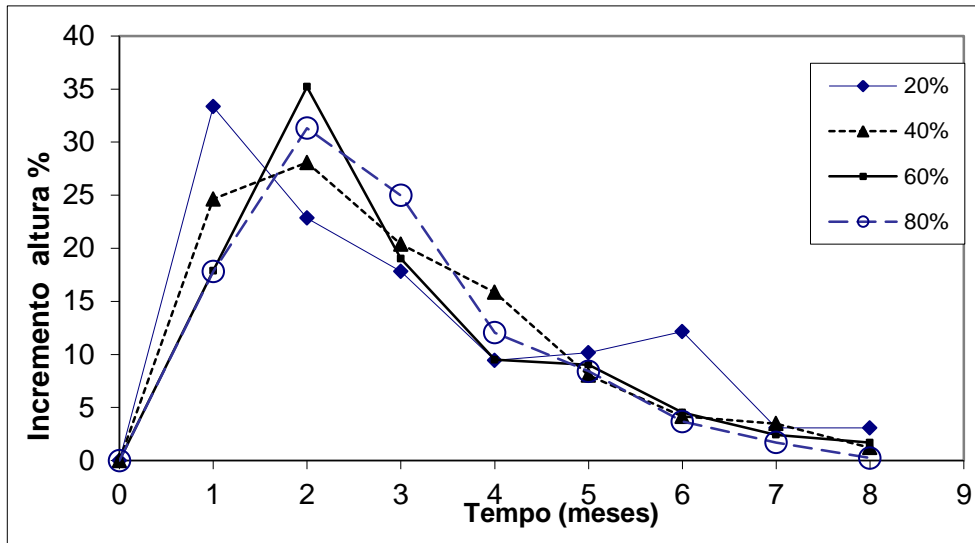


Figura 32 - Distribuição do incremento em altura relativo para as diferentes disponibilidades hídricas para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

O fato de a irrigação ter ocorrido de maneira homogênea para todos os tratamentos durante o ano, pode explicar a semelhança na distribuição dos incrementos relativos, mesmo estes sendo consideravelmente menores nas disponibilidades hídricas de 20%, por exemplo.

4.5.2.2 Distribuição do crescimento em diâmetro do colo relativo por disponibilidade hídrica

O crescimento relativo do diâmetro do colo foi marginalmente influenciado pela saturação do solo, ($P=0,0552$), como visto na análise de covariância da Tabela 22. Podemos observar também, que não houve interação entre a saturação e o tempo, indicando similaridade nos ângulos dos modelos.

Tabela 22 - Análise de covariância do crescimento relativo em diâmetro para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Efeito	Graus de Liberdade.	Quadrado médio	F	Prob. > F
Tempo	1	113431,1	677,6	<,0001
Saturação	1	118,1	3,69	0,0552
Tempo*Saturação	1	2,67	0,02	0,8994
Modelo	3	23587,1	1408,97	<,0001
Erro	547	799195,5		
Total	550			

Em que: F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

A verificação de diferença de níveis por contrastes mostra que há diferenças entre as saturações do solo, destacando-se a de 80% superior sobre as demais, e as de 40 e 20%, inferiores e semelhantes como observado na Tabela 23.

Tabela 23 - Diferenças de disponibilidades de água no crescimento em diâmetro do colo relativo, por contrastes de médias, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Contrastes	GL	Nº de observações	F	Pr > F
Saturação 20 Saturação 40	1	546	0,11	0,7457
Saturação 40 Saturação 60	1	546	4,34	0,0376
Saturação 60 Saturação 80	1	546	4,81	0,0288
Saturação 80 Saturação 20	1	546	14,92	0,0001
Saturação 20 Saturação 60	1	546	2,91	0,0885

Em que: G.L.= graus de liberdade F = valor de F da ANOVA, Prob = probabilidade.

Pela interpretação da Figura 33, ao assumirmos que a intersecção da linha do modelo do incremento acumulado com o nível de 100%, representa o fim do período de crescimento, sendo esses modelos de níveis significativamente diferentes, assim, pode-se inferir que as altas disponibilidades hídricas promovem uma maior concentração do crescimento do diâmetro do colo nos meses iniciais, quando comparado às baixas saturações hídricas do solo.

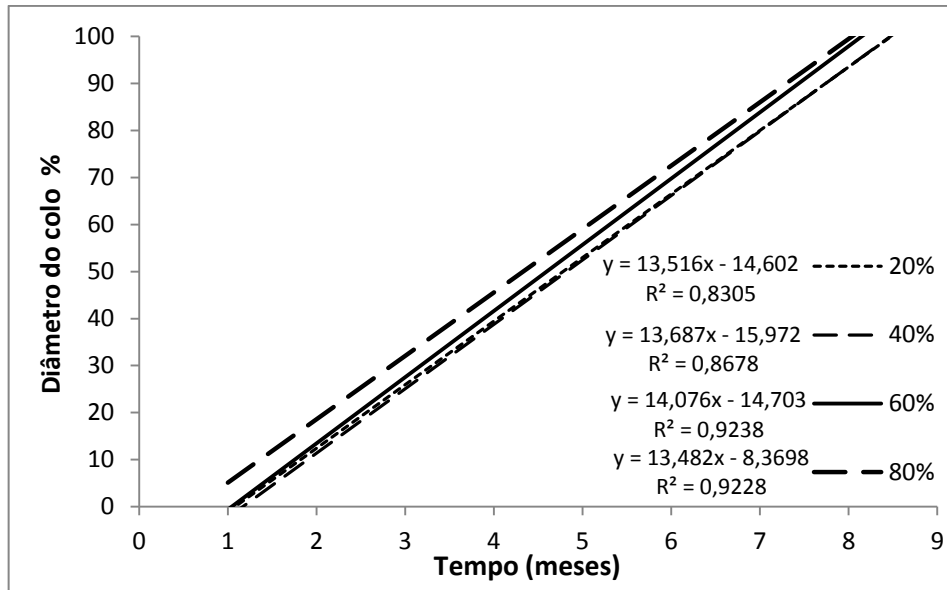


Figura 33 - Modelo do crescimento relativo acumulado em diâmetro, por disponibilidade hídrica para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Ao observar-se a Figura 34, vê-se uma maior concentração do incremento do diâmetro do colo no período inicial, dos tratamentos com saturação hídrica de 80 e 60% sobre os demais, até o segundo mês do experimento (dezembro). Nos meses de março, abril e maio (meses 5, 6 e 7), os tratamentos com saturações de 20 e 40% apresentam valores superiores aos demais.

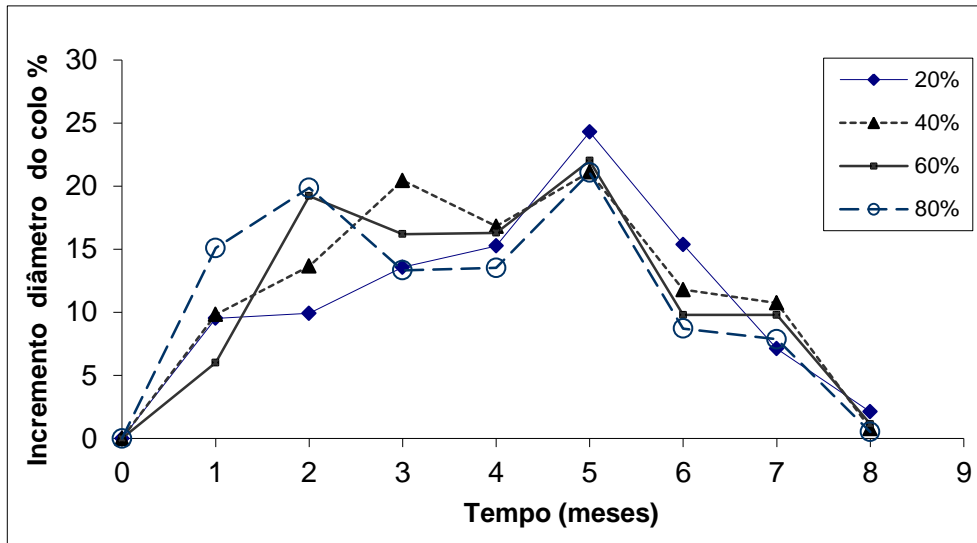


Figura 34 - Distribuição do crescimento relativo em diâmetro para as diferentes disponibilidades hídricas para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

A distribuição dos incrementos em diâmetro do colo é maior nos dois meses iniciais para as altas saturações. Já as plantas submetidas a menor disponibilidade hídrica, deslocam seus maiores incrementos para o fim da estação de crescimento.

Esta situação é discordante dos resultados de Sterba (1990), que mostra uma redução e concentração do período de crescimento em sítios mais pobres em fertilidade e de menor umidade do solo, entretanto estes resultados comparam florestas adultas de sítios em diferentes altitudes e tipos de solo. Por outro lado, o comportamento intranual com fatores controlados apresenta um desafio para florestas adultas, a temperatura tem um papel fundamental no desenrolar do crescimento das árvores, como estudado por Ahas *et al.* (2002), Cayan *et al.* (2001), Menzel *et Fabian* (1999) e Myneni *et al.* (1997).

Estudos levando em conta unicamente a disponibilidades de água no comportamento da distribuição do crescimento, não foram encontrados durante a pesquisa bibliográfica realizada. O deslocamento da distribuição do incremento do diâmetro do colo em baixas saturações pode ser atribuído à combinação de quantidade reduzida de água no solo e as altas temperaturas nos meses de verão, criando assim condições inadequadas para o crescimento vegetativo, vindo este a ser retomado nos meses de outono com maior magnitude.

4.6 Produção de matéria seca

4.6.1 Matéria seca total

A análise de variância (Tabela 24) mostra que houve alta significância da disponibilidade hídrica ($P < 0,0001$) com a produção de matéria seca, o efeito do preparo do solo foi significativo, porém em menor magnitude de significância, ($P = 0,0136$). A interação entre os fatores saturação hídrica e preparo do solo foi significativa ($P = 0,0001$), mostrando que houve resposta diferente para uma mesma disponibilidade hídrica em solos diferentes

Tabela 24 - Análise de variância para a massa seca total para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Solo	3	11489,8	3829,9	3,88	0,0136
Saturação	1	50905,8	50905,8	51,59	<,0001
Saturação*solo	3	24838,3	8279,4	8,39	0,0001
Modelo	7	85658,3	12236,8	12,44	<,0001
Erro	56	55259,3	976,7		
Total	63	140917,44			

Em que: F.V.= Fonte de variação; G.L.= graus de liberdades.; SQ= soma de quadrados, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade.

Como mostra o *boxplot* da Figura 35, apresenta a massa seca total em função dos tratamentos, com os maiores valores para altas saturações e presença de adubo NPK no solo, e também os valores menores nas saturações de 20% nos preparos de solo com acículas e testemunha. Os tratamentos mais afetados por mortalidade, 5, 6, 9, e 10, apresentaram as menores massas com amplitudes consideráveis, com destaque para o tratamento 5, que representa a massa das mudas logo após o plantio.

Nos tratamentos 7 e 8, de alta disponibilidade hídrica (60 e 80%, respectivamente) tiveram grandes amplitudes de suas massas secas totais, isto representado pelo tamanho da área interquartílica do seu conjunto de dados no gráfico *boxplot*.

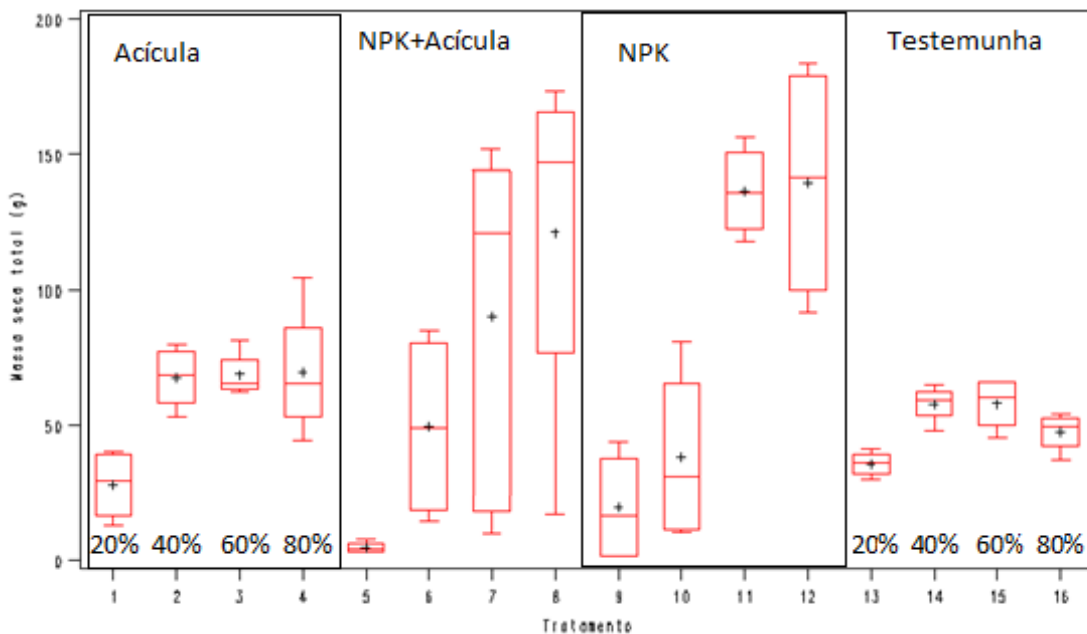


Figura 35 - Boxplot da massa seca total por tratamento, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013

Em que: Tratamentos de 1 à 4; Preparo de solo com adição de acículas com disponibilidades hídricas crescente de 20 à 80%. Tratamentos de 5 à 8; Preparo do solo com adição de acículas e NPK, com disponibilidades hídricas crescentes de 20 a 80%. Tratamentos 9 a 12; Preparo de solo com NPK, com disponibilidades hídricas crescentes de 20 à 80%. Tratamentos 13 a 16; Solo testemunha com disponibilidades hídricas crescentes de 20 à 80%.

A Figura 36 representa a tendência do comportamento do acúmulo de massa seca total ao fim de 13 meses de crescimento na qual se confirma a interação do preparo do solo com a disponibilidade hídrica. Observa-se que os tratamentos testemunha e adição de acículas tem menores massas secas em condições de maior disponibilidade hídrica quando comparados aos tratamentos com adição de

fertilizante químico NPK. Constata-se também pelo Figura 36 que os ângulos dos modelos dos tratamentos com e sem NPK diferem, o que significa que o aumento da quantidade de água disponível reflete em um acúmulo de matéria seca em proporções diferentes.

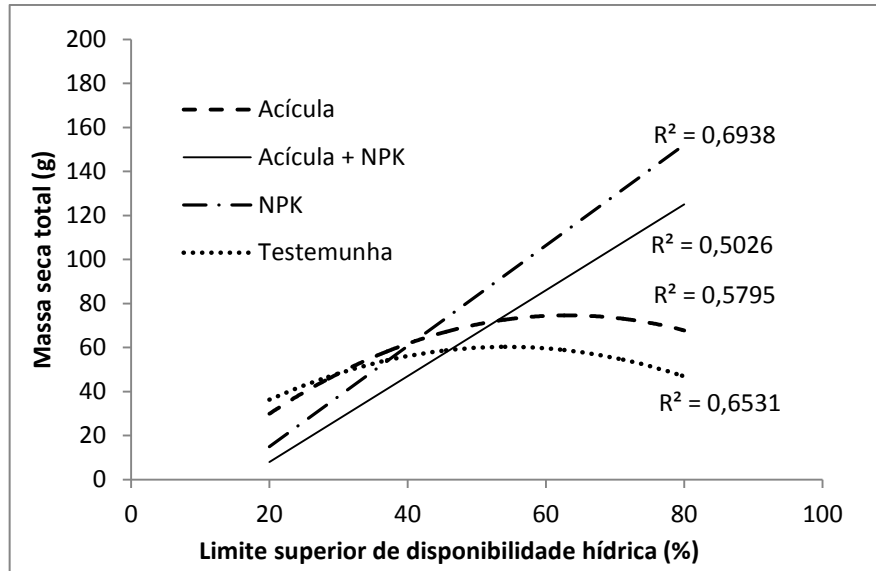


Figura 36 - Modelos de regressão para massa seca total em função da disponibilidade de água para os diferentes preparos de solo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Na Tabela 25 consta o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade, para as massas secas totais dos tratamentos, observa-se que os tratamentos altamente atingidos por mortalidade, como por exemplo, o 5 e 9 apresentam massas muito inferiores, pois esta média inclui os indivíduos plantados para repor as plantas mortas, sendo os primeiros mudas em tubetes.

Tabela 25 - Teste de médias para massa seca total, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Código do tratamento	Tratamento	Médias
12	NPK 80%	139,5 a*
11	NPK 60%	136,4 ab
8	Acícula + NPK 80%	121,2 abc
7	Acícula + NPK 60%	90,1 abcd
4	Acícula 80%	69,7 abcde
3	Acícula 60%	68,7 abcde
2	Acícula 40%	67,4 abcde
15	Testemunha 60%	58,0 bcde
14	Testemunha 40%	57,8 bcde
6	Acícula + NPK 40%	49,3 cde
16	Testemunha 80%	47,3 cde
10	NPK 40%	38,3 de
13	Testemunha 20%	35,7 de
1	Acícula 20%	28,0 de
9	NPK 20%	19,7 de
5	Acícula + NPK 20%	4,8 e

Em que:* Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes. P=0,05

Durante a execução da retirada das plantas dos vasos para a separação dos componentes vegetais, percebeu-se que as raízes nos tratamentos contendo fertilização química, não se desenvolviam com o mesmo vigor na parte basal do vaso. Este comportamento pode ser observado nas Figuras 38 e 39. Entretanto nota-se que nos tratamentos com acículas e testemunha (Figura 37 e 40, respectivamente), o desenvolvimento das raízes, mesmo que mais finas, ocorre normalmente na parte inferior do vaso. A mortalidade e desenvolvimento anormal de raízes nos tratamentos com NPK levantou a suspeitas que a concentração de sais atingiu níveis prejudiciais e até letais.

Com o resultado da análise da eletrocondutividade das amostras de solo nas posições inferior e superior do vaso, apresentado na Tabela 27, constata-se que a concentração de sais na parte inferior chega a ser 20 vezes a da posição superior, confirmando assim que a concentração de sais levou a um desenvolvimento anormal e heterogêneo do sistema radicular.

Tabela 26 – Concentrações de sais nos vasos apresentando má distribuição das raízes, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Preparo do solo	Saturação (%)	Vaso	Posição	Sais mg/L ⁻¹	Preparo do solo	Saturação (%)	Vaso	Posição	Sais (mg/l ⁻¹)	
NPK+AC	40	21	Sup.	1446	NPK	60	41	Sup.	114	
NPK+AC	40	21	Inf.	2892	NPK	60	41	Inf.	2760	
NPK+AC	60	25	Sup.	204	NPK	60	43	Sup.	114	
NPK+AC	60	25	Inf.	3342	NPK	60	43	Inf.	3456	
NPK+AC	60	27	Sup.	360	NPK	60	44	Sup.	174	
NPK+AC	60	27	Inf.	3114	NPK	60	44	Inf.	3786	
NPK+AC	80	29	Sup.	132	NPK	80	46	Sup.	96	
NPK+AC	80	29	Inf.	1662	NPK	80	46	Inf.	3462	
Média Trat. NPK+AC.				Sup.	536	Média Trat. NPK			Sup.	124
				Inf.	2752,5				Inf.	3366

Em que: Sup.= superior; Inf.= inferior.

Na Tabela 4 constata-se que a concentração de sais calculados pelos teores das análises de solo, serapilheira e quantidade de fertilizante somados chegam a 2013, e 2549mg/l⁻¹ para os preparos de solo com NPK e NPK mais acículas, respectivamente. A redistribuição dos sais nos vasos foi devida a água acumular-se preferencialmente no fundo do vaso, criando um gradiente de saturação decrescente até a superfície do solo, embora que no mesmo haviam orifícios para a drenagem, esta não ocorreu, pois o solo sempre foi mantido abaixo da capacidade máxima de retenção de água. Aliado a isto, a evaporação da água é maior na parte superior do vaso, em contato com a atmosfera, também, durante a irrigação a frente de molhamento transporta os sais para a parte basal. Com sucessivos ciclos de irrigação e transporte de sais, ocorreu a acumulação de sais em um nível prejudicial na parte inferior do vaso.

Observa-se que os tratamentos com saturações hídricas de 60 e 80% tiveram concentrações na parte inferior do vaso em média superiores a da estabelecida inicialmente, nesses tratamentos onde a quantidade de água disponível para solubilizar estes elementos é maior, houve um efeito negativo no desenvolvimento das plantas, mesmo que não refletido na parte aérea, visível nas raízes após a conclusão do experimento. Contudo, nos tratamentos com menor saturação, com

uma menor quantidade de água para solubilizar os sais, a concentração destes elementos deve ser ainda superior à registrada, criando condições extremamente desfavoráveis explicando assim a grande mortalidade dos tratamentos com presença de fertilizante NPK aliado a baixa disponibilidade hídrica.

O efeito da concentração de sais na distribuição das raízes, aparentemente não refletiu um comprometimento significativo, peso total das raízes, em relação aos outros tratamentos, um gráfico *boxplot* do peso seco das raízes por tratamento pode ser encontrado no Anexo X.



Figura 37 - Plantas representando os tratamentos 1, 2, 3 e 4, preparo de solo com adição de acículas com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de *Pinus elliotii*. Santa Maria, 2013



Figura 38 - Plantas representando os tratamentos 5, 6, 7 e 8, preparo de solo com adição de acículas e NPK com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de *Pinus elliotii*. Santa Maria, 2013.



Figura 39 - Plantas representando os tratamentos com preparo de solo com adição de NPK com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de *Pinus elliotii*. Santa Maria, 2013.



Figura 40 - Plantas representando os tratamentos 9, 10, 11 e 12, preparo de solo com solo testemunha com 20, 40, 60 e 80% de disponibilidade hídrica, respectivamente, para o cultivo de *Pinus elliotii*. Santa Maria, 2013.

4.7 Consumo e eficiência no uso da água

4.7.1 Consumo hídrico

Para a avaliação da eficiência do uso da água pelas plantas, a irrigação fornecida às plantas foi contabilizada em peso por tratamento, e então transformada em milímetros, para melhorar sua representação.

Observando a Figura 41, vemos que os tratamentos com maiores saturações apresentaram maiores “precipitações”, com exceção dos tratamentos com solo testemunha (tratamentos 13, 14 15 e 16), com precipitações muito próximas às saturações de 40, 60 e 80%. Isto se deveu que a irrigação era feita em função da perda de água do vaso, por transpiração da planta e evaporação do solo. A irrigação efetuada a cada dois dias nos tratamentos de 20 e 40 %, cuja presença de água na parte superior do vaso durante maior tempo, facilitou sua evaporação quando comparado às saturações do solo de 60 e 80%, irrigados a cada quatro dias. O fato das massas totais desses tratamentos também serem próximas, e a *priori* com taxas de transpiração também próximas, pode ter contribuído com os valores de irrigação obtidos.

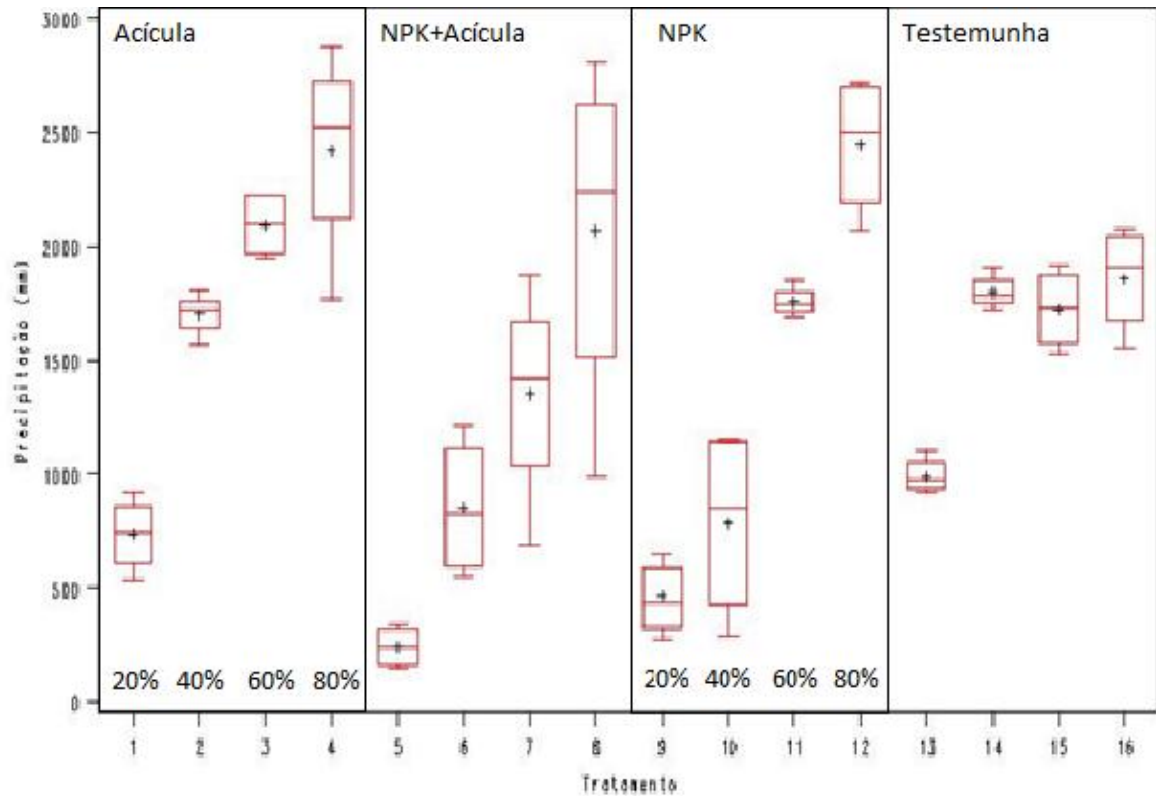


Figura 41 - *Boxplot* da Irrigação em milímetros por tratamentos.

Em que: Tratamentos de 1 a 4; Preparo de solo com adição de acículas com disponibilidades hídricas crescente de 20 a 80%. Tratamentos de 5 a 8; Preparo do solo com adição de acículas e NPK, com disponibilidades hídricas crescentes de 20 a 80%. Tratamentos 9 a 12; Preparo de solo com NPK, com disponibilidades hídricas crescentes de 20 a 80%. Tratamentos 13 à 16; Solo testemunha com disponibilidades hídricas crescentes de 20 a 80%.

Na Figura 42 observa-se a distribuição da transpiração em total semanal, para indivíduos representativos de saturações de solo de 20, 40, 60 e 80%. Observa-se que até a décima semana, os valores estimados de transpiração são negativos, não refletindo a fisiologia da planta de maneira adequada. Isto se deveu ao fato que no momento do plantio, os vasos encontravam-se próximos à saturação máxima, tendo assim taxas de evapotranspirações maiores de as estabelecidas para as saturações definida pelo tratamento, além da planta ser de dimensões ainda modestas, e consumindo assim quantidades reduzidas de água, sendo de difícil sua mensuração com a balança usada.

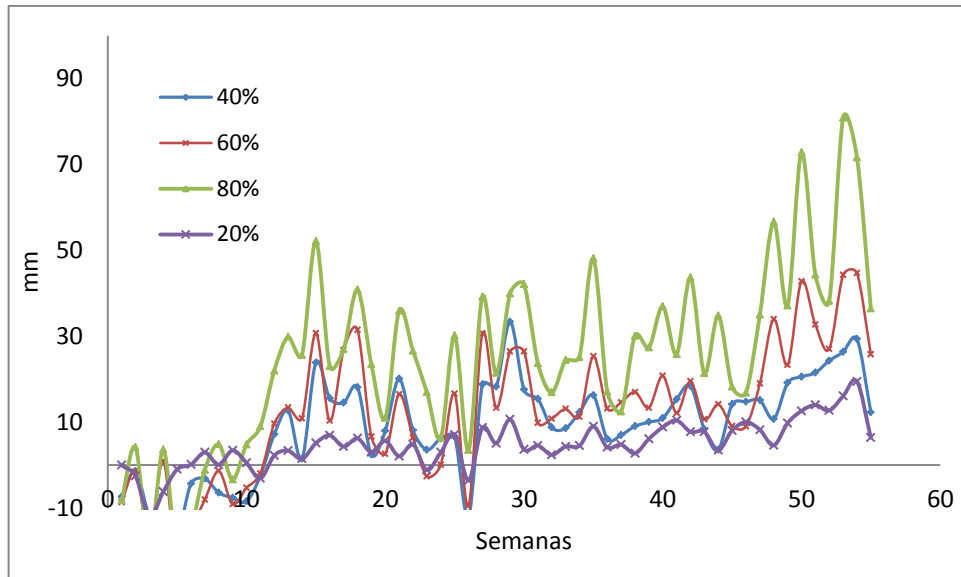


Figura 42 - Transpiração semanal de indivíduos submetidos a diferentes disponibilidades hídricas durante o experimento, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013

Observa-se que na maior parte dos momentos a transpiração é maior na maior saturação do solo, de 80%, e seguindo decrescendo conforme a diminuição desta. Em alguns momentos vemos que tratamentos com saturações de 40% tem transpiração maior que plantas submetidas à disponibilidade de 60%.

Na Figura 43, observam-se os valores de perda total de água do vaso, expresso pela evapotranspiração, e o usado pela planta na transpiração. Novamente notam-se valores estimados de evaporação negativos até a décima semana, principalmente para a saturação de 80%. É possível observar uma maior diferença existente na transpiração e na evapotranspiração durante o primeiro período de crescimento, vindo a se aproximarem nos meses de inverno, devido a menor demanda evaporativa da atmosfera e das plantas.

A partir da 46ª semana, com a chegada da primavera e elevação das temperaturas, o consumo de água por evaporação e transpiração aumentou consideravelmente quando comparado aos meses de verão anteriores. Isto ocorreu devido às condições climáticas do período de crescimento acelerado e a maior massa das plantas, também se observou-se uma maior proporção da água usada na transpiração, pela proximidade das linhas de transpiração e evapotranspiração, mostrando o aumento do uso da água disponível com o aumento em massa da

planta, em consequência da maior colonização do solo por raízes para suprir esta demanda.

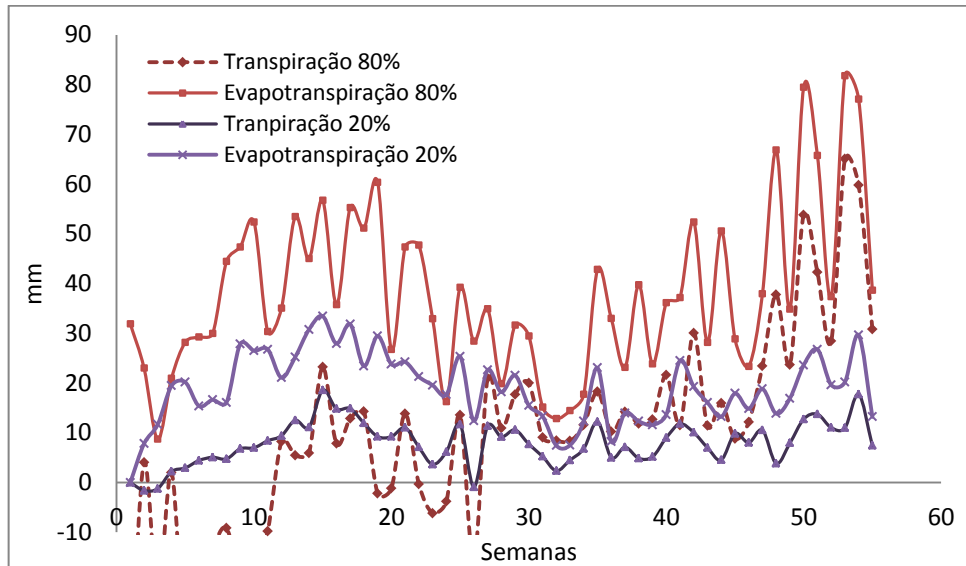


Figura 43 - Evapotranspiração e transpiração semanal dos indivíduos submetidos aos extremos de disponibilidades hídricas durante o experimento, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013

Shunguo (1989), em florestas de *Pinus sp.* na região de Beijing, na China, encontraram valores totais de transpiração durante o período de crescimento entre 178,5 e 360,1 mm. No presente experimento foram encontrados valores totais de transpiração de 47,1 à 670,2 milímetros com valor médio de 296,6 mm por planta.

Os estudos de Wei *et al.* (2003) apontam resultados de transpiração de povoamentos de *Larix sp.* em média de 0,64 mm por dia, totalizando uma quantia semanal de 4,48 milímetros, valor inferior ao encontrado neste trabalho, aproximando-se mais da transpiração ocorrida na saturação do solo de 20%. Porém, deve se ressaltar que os valores encontrados por Wei *et al.* (2003) refere-se uma floresta de clima temperado continental no interior da China.

4.7.2 Eficiência no uso da água

Com os dados de irrigação e de peso seco, estabeleceu-se a relação de eficiência entre a água disponibilizada e a quantidade de matéria seca produzida. Ao utilizarmos diretamente valores de precipitação para avaliação da eficiência no consumo de água, sem considerar a diferença na evaporação do solo em função da saturação do solo, cujo resultado pode ser visto no gráfico do Anexo XI, no qual observa-se a semelhança na quantidade de água necessária para produzir um grama de matéria seca para todos os tratamentos, com uma média entre 30 e 40 mm por grama de massa seca, em tratamentos não atingidos por mortalidade.

Com a metodologia descrita na secção 3.3.1, foi possível calcular a quantidade de água evapotranspirada pelo conjunto solo mais planta, e a estimativa de sua transpiração, através diferença do valor de perda total e o valor estimado de evaporação do solo.

Na Tabela 27 observa-se o resultado do uso de água transpirada para a produção de um grama de matéria seca, a Figura 43 faz representação destes valores. Constata-se que as plantas submetidas a uma menor disponibilidade hídrica têm melhor eficiência em seu uso, ou seja, necessitam de uma menor quantidade de água transpirada para criar a mesma quantidade de matéria seca. Os tratamentos contendo NPK no preparo do solo foram claramente mais eficientes no uso da água, mesmo em maiores disponibilidades de água. Também, pode ser constatado que os tratamentos testemunha têm valores superiores aos dos tratamentos com NPK, demonstrando o aumento da eficiência nos solos com adição de fertilizante químico, conforme mostra a Figura 43.

Tabela 27 - Teste de médias para a eficiência do uso de água, em milímetros por grama de matéria seca, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Trat.	Preparo do solo	Saturação. (%)	Numero de observações.	Média
6	NPK+ Acícula	40	3	2,4 a
9	NPK	20	2	3,8 ab
11	NPK	60	3	3,9 ab
7	NPK+ Acícula	60	3	4,3 ab
1	Acícula	20	4	4,7 abc
10	NPK	40	2	6,1 abcd
8	NPK+ Acícula	80	4	6,9 abcd
12	NPK	80	4	7,9 abcde
13	Testemunha	20	4	9,4 bcdef
2	Acícula	40	4	9,6 bcdef
16	Testemunha	80	4	10,4 cdef
15	Testemunha	60	4	10,7 cdef
14	Testemunha	40	4	10,8 def
3	Acícula	60	4	13,3 ef
4	Acícula	80	4	14,2 f

Em que: * As médias com a mesma letra não são significativamente diferentes. P=0,05

A disponibilidade de nutrientes nos preparos de solo com NPK reduziu a necessidade de uso de água pelas plantas, uma vez que os nutrientes encontram-se dissolvidos em maior quantidade, quando comparado aos tratamentos testemunha e acículas, necessitam de usar uma grade quantidade de água para absorver a mesma quantidade de nutrientes, estes presentes em quantidade muito inferior na solução do solo.

A menor quantidade de água usada para assimilação de matéria seca nos tratamentos de menor disponibilidade hídrica, mostra nos que esta é uma espécie resistente a um regime severo de déficit hídrico, sua adaptação a esta situação, fez com que a água, mesmo que pouco disponível, fosse aproveitada da melhor maneira possível, mesmo que em consequência, um desenvolvimento significativamente menor, nos caso da saturação de 20%.

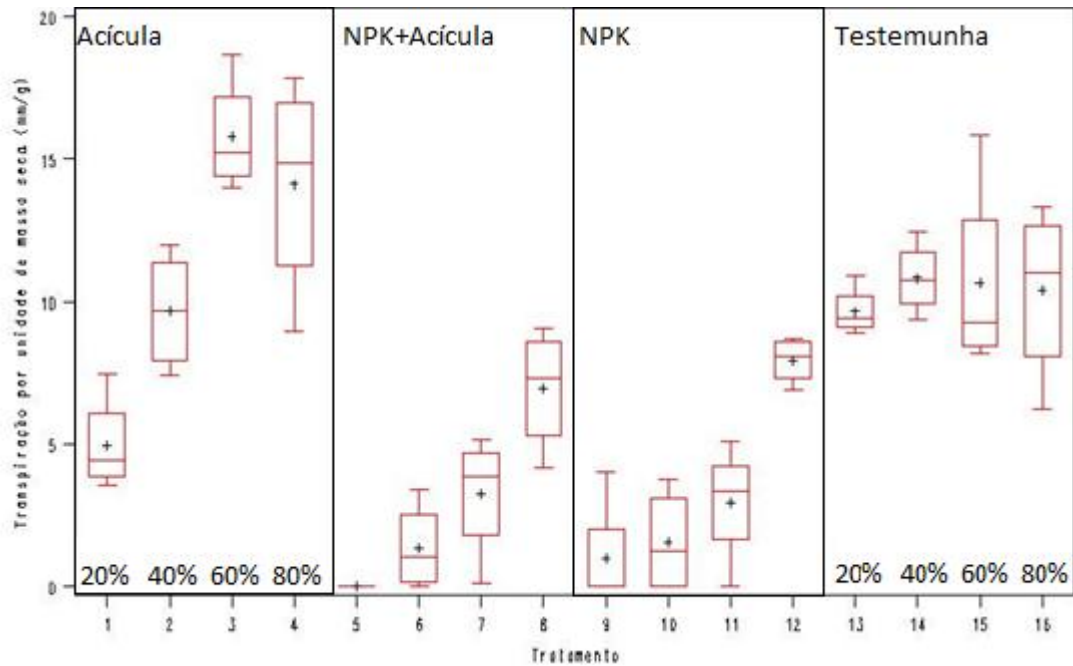


Figura 44 - Boxplot da transpiração em milímetros para cada unidade de massa seca, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

A Figura 45 representa a relação entre a matéria seca total dos indivíduos e seu uso total de água por transpiração. Também, verifica-se uma maior capacidade de produção de matéria seca com uma mesma quantidade de água transpirada, dos tratamentos contendo adubação NPK, chegando estes a serem até 100% mais eficientes.

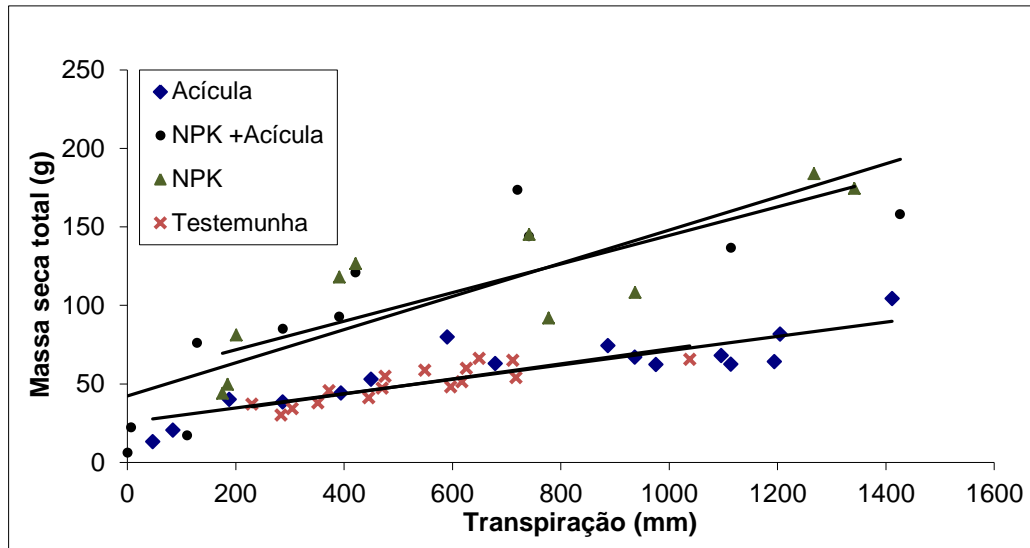


Figura 45 - Eficiência do uso da água para assimilação de massa seca total, por tratamento de solo, para o cultivo de *Pinus elliotii*. Santa Maria, 2013

Estudos realizados por Pearson (1924), sobre a transpiração de coníferas da América do Norte, obteve valores médios de 440, 395,7, 381, e 359 de gramas de água transpirada para a assimilação de um grama de matéria seca, para as espécies *Pinus aristata*, *P. scopulorum*, *Pseudotsuga taxifolia* e *Picea engelmanni*, respectivamente. Estas plantas possuíam dimensões semelhantes, porém com idades de dois a cinco anos, e foram conduzidas em vasos metálicos de três litros.

No presente estudo a variação da quantidade de água para a produção de um grama de matéria seca foi de 132 a 392 gramas nos tratamentos com adição de acículas decompostas e testemunha, respectivamente, com todas as disponibilidades hídricas. Para os preparos de solo com NPK, foram de 117 a 221 gramas, respectivamente. Tendo havido um valor menor de produção de matéria seca em consequência dos diferentes preparos de solo.

Em experimento realizado por Li (2000), em ambiente controlado com mudas de *Eucalyptus microtheca*, sob déficit hídrico encontrou-se valores de eficiência do uso da água significativamente superiores para as mudas submetidas a déficit hídrico. Colaborando com estes resultados, Smit e Driessche (1992), encontraram valores de maior eficiência de uso da água para *Pseudotsuga mearnsii* e *Pinus contorta*, em situações de menor quantidade de água no solo.

Ao Observar os resultados referentes a sobrevivência e eficiência do consumo hídrico, ressalta-se a capacidade de adaptação desta espécie a um ambiente de baixa disponibilidade de água no solo, de maneira constante em um período de um ano, frisando também a baixa fertilidade do solo, como exemplificado no tratamentos de solo testemunha. Estas respostas a essas condições refletem a capacidade do uso de *P. elloittii* na colonização e recuperação de áreas arenizadas sem adição de matéria orgânica ou fertilizante químico, sobrevivendo, mesmo com crescimento modesto, em condições adversas.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados deste trabalho pode se concluir que:

- a) Os preparos de solo contendo NPK afetam a sobrevivência das mudas, especialmente nas saturações do solo de 20 e 40%.
- b) A disponibilidade hídrica afeta a altura de planta e seu incremento, o diâmetro de colo e incremento deste é influenciado pela disponibilidade hídrica e por sua interação com o solo.
- c) Os preparos de solo acícula e testemunha concentraram os incrementos no início do período de crescimento em altura em relação aos tratamentos com NPK.
- d) A baixa disponibilidade de água alterou a distribuição dos incrementos relativos em diâmetro do colo.
- e) O consumo hídrico foi maior nas plantas submetidas a maiores disponibilidades de água no solo, porém, a eficiência de uso da água aumenta com diminuição da disponibilidade hídrica e também com a presença de fertilizante NPK.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2007 — Ano-Base 2006. Brasília: **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas**, 2007. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>

AB'SÁBER, A. N. Redutos Florestais, Refúgios de Fauna e Refúgios de Homens. **Revista de Arqueologia**, São Paulo, v. 8, n. 2, 1994-1995.

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.

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

AHAS, R.; AASA, A.; MENZEL, A. Changes in European spring phenology. **International Journal of Climatology** Londres, n. 22, p. 1727–1738, 2002.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon press. 506 p, 1970.

BARKER, A. V.; MILLS, H. A. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops. **Horticultural Review**, Westport CT, v. 2, p. 395-423, 1980.

BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. Relação solo-eucalipto. **Folha de Viçosa**, Viçosa, p. 127-181,1990.

BRONCANO, M. J.; RIBA, M.; RETANA, J. Seed germination and seedling performance of two Mediterranean tree species, holm oak (*Quercus ilex* L.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.): a multifactor experimental approach. **Plant ecology**, Oxford, n. 138, p. 17-26. 1998.

BURIOL, G. A.; STRECK, N. A.; PETRY, C.; SCHNEIDER, F. M. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. i, p. 1-4, 1995.

BURLEY, J. Review of variation in slash pine (*P. elliotii* Engelm.) and loblolly pine (*P. taeda* L.) in relation to provenance research. **Community forest review** Raleigh, North Carolina. n. 45, p. 322-338. 1966

CAYAN, D. R.; KAMMERDIENER, S. A.; DETTINGER, M. D. Changes in the onset of spring in the western United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, n. 82, p. 399-415. 2001.

COELHO, P. A. Descrição preliminar de *Munida brasiliaen* sp. do Norte e Nordeste do Brasil (Crustacea: Decapoda: Galatheididae). **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 25, n. 6, p. 344-344, 1973.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; ARAÚJO, W. L. Efeito do nitrato e amônio sobre o crescimento e eficiência de utilização do nitrogênio em mandioca. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 467-475, 2006.

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.

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.

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. **The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum**, Riyadh, 2008.

ELESBÃO, L. E. G., **Performance do *pinus elliotii* engelm. E *pinus Taeda* L. Em áreas arenizadas e degradadas No oeste do Rio Grande do Sul**. 2011. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011

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

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.

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 ESALQ-USP) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

GRUBB, P. J. Control of Forest Growth and Distribution on Wet Tropical Mountains: With Special Reference to Mineral Nutrition. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto CA, v. 8, p. 83-107, 1977.

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**, Fort Collins CO, n. 180, p. 335–344, 2003

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.

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

KOZLOWSKI, T. T.; **Growth and development of Trees**. Academic Press, v. 1, Nova York, 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.

FISCHER, R. F.; GARBETT, W. S.; UNDERHILL, E. M. Effects of fertilization on healthy and pitch canker infected pines. **Southern journal of applied forestry**, Bethesda MD, v. 5, n. 2, p. 77-79, 1981.

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

LANNER, R. M. The phenology and growth habits of pines in Hawaii. US forest service. **Research paper**, PSW 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. **Proceedings of the third North American forest soil conference**. Raleigh, North Carolina, p. 97-118, 1968.

LI, C. Population differences in water-use efficiency of *Eucalyptus microtheca* seedlings under different watering regimes. **Physiologia Plantarum**, Helsinki, n. 108, p. 134–139, 2000.

LOHREY, R. E.; KOSSUTH, S. V. **Sylvics of forest trees of the United States**. USDA, 1965.

LOLA DA COSTA, A. C. et al. Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. **New Phytologist**, Atlantic City NJ, n. 187, p. 579-591, 2010.

LU, D., MORAN, E.; MAUSEL, P. Linking amazonian secondary succession forest growth to soil properties. **Land Degradation & Development**, Atlantic City NJ, n. 13, p. 331-343, 2002.

MALHI, Y. et al. The aboveground coarse wood productivity of 104 neotropical forest plots. **Global Change Biology**, Urbana IL, n. 10, p. 563-591. 2004.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macronutrients. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. p. 231-255.

MARTÍNEZ-TRINIDAD, T; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; MUÑOZ-OROZCO, A.; LÓPEZ-UPTON, J. Respuesta al déficit hídrico em *Pinus leiophylla*: consumo de agua y crecimiento em plántulas de diferentes poblaciones. **Agrociencia**. Texcoco, 36, n. 3, Mayo-Junio. 2002.

MATSUMOTO, K.; OHTA, T.; IRASAWA, M.; NAKAMURA, T. Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. **Global Change Biology**, Urbana, IL, v. 9, p. 1634–1642, 2003.

MCGREGOR, W. H. D.; GOEBEL, N. B. Effectiveness of nitrogen fertilizers and mulch for amelioration severe planting sites. **Proceedings of the third north American forest soil conference**. Raleigh, North Carolina, EUA. p. 65-72. 1968.

MENZEL, A.; FABIAN, P. Growing season extended in Europe. **Nature**, Londres, v. 397, p. 145, 1999.

MOLINA, R.; TRAPPE, J. M. Mycorrhiza Management in Bareroot Nurseries. Forestry Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. **Forestry sciences**. v. 11, p. 211-223, 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.

MYNENI. R. B.; KEELING. C; D.; TUCKER, C. J. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. **Nature**, Londres, v. 386, p. 698–702. 1997.

NATH, D. C. et al. 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.

PEARSON, G. A. Studies in Transpiration of Coniferous Tree Seedlings. **Ecology**, Washington, v. 5, n. 4, p. 340-347, 1924.

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.

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

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F. Desenvolvimento do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus tereticornis* consorciado com plantas de cobertura em solos degradados por arenização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, jan./fev. 2008.

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.

SAS. A simple regression model with correction of heteroscedasticity. Cary NC: SAS Institute, 2009.

SAS. The SAS/STAT 9.22 user's guide. Cary NC: The SAS Institute, 2013.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: Ed. da FACOS, 2008. 566 p.

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.

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 & Environment**. Helsinki: vol.10 (2): p. 884-890. 2012.

SHUNGUO, Y. A research on the water conserving function of the Chinese pine in the forest of Qiaoshan mountain. **Journal of Soil and Water Conservation**. Ankeny, IA, n. 2 1989.

SMIT, J.; DRIESSCHE, V. D. R. Root growth and water use efficiency of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) seedlings. **Tree physiology**, Oxford, n. 11, p. 401-410, 1992.

SQUILLACE, A. E. Geographic variations in slash pine. **Forest science monographs**. n. 10. 1966.

STERBA, H. Waldschaden und Zuwachs, *in* **Internationaler Kongress Waldschadenforschung. Wissenstand und Perspektiven**. Ed. B Ulrich. p. 61-80. Kremforschungsanstalt Karlsruhe GmbH, 1990

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed., Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 215p (Boletim Técnico, 5).

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.

YANG, R. C. Foliage and stand growth responses of semimature lodgepole pine to thinning and fertilization. **Canadian journal of forestry research**, Ottawa, v. 28, n. 12, p. 1794-1804, 1998.

WEETMAN, G. F.; DALLAIRE, L. C.; FOURNIER, R. Long-term effects of repeated N fertilization and straw application in a jack pine forest: Twenty-two-year growth response. **Canadian Journal of forest research**. Ottawa v. 25, n. 12, p. 1978-1983. 1995.

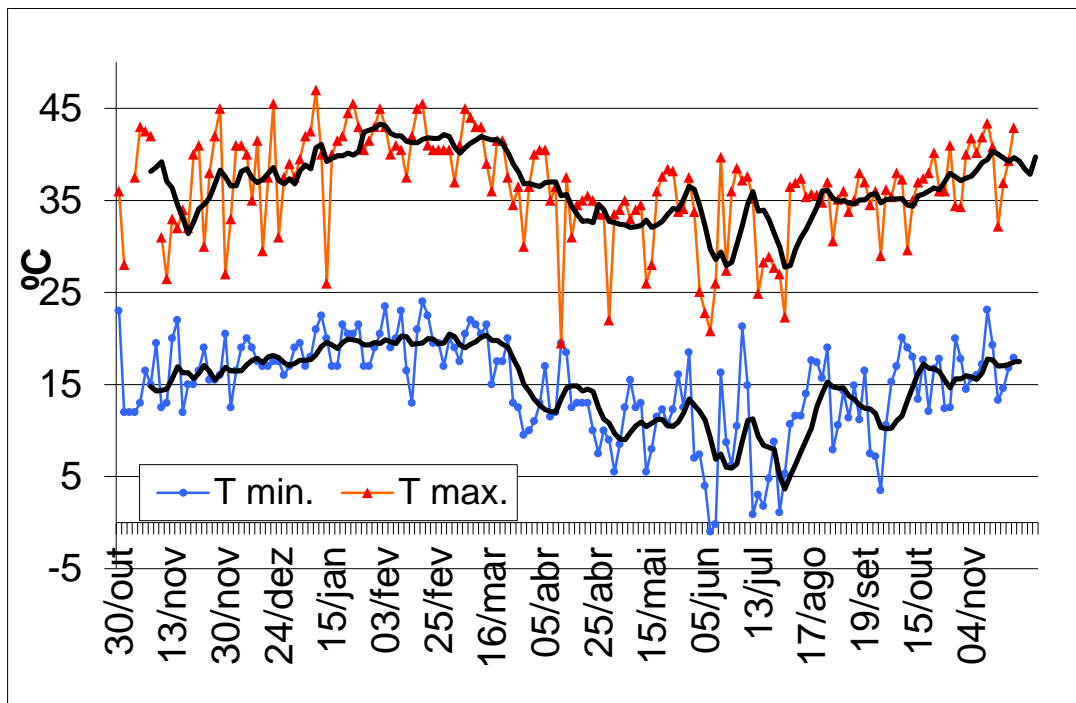
WEI, X.; WANG, Y.; DEYING, U. Regulations of water use for transpiration of *Larix principis-rupprechtii* plantation and its response on environmental factors in southern ningxia hilly area. **Scientia Silvae Sinicae**, Beijing, The Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, n. 2. 2003.

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.

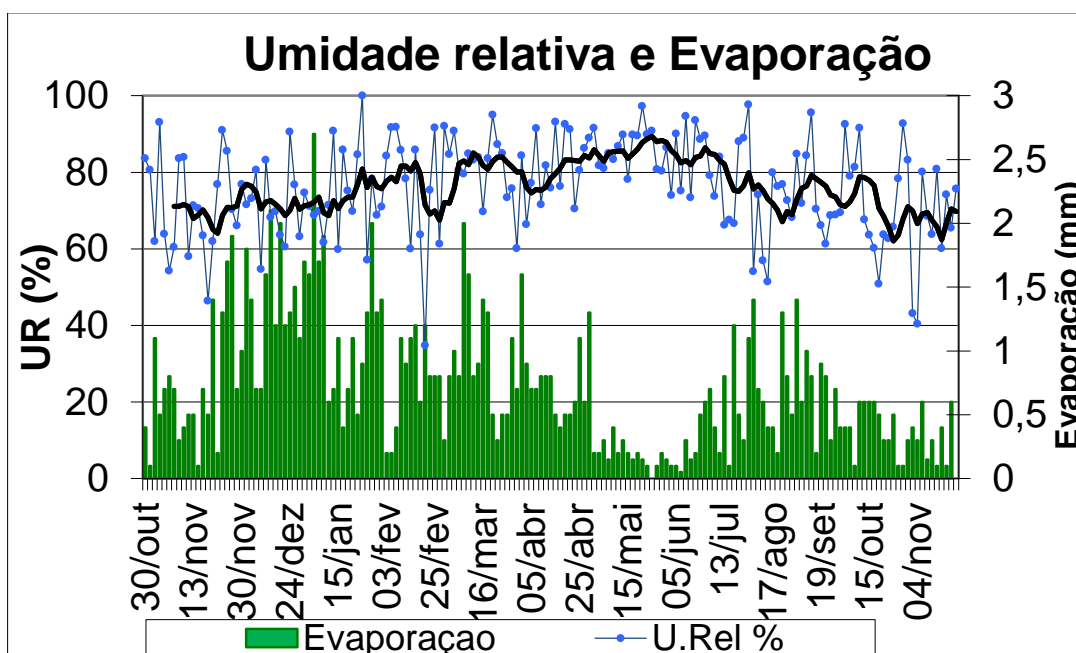
ZHANG, J. W. Z.; FENG, B. M.; CREGG; C. M. SCHUMANN... Carbon isotopic composition, gas exchange, and growth of three populations of ponderosa pine differing in drought tolerance. **Tree Physiology**. Oxford: n. 17. p. 461-466. 1997.

ANEXOS

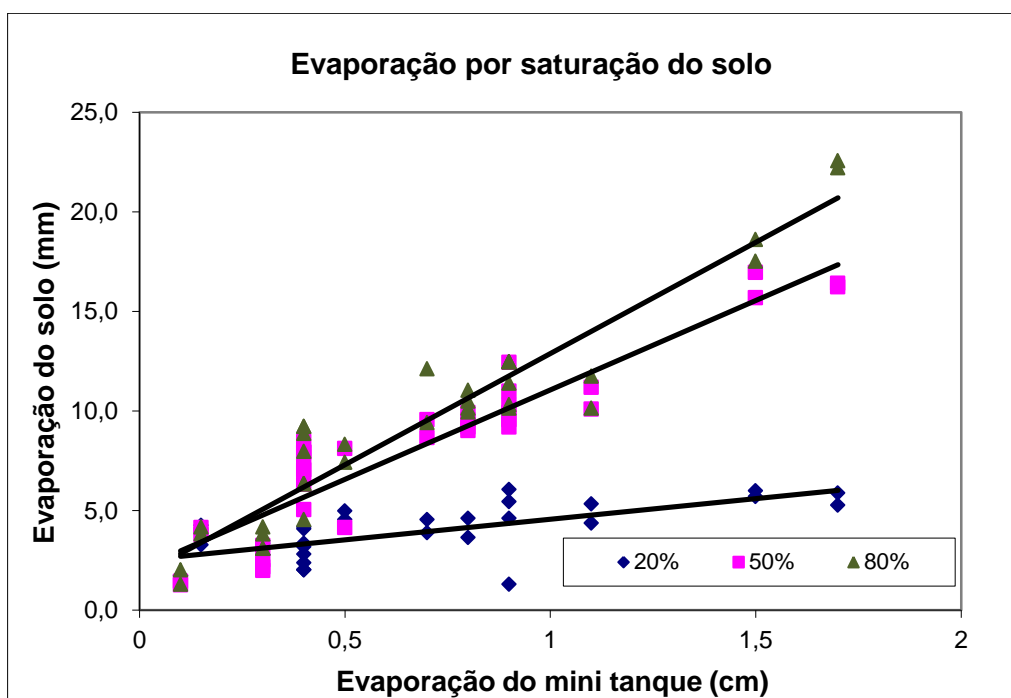
Anexo I - Temperaturas máximas e mínimas com registros pontuais de intervalos de 2 a 4 dias e a linha média durante o experimento, Santa Maria 2013.



Anexo II - Evaporação do mini tanque e umidade relativa do ar com registros pontuais de intervalos de 2 a 4 dias, e a linha média durante o experimento, Santa Maria 2013.



Anexo III - Perda de água por evaporação do vaso versus evaporação do mini tanque, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

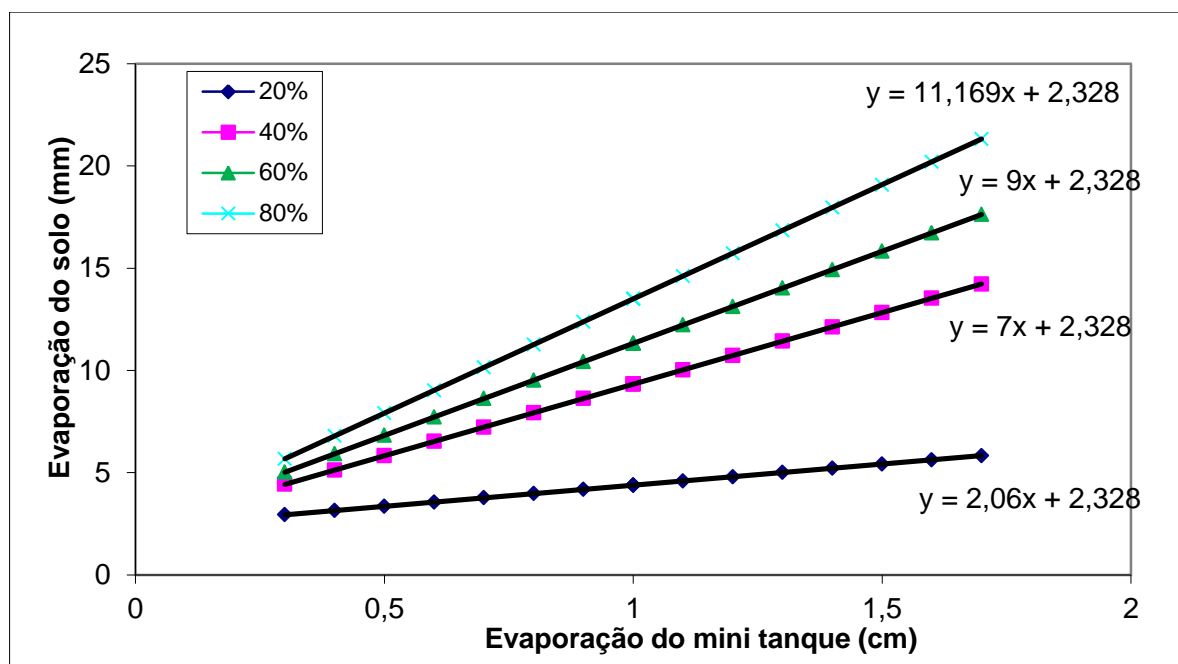


Anexo IV - Análise de covariância com variáveis “dummy” dos níveis de evaporação por saturação, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Parâmetro	Coeficiente	Erro padrão	t	Prob.> t
Intercepto	2,885	0,770	3,750	0,000
mm	11,182	0,552	20,270	<0,0001
d20 0	0,808	0,629	1,280	0,202
d50 0	0,382	0,628	0,610	0,544
d80 0	0	0	0	0
d50x	2,195	0,780	2,810	0,006
d20x	9,116	0,784	11,620	<0,0001
d80x	0	0	0	0

Em que: t= valor tabelado do teste t; Prob. = probabilidade

Anexo V - Representação das equações usadas para correção da perda de água e estimação da transpiração por saturação do solo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.



Anexo VI - Análise de variância para altura final de planta de *Pinus elliottii* cultivado em diferentes preparos de solo e níveis de saturação, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

F.V.	G.L.	SQ	QM	F	Prob.>F
Solo	3	358,83	119,61	0,84	0,4775
Saturação.	1	3886,81	3886,81	27,40	<,0001
Solo*Saturação	3	953,14	317,71	2,24	0,0966
Modelo	7	6787,1	969,58	6,83	0,0001
Erro	45	6383,6	141,85		
Total	52	13170,1			

Em que: F.V.= Fonte de variação; G.L.= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade

Anexo VII - Análise da variância para o diâmetro do colo, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Prob.> F
Solo	3	13,18	4,39	0,77	<,5193
Saturação	1	207,63	207,63	36,17	<,0001
Saturação*Solo	3	53,17	17,72	3,09	0,0365
Modelo	7	706,5	100,9	17,58	<,0001
Erro	45	258,3	5,47		
Total	52	964,9			

Em que: F.V.= Fonte de variação; G.L.= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados, F = valor de F da ANOVA, Prob. = probabilidade

Anexo VIII - Teste de randomização do intercepto para diferentes preparos de solo nos modelo de incremento em diâmetros do colo por saturação, para o cultivo de *Pinus elliottii*, Santa Maria, 2013.

Efeito	Objeto	Estimado	Erro padrão	G.L	t	Prob. > t
Intercepto	Acícula	0,06758	0,09877	750	0,68	0,494
Intercepto	Acícula + NPK	-0,09993	0,103	750	-0,97	0,3324
Intercepto	NPK	-0,05267	0,1017	750	-0,52	0,6047
Intercepto	Testemunha	0,08501	0,09877	750	0,86	0,3897

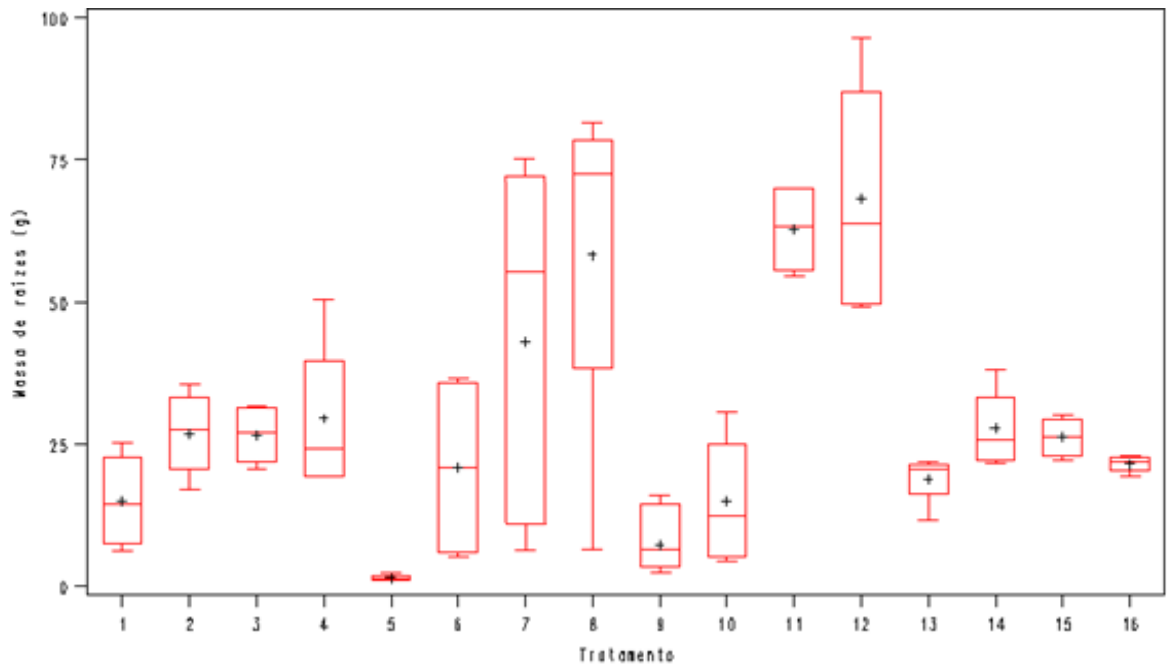
Em que: G.L.= graus de liberdade; t= valor tabelado do teste t; Prob. = probabilidade

Anexo IX - Teste de randomização do intercepto para diferentes preparos de solo nos modelo de incremento em altura por saturação, para o cultivo de *Pinus elliottii*, Santa Maria, 2013.

Efeito	Objeto	Estimado	Erro padrão	G.L	t	Prob. > t
Intercepto	Acícula	0,1204	0,5626	750	0,21	0,8306
Intercepto	Acícula + NPK	-0,3177	0,5818	750	-0,55	0,5851
Intercepto	NPK	-0,3238	0,576	750	-0,56	0,5741
Intercepto	Testemunha	0,5212	0,5626	750	0,93	0,3546

Em que: G.L.= graus de liberdade; t= valor tabelado do teste t; Prob. = probabilidade

Anexo X - Massa seca total das raízes por tratamentos, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.



Anexo XI - Uso da água de irrigação na produção de uma unidade de massa seca total, por tratamento, para o cultivo de *Pinus elliottii*. Santa Maria, 2013.

