

CAROLINE LOURENÇO MANZATO

**ESTADO HÍDRICO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* NA FASE DE
RUSTIFICAÇÃO IDENTIFICADO POR MEIO DE ESPECTROSCOPIA DE
INFRAVERMELHO PRÓXIMO E MÉDIO**

Botucatu

2022

CAROLINE LOURENÇO MANZATO

**ESTADO HÍDRICO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* NA FASE DE
RUSTIFICAÇÃO IDENTIFICADO POR MEIO DE ESPECTROSCOPIA DE
INFRAVERMELHO PRÓXIMO E MÉDIO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. José Raimundo de Souza Passos

Botucatu

2022

M296e

Manzato, Caroline Lourenço

Estado hídrico de mudas de *Eucalyptus urophylla* na fase de rustificação
identificado por meio de espectroscopia de infravermelho próximo e médio /
Caroline Lourenço Manzato. -- Botucatu, 2022

87 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: José Raimundo de Souza Passos

1. Viveiros florestais. 2. Estresse abiótico. 3. Estresse vegetal. 4. Espectro
infravermelho. 5. Análise espectral. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências
Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTADO HÍDRICO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* NA FASE DE RUSTIFICAÇÃO IDENTIFICADO POR MEIO DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO E MÉDIO

AUTORA: CAROLINE LOURENÇO MANZATO

ORIENTADOR: JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS (Participação Virtual)
Bioestatística Biologia Vegetal Parasitologia e Zoologia / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

Prof. Dr. RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Prof. Dr. MAURICIO ACCONCIA DIAS (Participação Virtual)
Engenharia / Centro Universitário Herminio Ometto de Araras

Prof.ª Dr.ª LIDIA RAQUEL DE CARVALHO (Participação Virtual)
Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

Dr. FELIPE GIOTTO CAMPOS (Participação Virtual)
Botucatu/SP /

Botucatu, 29 de abril de 2022

A Deus.

Aos meus pais Roberto e Cecília e

A minha irmã gêmea Beatriz

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e sobretudo agradeço a DEUS por estar sempre ao meu lado, por me mostrar em cada instante seu amor, sua força, sua luz em me guiar. Por ser meu amigo fiel em tempos difíceis e por me permitir sentir sua presença constante em minha vida.

Aos meus pais Roberto e Cecília e minha querida irmã gêmea Beatriz, por todo amor, por toda ajuda, pela compreensão, pelos conselhos, por sempre me ouvirem, por me ajudarem na parte prática desse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Raimundo de Souza Passos, por toda ajuda, pelos ensinamentos.

A Profa. Dra. Magali Ribeiro da Silva, pelos conselhos, ensinamentos, sugestões para a realização deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Maurício Acconcia Dias, Prof. Dr. Richardson Barbosa Gomes da Silva, Profa. Dra. Lidia Raquel de Carvalho, por todas as contribuições.

Ao Prof. Dr. Anderson Antônio da Conceição Sartori em que tive o privilégio de conhecer e ser meu orientador do mestrado, por me incentivar e me motivar a seguir a carreira acadêmica e pelos aprendizados na orientação acadêmica.

A todos os professores que de alguma forma me incentivaram e me motivaram a seguir pelo caminho da pesquisa científica.

À Rafaela Lanças Gomes e ao Felipe Giroto Campos por toda ajuda, pelas sugestões, pelo tempo disponível em ajudar.

Ao aluno Bruno Gonçalves de Paula pela ajuda na realização nas medições das variáveis morfológicas das mudas.

Ao Claudio (Claudinho) do viveiro da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), por toda ajuda, pelos conselhos, pelas dicas sugeridas a este trabalho.

Aos servidores da Seção Técnica de Pós-graduação e aos servidores da Biblioteca “Prof. Paulo de Carvalho Mattos” da FCA Unesp de Botucatu por toda a atenção que tiveram ao me auxiliarem em tudo que precisei durante o curso.

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisas Avançadas em Inteligência Artificial no Setor Agroflorestal (LINEAR) da FCA Unesp Botucatu, pela amizade e aprendizados. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Confie no Senhor de todo o teu coração e não te estribes no teu próprio entendimento” (BÍBLIA, Provérbios, 3,5).

BÍBLIA. A. T. Provérbios. In: BÍBLIA. **A Bíblia Sagrada**: contendo o antigo e o novo testamento. Traduzida em português por João Ferreira de Almeida: revista e corrigida, com índice do esboço temático e resumo dos livros. Várzea Paulista – SP: Casa Publicadora Paulista, 2021. p. 382.

RESUMO

O Brasil se destaca no cenário mundial por possuir excelente desempenho no setor florestal, fruto das condições climáticas e da tecnologia desenvolvida pelas empresas e instituições de pesquisa do país. Porém, um plantio florestal de qualidade e que atenda e supra a demanda por seus serviços é necessário obter mudas de qualidade e bem desenvolvidas. A obtenção de mudas com qualidade é possível, devido principalmente aos manejos hídrico e nutricional adotados nos viveiros florestais. Visando aumentar a produtividade no campo, é necessário fornecer às plantas condições nutricionais e hídricas ainda na fase de mudas, para que ao serem plantadas a campo obtenham maior êxito. Para tornar essas condições favoráveis às mudas, os viveiros florestais adotam medidas visando melhorar a taxa de sobrevivência das plantas após o plantio em campo. Essa prática é conhecida como rustificação, onde as mudas são preparadas para se aclimatarem as condições desfavoráveis de campo, com o intuito de se obter melhor desenvolvimento e sobrevivência. Entretanto, no processo de irrigação há um alto consumo de água, por isso é de extrema importância um manejo hídrico mais adequado na produção de mudas florestais que supra a demanda hídrica das plantas sem comprometer sua qualidade e produtividade, aliado ao consumo consciente, para que esse recurso natural vital a qualquer tipo de vida (humana, animal e vegetal) no planeta, seja conservado e não falte em quantidade e qualidade. As técnicas de sensoriamento remoto, como a espectrorradiometria são capazes de fornecer informações sobre as plantas a nível celular por meio da reflectância foliar espectral. O presente trabalho teve por objetivos avaliar os efeitos de diferentes níveis de estresse hídrico no processo de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* sobre as variáveis fisiológicas e morfológicas e avaliar por meio do espectrorradiômetro as mudanças no comportamento da reflectância espectral foliar das mudas de eucalipto. Ao analisar os gráficos da curva média de reflectância espectral com as variáveis fisiológicas das mudas de eucalipto submetidas aos diferentes tratamentos, foi possível identificar aos 7 dias, que a curva média da reflectância das mudas submetidas ao tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) apresentou os maiores valores de reflectância nas regiões espectrais do infravermelho próximo (970nm e 1190nm) e médio (1450nm) se comparado com os demais tratamentos. Esses resultados indicam, que as mudas do tratamento T4 foram submetidas às menores quantidades de água. As variáveis fisiológicas que apresentaram comportamento semelhante ao da reflectância foliar foram assimilação de carbono (A), transpiração (E) e eficiência no uso da Rubisco (A/C_i), onde as mudas submetidas ao mesmo tratamento (T4) apresentaram aos 7 dias, os menores valores médios dessas variáveis, diferindo estatisticamente entre os demais tratamentos pelo teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). Ou seja, as mudas submetidas a menor disponibilidade hídrica apresentaram os maiores valores médios da reflectância foliar, devido à baixa absorção da radiação eletromagnética pela água presente nos tecidos celulares das mudas, e conseqüentemente, os menores valores médios das variáveis fisiológicas assimilação de CO_2 (A), transpiração (E), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência no uso da Rubisco (A/C_i).

Palavras-chave: manejo hídrico; viveiros florestais; estresse hídrico; reflectância foliar; NIRS.

ABSTRACT

Brazil stands out on the world stage for having excellent performance in the forestry sector, as a result of climatic conditions and technology developed by companies and research institutions in the country. However, a quality forest planting that meets and supplies the demand for its services is necessary to obtain quality seedlings, well developed and this is only possible through the irrigation process. Aiming to increase productivity in the field, it is necessary to provide the plants with nutritional and water conditions still in the seedling stage (GOMES et al., 2002), so that when planted in a field, they can achieve greater success. To make these conditions favorable to the seedlings, the forest nurseries adopt to improve the rate of plant areas after planting in the field, this practice is known as rustification, where the seedlings are prepared to adapt to unfavorable field conditions, in order to obtain the best development and technologies. However, in the irrigation process there is a high consumption of water, so it is extremely important to have more adequate water management in the production of forest seedlings that meet the water demand of the plants without compromising their quality and productivity, combined with conscious consumption, so that this natural resource vital to any type of life (human, animal and plant) on the planet, be conserved and do not lack in quantity and quality. Remote sensing techniques such as spectroradiometrics are able to provide information about plants at the cellular level through spectral leaf reflectance. The present work aimed to evaluate the effects of different levels of water stress in the rustification process of *Eucalyptus urophylla* seedlings on physiological and morphological variables and to evaluate through a spectroradiometer the changes in the behavior of the leaf spectral reflectance of eucalyptus seedlings. By analyzing the graphs of the average spectral reflectance curve with the physiological variables of eucalyptus seedlings subjected to different treatments, it was possible to identify at 7 days that the average reflectance curve of seedlings submitted to treatment T4 (irrigation once a day, the every two days) showed the highest reflectance values in the near (970 and 1190 nm) and medium (1450 nm) infrared spectral regions compared to the other treatments. These results indicate that the T4 treatment seedlings were subjected to the smallest amounts of water. The physiological variables that showed behavior similar to leaf reflectance were carbon assimilation (A), transpiration (E) and efficiency in the use of Rubisco (A/C_i), where seedlings submitted to the same treatment (T4) showed at 7 days, the lowest mean values of these variables, differing statistically between the other treatments by the *Tukey-Kramer* test ($p < 0.05$). That is, seedlings subjected to lower water availability had the highest mean values of leaf reflectance, due to the low absorption of electromagnetic radiation by the water present in the cellular tissues of the seedlings, and consequently, the lowest mean values of the physiological variables CO_2 assimilation (A), transpiration (E), water use efficiency (USA) and Rubisco use efficiency (A/C_i).

Keywords: water management; forest nurseries; hydrical stress; leaf reflectance; near infrared spectroscopy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Regiões espectrais do espectro eletromagnético organizadas de acordo com as ondas eletromagnéticas.....31
- Figura 2 - Localização da área de estudo. Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) – UNESP, no município de Botucatu – SP.....34
- Figura 3 - Ocupação das mudas de *Eucalyptus urophylla* nas bandejas35
- Figura 4 - Caixas de madeira revestidas de plástico transparente utilizadas para a irrigação das mudas de *Eucalyptus urophylla* no viveiro florestal da FCA, Unesp de Botucatu – SP.36
- Figura 5 - Fluxograma dos dias em que ocorreram as irrigações e as avaliações fisiológicas, morfológicas e reflectância foliar das mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas a diferentes manejos hídricos (tratamentos) na fase de rustificação entre os dias 07/04 a 01/05 de 2021.....37
- Figura 6 - Ordem cronológica das avaliações fisiológica, morfológica e de reflectância foliar realizadas na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas aos diferentes tratamentos e suas respectivas repetições.....38
- Figura 7 - Espectroradiômetro da Ocean Optics, modelo Flame – NIR (faixa de leitura de 966,03nm a 1685,09nm, com sensibilidade de 5,51nm) utilizado para a obtenção da reflectância foliar das mudas de *Eucalyptus urophylla*.....40
- Figura 8 - Box-plots com médias^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para as variáveis fisiológicas e como covariáveis os tratamentos^(**), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos44
- Figura 9 - Box-plots com médias^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para as variáveis fisiológicas e como covariáveis os tratamentos^(**), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos46
- Figura 10 - Box-plots com médias^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para as variáveis fisiológicas e como covariáveis os tratamentos^(**), segundo o tempo (dias), após as mudas serem submetidas aos tratamentos.....48
- Figura 11 - Box-plots com médias^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável eficiência do

uso da água (EUA) e como covariáveis os tratamentos ^(**) , segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos.....	49
Figura 12 - Box-plots com médias ^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de <i>Eucalyptus urophylla</i> referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável massa seca de raízes e como covariáveis os tratamentos ^(**) , segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos	51
Figura 13 - Box-plots com médias ^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de <i>Eucalyptus urophylla</i> referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável massa seca da parte aérea e como covariáveis os tratamentos ^(**) , segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos.....	52
Figura 14 - Box-plots com médias ^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de <i>Eucalyptus urophylla</i> referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável diâmetro do colo das mudas e como covariáveis os tratamentos ^(**) , segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos.....	54
Figura 15 - Box-plots com médias ^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de <i>Eucalyptus urophylla</i> referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável altura das mudas e como covariáveis os tratamentos ^(**) , segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos	55
Figura 16 - Curvas médias de reflectância foliar no infravermelho próximo e médio de mudas de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 7 (A), 15 (B) e 21 (C) dias após serem submetidas aos tratamentos ^(*) de manejo hídrico na fase de rustificação.....	59
Figura 17 - Gráficos de redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada de componentes principais (1 ^o e 2 ^o componentes (prin_1 e prin_2, respectivamente) das 128 variáveis respostas de reflectância foliar no infravermelho próximo e médio (966,03nm a 1685,09nm), segundo tratamentos ^(*) e o tempo (dias) ^(**) após as mudas serem submetidas aos tratamentos.....	61
Figura 18 - Box-plots com médias ^(*) dos tratamentos de diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de <i>Eucalyptus urophylla</i> referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável primeiro componente principal e como covariáveis os tratamentos ^(**) , segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos.....	66

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores da redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada de componentes principais das 128 variáveis respostas de reflectância foliar no infravermelho próximo e médio, segundo tratamentos^(*) e o tempo (dias) desde o início do experimento.....60
- Tabela 2 - Média, desvio padrão e valor-p do Teste de Normalidade^(*) para o 1º componente principal referente a redução da dimensionalidade das variáveis resposta de reflectância foliar no infravermelho, segundo tratamentos^(**) e tempo (dias).....62
- Tabela 3 - Função linear discriminante do 1º e 2º componentes principais referente à redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada.....63
- Tabela 4 - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de Pearson) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para o primeiro componente principal.....65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	OBJETIVOS.....	25
2.1	GERAL.....	25
2.2	ESPECÍFICOS.....	25
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
3.1	<i>EUCALYPTUS</i> SPP.....	26
3.2	DISPONIBILIDADE HÍDRICA E A VEGETAÇÃO.....	27
3.3	RUSTIFICAÇÃO DE MUDAS.....	28
3.4	MORFOFISIOLOGIA DE PLANTAS SOB ESTRESSE HÍDRICO.....	29
3.5	SENSORIAMENTO REMOTO E A VEGETAÇÃO.....	30
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	34
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	35
4.3	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....	38
4.4	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS.....	38
4.5	PROCEDIMENTO DAS MEDIÇÕES ESPECTRAIS.....	39
4.6	METODOLOGIA ESTATÍSTICA.....	40
4.6.1	Efeito dos tratamentos nas variáveis fisiológicas das mudas.....	40
4.6.2	Efeito dos tratamentos nas variáveis morfológicas das mudas.....	41
4.6.3	Redução da dimensionalidade das variáveis resposta de reflectância foliar.....	41
4.6.4	Efeito dos tratamentos nos componentes principais.....	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	EFEITO DOS TRATAMENTOS SOBRE AS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS DAS MUDAS.....	43
5.1.1	Assimilação de carbono (<i>A</i>), Transpiração (<i>E</i>) e Eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (<i>A/Ci</i>).....	43
5.1.2	Condutância estomática (<i>gs</i>) e Carbono interno (<i>Ci</i>).....	47
5.1.3	Eficiência do uso da água (<i>EUA</i>).....	49
5.2	EFEITO DOS TRATAMENTOS NAS VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DAS MUDAS.....	50
5.2.1	Massa seca de raízes.....	50
5.2.2	Massa seca da parte aérea.....	51
5.2.3	Diâmetro do colo.....	53
5.2.4	Altura das mudas.....	54

5.3	REFLECTÂNCIA FOLIAR NO INFRAVERMELHO APLICADA A DISPONIBILIDADE HÍDRICA DE MUDAS DE <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA</i>	56
5.3.1	Estatísticas descritivas das reflectâncias foliares.....	56
5.3.2	Redução da dimensionalidade das variáveis resposta de reflectância foliar no infravermelho por componentes principais e Função Discriminante.....	60
5.3.3	Efeito dos tratamentos nos componentes principais.....	64
6	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69
	APÊNDICE A - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos ^(*) , segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica assimilação de carbono (<i>A</i>).....	78
	APÊNDICE B - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos ^(*) , segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica condutância estomática (<i>gs</i>).....	79
	APÊNDICE C - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos ^(*) , segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica carbono interno (<i>C_i</i>).....	80
	APÊNDICE D - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos ^(*) , segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica transpiração (<i>E</i>).....	81

APÊNDICE E - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica eficiência do uso da água (<i>EUA</i>).....	82
APÊNDICE F - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (<i>A/Ci</i>).....	83
APÊNDICE G - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável morfológica massa seca de raízes.....	84
APÊNDICE H - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável morfológica massa seca da parte aérea.....	85
APÊNDICE I - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável morfológica diâmetro do colo.....	86
APÊNDICE J - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de <i>pearson</i>) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do	

**experimento para a variável morfológica altura das
mudas.....87**

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial por possuir excelente desempenho no setor florestal, devido às condições climáticas e à tecnologia desenvolvida pelas empresas e instituições de pesquisa do país (CIB, 2008).

Dentre as espécies florestais, o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) tem sido preferencialmente utilizado nos plantios florestais (EMBRAPA, 2014), totalizando uma área de 6,97 milhões de hectares, localizados principalmente em Minas Gerais (28%), São Paulo (17%), Mato Grosso do Sul (16%), Bahia (8%), Rio Grande do Sul (7%) e Paraná (4%) (IBÁ, 2020).

O eucalipto se destaca devido ao seu rápido crescimento, capacidade de adaptação às diversas regiões ecológicas e pelo potencial econômico, tendo em vista a utilização diversificada de sua madeira (EMBRAPA, 2014). Sua utilização vai desde produtos madeireiros, como na construção civil, na fabricação de chapas, móveis mais finos (WILCKEN et al., 2008), fonte de energia (COSTA; OLIVEIRA, 2019), papel e celulose; a não madeireiros, como os óleos essenciais, plantios com função de quebra-ventos (WILCKEN et al., 2008; OLIVEIRA, 2012; COSTA; OLIVEIRA, 2019), dentre outros.

A alta produtividade de madeira, com menores custos e maiores taxas de retorno do investimento, conferem grande atratividade ao cultivo do eucalipto, garantindo alta competitividade de seus produtos nos mercados interno e externo (EMBRAPA, 2014).

Entretanto, diversos fatores bióticos (pragas, doenças, entre outros) e abióticos (água, nutrição, condições climáticas e edáficas, entre outros) podem interferir negativamente na produtividade dos plantios florestais. Dentre os fatores abióticos, o fornecimento de água às plantas é um dos fatores determinantes para o sucesso dos povoamentos florestais. A água é fundamental nos processos fotossintético, metabólico (TAIZ & ZEIGER, 2012), físico, biológico e químico das plantas (SANTOS et al., 2017).

Devido à escassez hídrica cada vez mais recorrente por causa das mudanças climáticas, os plantios florestais estão cada vez mais sendo afetados negativamente, pois não há uma disponibilidade hídrica adequada para o melhor desenvolvimento das plantas.

Na tentativa de minimizar os danos causados pela baixa disponibilidade hídrica nos povoamentos florestais, os viveiros adotam medidas visando melhorar a taxa de sobrevivência das plantas após o plantio em campo. Essa prática é conhecida como rustificação, onde as mudas são aclimatadas às condições desfavoráveis de campo, com o intuito de se obter melhor desenvolvimento e sobrevivência. A rustificação mais utilizada nos viveiros são as relacionadas aos manejos nutricional e hídrico (HIGASHI et al., 2000).

No manejo de rustificação hídrica, os viveiros diminuem gradativamente o tempo e a frequência de irrigação das mudas. Com a adoção dessa prática, as plantas ficam mais resistentes às diversas condições ambientais do campo, e conseqüentemente, diminuição das perdas (TATAGIBA et al., 2007).

Após as mudas serem rustificadas, a próxima fase, é a de expedição dessas mudas para o plantio no campo. As mudas passam por uma seleção, onde somente as que apresentam um padrão de qualidade são levadas para o plantio. A qualidade das mudas é avaliada por meio de parâmetros morfológicos, como sistema radicular e parte aérea bem desenvolvidos, boas condições fitossanitárias, entre outros. As plantas que não estão no padrão de qualidade estabelecido pelo viveiro, são descartadas, acarretando na perda de todo um ciclo produtivo.

Por ser uma avaliação visual, ou seja, das características morfológicas das mudas, quando os sintomas visuais provocados por deficiências nutricional ou hídrica aparecem, já houveram alterações moleculares nas plantas, e muitas vezes são irreversíveis.

Contudo, existem técnicas de mensuração indireta de parâmetros qualitativos em plantas, como o sensoriamento remoto aplicado à área florestal.

As técnicas de sensoriamento remoto, como a espectrorradiometria dentre suas aplicações, pode ser utilizada com o objetivo de auxiliar em um manejo hídrico mais adequado nos viveiros florestais, e podem fornecer informações aos gestores dos viveiros sobre o estado hídrico das mudas, e permitir um bom desenvolvimento das mesmas.

O emprego das técnicas de sensoriamento remoto nas diversas áreas é possível por meio do conhecimento da radiação eletromagnética. Na área florestal, a compreensão da interação entre a radiação eletromagnética e as estruturas dos componentes da vegetação tem sido um dos objetivos recorrentes dos estudos de sensoriamento remoto e a vegetação.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Identificar o estado hídrico de mudas de *Eucalyptus urophylla* na fase de rustificação por meio de espectroscopia de infravermelho próximo e médio.

2.2 Específicos

Avaliar o efeito do estado hídrico das mudas de eucalipto sobre as variáveis fisiológicas assimilação de carbono (A), condutância estomática (G_s), carbono interno (C_i), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (A/C_i);

Avaliar o efeito do estado hídrico das mudas de eucalipto sobre as variáveis morfológicas altura, diâmetro do colo e massa seca da parte aérea e de raízes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Eucalyptus* spp.

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) pertence à família das *Myrtaceas*, é nativo da Austrália e das Ilhas da Indonésia e é o gênero florestal mais plantado no mundo (GRATTAPAGLIA; KIRST, 2008) e no Brasil (EMBRAPA, 2019). Dentre os gêneros florestais, o eucalipto é considerado um dos poucos que possui alta flexibilidade de usos devido à grande diversidade de espécies (WILCKEN et al., 2008) e por sua facilidade de adaptação a diferentes regiões, rápido crescimento e a ampla utilização de sua madeira, as espécies de eucalipto estão sendo amplamente utilizadas em plantios florestais no Brasil (SANTAROSA et al., 2014).

O eucalipto é utilizado em diversas áreas como na construção civil, fabricação de chapas (WILCKEN et al., 2008), produção de móveis, energia, papel e celulose, painéis de madeira (WILCKEN et al., 2008; COSTA; OLIVEIRA, 2012; OLIVEIRA, 2019), utilizado para fins paisagísticos, na extração de óleos essenciais e na produção de mel, entretanto a utilização mais frequente é para lenha, postes, moirões, madeira serrada, construções rurais e na fabricação de painéis (HIGA et al., 2000).

Sua vasta utilização permite que o setor florestal brasileiro ganhe cada vez mais espaço, e para permanecer nesse cenário é preciso ampliar seu plantio e sua produtividade. Esse gênero florestal é de relevância econômica e comercial, pois apresenta alta produtividade, baixo ciclo de produção e adaptação à diferentes regiões edafoclimáticas (GONÇALVES et al., 2008).

O setor florestal brasileiro possui grande importância socioeconômica, pois promove atividades essenciais e na maioria dos casos essas atividades dependem deste setor para sobreviver (COSTA, OLIVEIRA, 2019). Por ser o gênero florestal mais plantado em todas as regiões do país, o Brasil se tornou referência mundial em produtividade e silvicultura (DE OLIVEIRA; PINTO JÚNIOR, 2021).

Entretanto, o desenvolvimento e a produtividade do eucalipto podem ser limitados por diferentes fatores bióticos e abióticos. Dentre os fatores abióticos, o estresse hídrico é o que mais impacta a produtividade (BEHERA et al., 2002) e os crescimentos vegetativo e reprodutivo (TAIZ et al., 2017) das plantas, pois a diminuição da água no solo e no ar pode interferir de maneira drástica o metabolismo fotossintético das mesmas (LAWLOR; TEZARA, 2009) em condições de campo.

3.2 Disponibilidade hídrica e a Vegetação

A água é um dos recursos naturais mais importante no desenvolvimento das plantas, pois permite a realização da fotossíntese (KRAMER; BOYER, 1995; DA SILVEIRA; CEOLA, 2019), respiração, hidrólise e condensação, ou seja, das reações químicas vitais para as plantas (DA SILVEIRA; CEOLA, 2019). Entretanto, seu desenvolvimento pode ser limitado pela falta de água (MARENCO; LOPES, 2005; TATAGIBA et al., 2007; REICHARDT; TIMM, 2016; DA SILVEIRA; CEOLA, 2019) ou pelo seu excesso (REICHARDT; TIMM, 2006).

As plantas lenhosas são constituídas por 50% de água (KRAMER; BOYER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2004), sendo este recurso importante em seu metabolismo, transporte e translocação de solutos, (TAIZ; ZEIGER, 2004), forma e estrutura dos órgãos (LARCHER, 2004), turgescência celular (KRIEG, 1993; TAIZ; ZEIGER, 2004; MARENCO; LOPES, 2005; REICHARDT; TIMM, 2016) abertura e fechamento estomático (TAIZ; ZEIGER, 2004; MARENCO; LOPES, 2005), e movimento das folhas (MARENCO; LOPES, 2005).

As proteínas, ácidos nucleicos, membranas e outros componentes celulares da planta são afetados pela estrutura e pelas propriedades da água (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Diversos autores avaliaram os efeitos do estresse hídrico sobre as variáveis morfofisiológicas das plantas (PITA; PARDOS, 2001; NGUGI et al., 2003; COSTA E SILVA et al., 2004; DA SILVA et al., 2004; GINDABA et al., 2004; NGUGI et al., 2004; LOPES et al., 2005; SHVALEVA et al., 2005; LOPES et al., 2007; MERCHANT et al., 2007; COOPMAN et al., 2008; VELLINI et al., 2008; PEREIRA et al., 2010; LOPES et al., 2011; FREITAG et al., 2013; SCHWIDER et al., 2013; RAMALHO et al., 2020).

Uma menor quantidade de água no substrato afeta a expansão celular, regulação estomática, fotossíntese, respiração, translocação de substâncias e a síntese da parede celular, o que acarreta limitação no crescimento e conseqüentemente na translocação de matéria seca (STEINBERG et al., 1990). Entretanto, na fase de rustificação, o déficit hídrico é fundamental para o sucesso dos povoamentos florestais, pois nessa fase, as plantas se aclimatam para as condições ambientais adversas (principalmente o fator hídrico) e sobrevivam e se desenvolvam após o plantio em campo.

3.3 Rustificação de mudas

A produção de mudas florestais tanto em qualidade, quanto em quantidade é uma das fases mais importantes para o estabelecimento dos povoamentos florestais (BARROS et al., 2002; SILVA; WICHERT, 2008; REDE DE SEMENTES DO CERRADO, 2011). Visando aumentar a produtividade no campo, é necessário fornecer às plantas condições nutricionais e hídricas ainda na fase de mudas (GOMES et al., 2002), sendo a irrigação um dos manejos fundamentais para uma maior produtividade (LIMA et al., 2014), para que ao serem plantadas a campo obtenham maior êxito.

O estresse hídrico é um dos fatores mais prejudiciais para as plantas, causando danos à fotossíntese, respiração, absorção de íons, e o metabolismo de carboidratos (ANGELOCCI, 2002).

Para minimizar os efeitos negativos do déficit hídrico causados à produtividade após o plantio das mudas, os viveiros florestais adotam medidas de manejo para minimizar os danos causados.

Dentre essas medidas, estão os manejos adotados que auxiliam no processo de aclimação das mudas ao novo ambiente em que serão plantadas. Uma das práticas mais conhecidas e adotadas para a aclimação das plantas, é o processo de rustificação, onde a frequência de irrigação é reduzida próximo a fase de expedição das mudas (DAVIDE; FARIA, 2008), com o intuito das plantas resistirem às condições ambientais adversas do campo e se estabelecerem, assegurando uma maior taxa de sobrevivência das mesmas após seu plantio (DAVIDE; FARIA, 2008; GUZMÁN, 2018).

Para sobreviverem sob estresse hídrico durante a rustificação, as plantas adquirem mecanismos, onde diminuem gradativamente suas necessidades fisiológicas utilizando uma menor quantidade de seu conteúdo líquido (SANTIAGO et al., 2001), sendo que essas mudanças que ocorrem em seus mecanismos fisiológicos auxiliarão no desenvolvimento das plantas sob as condições ambientais desfavoráveis à sua sobrevivência a campo.

O processo de rustificação de mudas é uma das etapas mais importantes do viveiro por estar diretamente relacionada ao desempenho das mudas após o plantio a campo (ALFENAS et al., 2004). Esse processo é a última fase do processo produtivo da muda no viveiro, geralmente é realizado durante os 15 e 30 dias finais (LOPES,

2008; LIMA et al., 2014), onde as mudas são submetidas a distintos manejos de irrigação, fertilização e intensidade de luz (JACOBS; LANDIS, 2009).

O processo de rustificação é realizado nas mudas quando apresentam tamanho ideal, onde a adubação é suspensa e a irrigação é reduzida (GOMES et al., 2002), com a finalidade de estimular as plantas a aumentarem seus mecanismos de defesa contra os diversos fatores bióticos e abióticos causadores de danos às mudas (JACOBS; LANDIS, 2009), para que essas mudas se aclimatem para as condições de campo (DA SILVA et al., 2004), e conseqüentemente, aumentar a sobrevivência das mudas no campo (TATAGIBA et al., 2007; JACOBS; LANDIS, 2009), sendo responsável pela preparação fisiológica das mudas durante e após seu plantio (DOS SANTOS et al., 2008).

3.4 Morfofisiologia de plantas sob estresse hídrico

Uma maneira de avaliar a qualidade das mudas e os efeitos da rustificação é por meio das variáveis morfológicas e fisiológicas (DA SILVA, 2003). As variáveis morfológicas são mais fáceis de se observar (DA SILVA, 2003), e são determinadas pelas características físicas e/ ou visuais das plantas (FONSECA, 2000; GOMES, 2001), como altura de parte aérea, diâmetro do colo, altura da parte aérea, relação entre o diâmetro do colo e altura de parte aérea, massa fresca e seca da parte aérea e de raiz (PAIVA; GOMES, 1993). Compreender o comportamento e a interação das plantas por meio dos parâmetros morfológicos é muito importante (GOMES et al., 2002) para garantir seu bom desenvolvimento no campo após seu plantio (FONSECA, 2000).

As variáveis fisiológicas são mais eficazes na determinação de alguns parâmetros (DA SILVA, 2003) e são determinadas pelos processos que ocorrem no interior da planta (GOMES, 2001), auxiliam na predição e na mensuração do impacto causado nas mudas pelos diferentes estresses ambientais e subsidiam na análise das variáveis morfológicas (DAVIS; JACOBS, 2005).

As diferentes variáveis morfofisiológicas das plantas interferem diretamente em sua qualidade (RUBIRA; BUENO, 1996), desde a fase de muda até completar seu ciclo de vida. Avaliar esses parâmetros durante o processo de rustificação, contribui para a determinação da qualidade das mudas que serão levadas à campo, pois mudas

com maior qualidade permitirão o êxito nos plantios florestais e apresentarão menores taxas de mortalidade e replantio (SILVA et al., 2002).

A produtividade de uma cultura está diretamente relacionada com as características fisiológicas das mudas e da sua interação com o ambiente, e dentre os fatores ambientais, a água é um dos fatores mais relevante no crescimento e desenvolvimento das plantas (MEJIA et al., 2015).

A aclimatação ao estresse hídrico pode levar a respostas envolvendo a expressão de genes e a modificações fisiológicas e morfológicas das plantas, surgindo de dias a semanas, o que leva a uma compensação homeostática para os efeitos negativos iniciais do estresse hídrico na fotossíntese (FLEXAS et al., 2009).

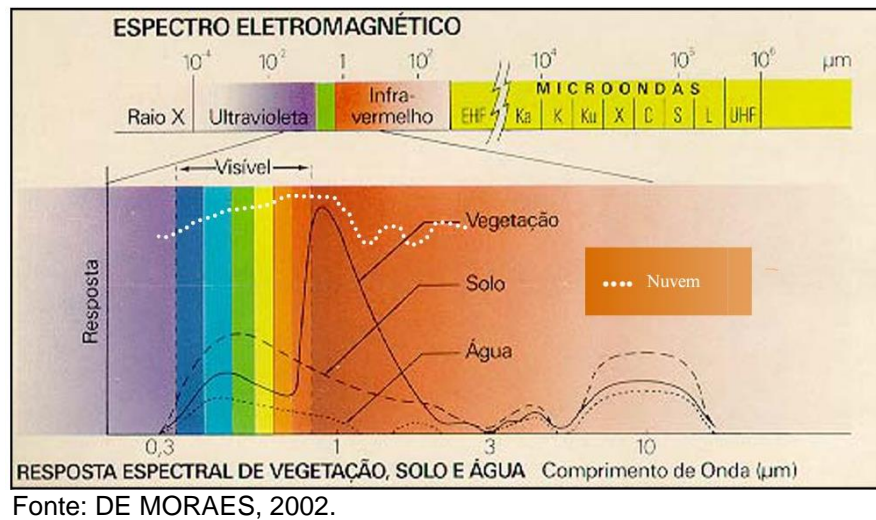
3.5 Sensoriamento Remoto e a Vegetação

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a ciência e arte de se extrair informações de diferentes alvos da superfície terrestre por meio de sensores que captam e registram a radiação eletromagnética, sem que haja o contato direto com o alvo (CURRAN, 1985; REES, 1990; LILLESAND; KIEFER, 1994; TROMBETA et al., 2019), podendo ser água, solo, rocha, vegetação, entre outros (TROMBETA et al., 2019).

As técnicas de sensoriamento remoto não existiriam sem o entendimento da radiação eletromagnética (REM). A REM pode ser interpretada como a energia transmitida em forma de ondas eletromagnéticas produzidas em decorrência do movimento dos campos elétrico e magnético (THOMAS, 1996).

As diferentes radiações eletromagnéticas são organizadas no espectro eletromagnético, sendo separadas por faixas espectrais e organizadas de acordo com suas frequências ou comprimentos de onda (DA SILVA, 2014) (Figura 1).

Figura 1 - Regiões espectrais do espectroeletrômagntico organizadas de acordo com as ondas eletromagnéticas



Como resultado da diferença entre a radiação incidente sobre uma superfície (irradiância) e a radiação refletida por ela (radiância), obtêm-se a reflectância dessa superfície (TROMBETA et al., 2019).

O termo reflectância da vegetação se refere à interação da radiação eletromagnética ao longo do espectro eletromagnético com as plantas. Essa interação ocorre devido às características de cada onda eletromagnética e da composição, morfologia e estrutura interna das plantas (PONZONI, 2002).

A região espectral do infravermelho (700 a 1.000.000 nm) é dividida nas sub-regiões do infravermelho próximo (700 a 1300 nm), médio (1300 a 6000 nm) e distante (6000 a 1.000.000 nm) (DE MORAES, 2002). Nos estudos sobre a reflectância da vegetação, são consideradas as regiões do visível e do infravermelho próximo e médio (ondas curtas) (PONZONI, 2002), devido as plantas absorverem e refletirem a radiação eletromagnética nessas regiões espectrais.

No processo de interação da radiação eletromagnética com a vegetação, a folha é o principal órgão das plantas que melhor representa essa interação (SANO et al., 2019) e que auxilia na detecção de sinais por sensores remotos (CARVALHO et al., 2003). E por ser o principal órgão da planta que absorve a radiação eletromagnética, a mensuração da energia absorvida, transmitida e/ ou refletida consegue ser aferida por diferentes sensores (KAFËR et al., 2016).

A estrutura celular das plantas e os espaços celulares (preenchidos por água e ar) influenciam a intensidade da radiação eletromagnética refletida pelas folhas das plantas (GATES et al., 1965).

As informações sobre a vegetação por meio do sensoriamento remoto podem ser obtidas de quatro níveis para coleta dos dados, os orbitais, aéreo, campo e laboratório (PONZONI, 2002). Os espectrorradiômetros de reflectância são os equipamentos utilizados para a aquisição de informações sobre a vegetação a nível de campo e/ou laboratório (MENESES; ALMEIDA, 2019). As informações obtidas por esses equipamentos são mais precisas, devido a minimização das interferências ambientais pois os sensores ficam muito próximos das folhas das plantas.

Diversas informações podem ser obtidas das técnicas de interação entre a energia eletromagnética e os diferentes alvos. Essas informações podem ser condições de estresse, estado nutricional, estado fenológico estrutura do dossel (TRENTIN, 2011), fitossanitários (doenças ou estresse hídrico) (SANO et al., 2019), entre outros.

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas relacionadas à determinação das propriedades espectrais das folhas de diferentes culturas por meio do sensoriamento remoto de laboratório (DE SOUSA, et al., 1996; RANGEL et al., 2001; PONZONI et al., 2002; CARRIELO et al., 2003; COURA et al., 2005; LIPPERT et al., 2009; LIPPERT, 2011; NAUE et al., 2011; BRANDELERO et al., 2012; SILVA et al., 2012; DE BRITO; FARIAS, 2013; MACHADO, 2013; BONILLA, 2015; FERNANDES et al., 2015; LIPPERT et al., 2015; SCHUH et al., 2016; POLEZ et al., 2017; STRABELI, 2016; FIORIO et al., 2018; JIM, 2018; RIBEIRO, 2018; DE OLIVEIRA, 2019; DE OLIVEIRA; SANTANA, 2019).

O desenvolvimento dessas pesquisas demonstra a importância de conhecer e entender o processo da interação da radiação eletromagnética sobre a vegetação, de modo a contribuir com o avanço dessa tecnologia e subsidiar uma tomada de decisão mais precisa.

Entender como a planta responde ao estresse hídrico no processo de rustificação é muito importante, e uma das maneiras de entender e perceber esse aspecto de forma rápida e precisa, é por meio da utilização de sensores capazes de detectar pequenas variações em seu comportamento por meio de ondas eletromagnéticas. As diferentes ondas eletromagnéticas estão agrupadas no espectro

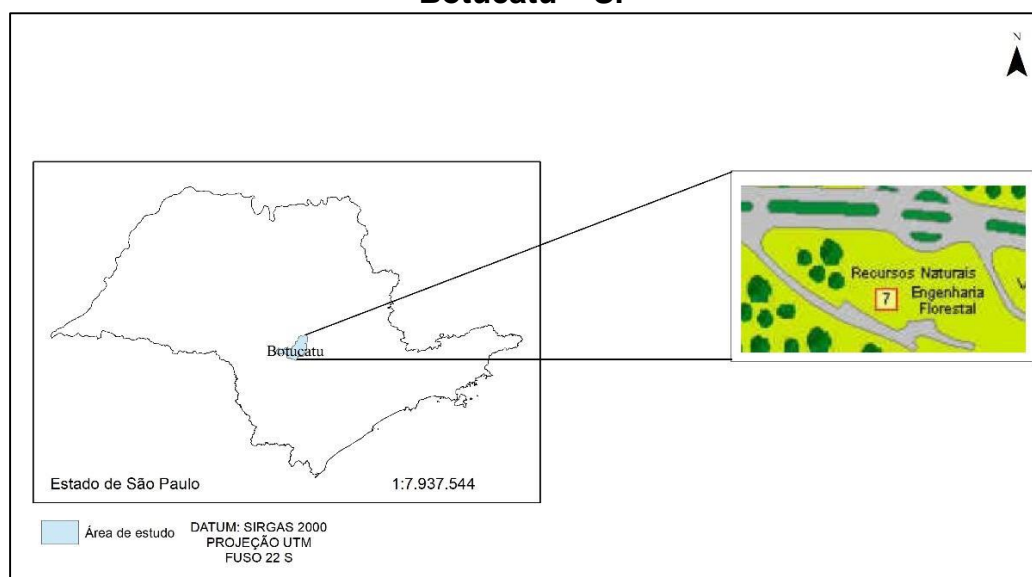
eletromagnético, sendo separadas por faixas espectrais e organizadas de acordo com suas frequências ou comprimentos de onda (DA SILVA, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A rustificação das mudas de *Eucalyptus urophylla* e as análises fisiológicas e morfológicas foram realizadas no viveiro do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente, setor de Ciência Florestal da Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) no município de Botucatu, SP (22°53'09" S e 48°26'42" O) (Figura 2).

Figura 2 - Localização da área de estudo. Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) – UNESP, no município de Botucatu – SP



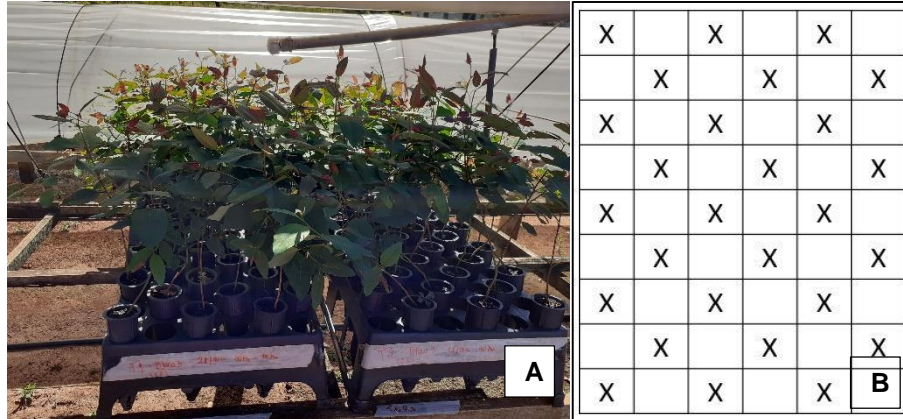
Segundo a classificação climática de *Köppen*, o clima de Botucatu é classificado como **Cfa**, apresentando clima temperado quente (mesotérmico) úmido e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C. Nos meses de abril, julho e agosto ocorrem deficiências hídricas, e nos meses de primavera-verão ocorre o período chuvoso, com índices hídricos relativamente elevados (DA CUNHA; MARTINS, 2009).

As análises para a obtenção da reflectância foliar das mudas de *Eucalyptus urophylla* foram realizadas no Departamento de Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia – Instituto de Biociências – IB (Unesp Botucatu).

4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. Em cada tratamento, adotou-se quatro repetições (bandejas). Em cada bandeja, a porcentagem de ocupação das mudas foi de 50% (27 mudas) (Figura 3).

Figura 3 - Ocupação das mudas de *Eucalyptus urophylla* nas bandejas



Nota: Sendo **A**, as bandejas nos canteiros suspensos e **B**, uma ilustração da ocupação das mudas nas bandejas.

Os experimentos foram conduzidos em canteiros suspensos com cobertura de filme difusor agrícola. A cobertura foi utilizada apenas no período da noite para evitar que fatores externos como a chuva interferisse no experimento.

A espécie utilizada foi *Eucalyptus urophylla* (clone I144). Foram adquiridas 500 mudas de um viveiro comercial, localizado no município de Avaré, SP. Após a aquisição das mudas, foi realizado o replantio das mesmas em tubetes de 290 cm³ com o substrato comercial para plantas Carolina II (Carolina Soil®) constituído por turfa de *sphagnum*, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK (traços). O replantio teve por objetivo aumentar o intervalo entre as irrigações das mudas.

Para o desenvolvimento radicular das mudas na nova embalagem (tubete), após o replantio, as mesmas receberam os manejos nutricional e hídrico convencionais adotados em viveiros florestais, até o dia em que foram submetidas aos diferentes tratamentos.

Para as análises da reflectância foliar, foram selecionadas 15 mudas das 20 plantas de cada repetição. E as cinco restantes, primeiramente foram realizadas as

medições da fisiologia, e posteriormente, as análises morfológicas nas mesmas mudas em que foram realizadas as análises fisiológicas.

Os tratamentos foram: T1: mudas irrigadas duas vezes ao dia (às 10hs e às 14hs); T2: mudas irrigadas uma vez ao dia (às 10hs); T3: mudas irrigadas uma vez ao dia em dias alternados (às 10hs), e T4: mudas irrigadas uma vez ao dia a cada dois dias (às 10hs).

As mudas foram irrigadas por capilaridade em caixas de madeira com as seguintes dimensões: 0,80m (largura) x 1,00m (altura) x 0,15m (profundidade), e revestidas de plástico transparente. As caixas para irrigação estavam em canteiros suspensos, sendo utilizadas no total, quatro caixas, uma para cada tratamento (Figura 4).

Figura 4 - Caixas de madeira revestidas de plástico transparente utilizadas para a irrigação das mudas de *Eucalyptus urophylla* no viveiro florestal da FCA, Unesp de Botucatu – SP



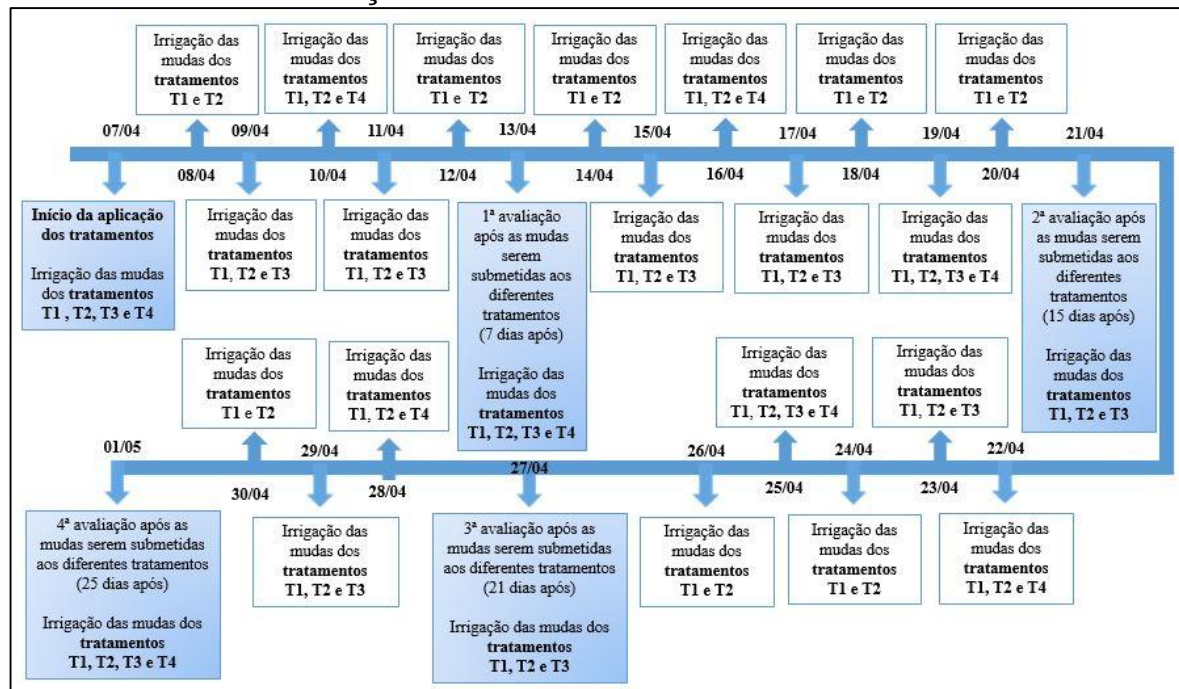
Nota: Sendo **A**, a disposição das caixas nos canteiros suspensos, e **B** a disposição das bandejas das mudas de *Eucalyptus urophylla* nas caixas durante a irrigação das plantas por capilaridade.

As avaliações fisiológicas, morfológicas e da reflectância foliar foram realizadas entre os dias 07 de abril a 01 de maio de 2021 (estação climática seca).

No dia 07/04, iniciou-se a irrigação das mudas de cada repetição e de cada tratamento até o final do experimento (01/05). No dia das análises, as mudas não foram irrigadas antes da aferição dos parâmetros fisiológicos, morfológicos e da reflectância foliar.

As análises (fisiológica, morfológica e reflectância foliar) foram realizadas nos dias 13/04 (7 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos); 21/04 (15 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos); 27/04 (21 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos) e 01/05 (25 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos) (Figura 5).

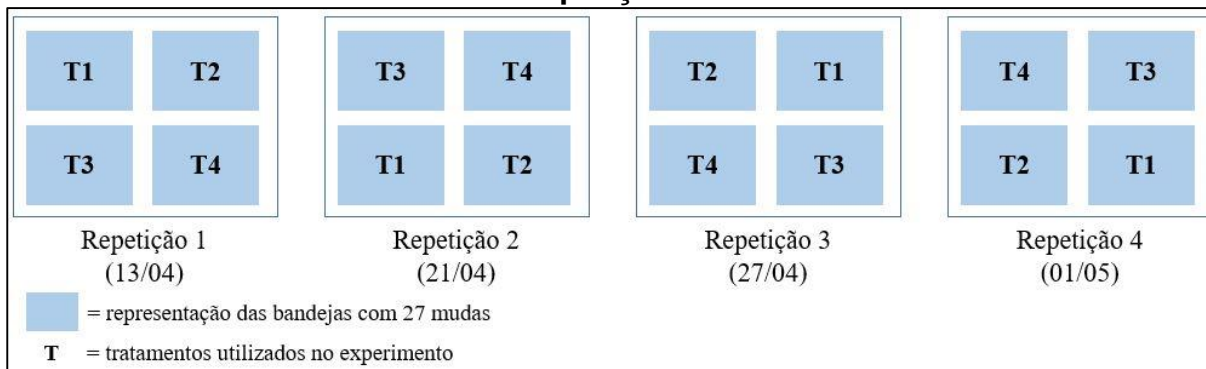
Figura 5 - Fluxograma dos dias em que ocorreram as irrigações e as avaliações fisiológicas, morfológicas e reflectância foliar das mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas a diferentes manejos hídricos (tratamentos)^(*) na fase de rustificação entre os dias 07/04 a 01/05 de 2021



Nota: ^(*)Tratamentos: **T1** (mudas irrigadas duas vezes ao dia, todos os dias); **T2** (mudas irrigadas uma vez ao dia, todos os dias); **T3** (mudas irrigadas uma vez ao dia, em dias alternados), e **T4** (mudas irrigadas uma vez ao dia, a cada dois dias).

Cada repetição (R) dos tratamentos (T) foi avaliada em dias distintos e não se repetiu. Ou seja, no dia 13/04 foram feitas as avaliações morfológicas, fisiológicas e reflectância foliar das mudas da repetição um de cada tratamento (T1R1; T2R1; T3R1 e T4R1 (tratamento (T) e repetição (R), respectivamente)); no dia 21/04 foram feitas as avaliações das mudas da repetição dois de cada tratamento (T1R2; T2R2; T3R2 e T4R2); no dia 27/04 foram feitas as avaliações das mudas da repetição três de cada tratamento (T1R3; T2R3; T3R3 e T4R3), e no dia 01/05 foram feitas as avaliações das mudas da repetição quatro de cada tratamento (T1R4; T2R4; T3R4 e T4R4) (Figura 6).

Figura 6 - Ordem cronológica das avaliações fisiológica, morfológica e de refletância foliar realizadas na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas aos diferentes tratamentos e suas respectivas repetições



Nota: Tratamentos: **T1** (mudas irrigadas duas vezes ao dia, todos os dias); **T2** (mudas irrigadas uma vez ao dia, todos os dias); **T3** (mudas irrigadas uma vez ao dia, em dias alternados); **T4** (mudas irrigadas uma vez ao dia, em dias alternados). Repetições: **R1** (avaliada em 13/04); **R2** (21/04); **R3** (27/04) e **R4** (01/05).

4.3 Determinação das Características Morfológicas

As características morfológicas avaliadas foram altura das mudas, diâmetro de colo massa seca da parte aérea, massa seca de raízes. Os instrumentos utilizados nessas determinações foram régua, paquímetro, e balança digital. As massas secas da parte aérea e da parte radicular foram determinadas pela secagem do material em estufa a uma temperatura de 65°C até atingirem massa constante.

As avaliações das variáveis morfológicas foram obtidas de 5 plantas de cada tratamento (quatro tratamentos) por semana (quatro semanas) de avaliação, totalizando 80 plantas.

4.4 Determinação das Características Fisiológicas

As características fisiológicas avaliadas foram assimilação de carbono (A), transpiração (E), eficiência do uso do rubisco (A/C_i), condutância estomática (g_s), carbono interno (C_i) e eficiência do uso da água (EUA).

A determinação das características fisiológicas foi realizada no viveiro do Departamento de Ciência Florestal da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA, Unesp Botucatu) pelo Departamento de Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (IB, Unesp Botucatu).

As avaliações das variáveis fisiológicas foram obtidas de 5 plantas de cada tratamento (quatro tratamentos) por semana (quatro semanas) de avaliação, totalizando 80 plantas.

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas utilizando-se equipamento com sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infravermelha (“*Infra Red Gas Analyser – IRGA*”, modelo LI-6400, LI-COR).

As medidas foram calculadas a partir da diferença entre a concentração de CO₂ e vapor d'água do ar de referência (valor presente na câmara sem a folha) e da amostra (valor com a folha presente na câmara) obtendo-se as concentrações de vapor d'água e CO₂ que foram liberados (transpiração – vapor d'água) e assimilados (assimilação de CO₂) através dos estômatos foliares.

As características de trocas gasosas analisadas foram: taxa de assimilação de CO₂ (A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); taxa de transpiração (E) ($\text{mmol de vapor d'água m}^{-2}\text{s}^{-1}$); condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), e concentração interna de CO₂ na folha (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ de ar).

Essas características foram calculadas pelo *software* de análise de dados do equipamento medidor de trocas gasosas, que utiliza a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer e Farquhar (1981).

A eficiência do uso da água (EUA) ($\mu\text{mol de CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) foi determinada por meio da relação entre assimilação de CO₂ (A) e taxa de transpiração (E); e a eficiência instantânea de carboxilação da enzima ribulose 1,5-difosfato carboxilase (Rubisco) (A/C_i) ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$) foi determinada por meio da relação entre a taxa de assimilação de CO₂ (A) e a concentração interna de CO₂ na folha (C_i). Ambas as análises foram realizadas conforme Zhang et al. (2001).

4.5 Procedimento das medições espectrais

Foram sorteadas aleatoriamente 15 mudas de cada tratamento e de cada repetição sem reposição, e posteriormente retiradas aleatoriamente 3 folhas por muda.

A preparação para a tomada de medidas da reflectância foliar iniciou-se com a remoção da umidade superficial da folha, seguida pela fixação das mesmas em folha de papel com gabarito pré-definido e codificado segundo tratamento, repetição e número da folha por muda.

A codificação obedeceu a seguinte regra de pares de letra e número: a) uma letra para identificar o tratamento (T) e um número para identificar o tratamento (1 a 4); b) uma letra para identificar a repetição (R) e um número identificar a repetição (1 a 4); c) uma letra para identificar a planta (P) e seu número (1 a 15) e d) uma letra para identificar a folha da planta (F) e seu número (1 a 3).

Assim, por exemplo, a codificação T1R1P1F1 referiu-se ao tratamento 1, repetição 1, planta 1 e folha 1.

As principais bandas espectrais de absorção de água pelas folhas das plantas, são 970nm, 1190nm, 1450nm, 1940nm e 2700nm. Entretanto, o equipamento utilizado para a obtenção das curvas médias de reflectância foliar foi o espectrorradiômetro da *Ocean Optics* (modelo *Flame – NIR*) que opera na faixa de leitura de 966,03nm a 1685,09nm (Figura 7). Portanto, foram consideradas para a análise dos resultados apenas as bandas de 970nm, 1190nm e 1450nm.

Figura 7 - Espectrorradiômetro da Ocean Optics, modelo *Flame – NIR* (faixa de leitura de 966,03nm a 1685,09nm, com sensibilidade de 5,51nm) utilizado para a obtenção da reflectância foliar das mudas de *Eucalyptus urophylla*



4.6 Metodologia Estatística

4.6.1 Efeito dos tratamentos nas variáveis fisiológicas das mudas

Na análise das variáveis fisiológicas (assimilação de carbono (A), transpiração (E), eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (A/C_i), condutância estomática (g_s), carbono interno (C_i) e eficiência do uso da água (EUA)), e considerando como fatores qualitativos os tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia, todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia, dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia, alternados a cada dois dias), foram ajustados modelos lineares generalizados com a distribuição gama e função de

ligação logarítmica (NELDER; WEDDERBURN, 1972). Foi utilizado o procedimento *genmod* (do Programa estatístico SAS (SAS® *OnDemand for Academics Dashboard*, 2021) e para comparações entre tratamentos foi utilizado foi o teste de *Tukey-Kramer* (WESTFALL et al., 1999). A qualidade dos ajustes dos modelos lineares generalizados ajustados foi feita pela análise de desvios por graus de liberdade (*deviance*) e o gráfico dos resíduos padronizados de *Pearson*.

4.6.2 Efeito dos tratamentos nas variáveis morfológicas das mudas

Na análise das variáveis morfológicas (massa seca de raízes, massa seca da parte aérea, altura e diâmetro do colo das mudas), e considerando como fatores qualitativos os tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias, T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias), foram ajustados modelos lineares generalizados com a distribuição gama e função de ligação logarítmica (NELDER; WEDDERBURN, 1972). Foi utilizado o procedimento *genmod* (do Programa estatístico SAS (SAS® *OnDemand for Academics Dashboard*, 2021) e para comparações entre tratamentos foi utilizado foi o teste de *Tukey-Kramer* (WESTFALL et al., 1999). A qualidade dos ajustes dos modelos lineares generalizados ajustados foi feita pela análise de desvios por graus de liberdade (*deviance*) e o gráfico dos resíduos padronizados de *Pearson*.

4.6.3 Redução da dimensionalidade das variáveis resposta de reflectância foliar

Inicialmente, foi utilizada a técnica de redução da dimensionalidade que tem por objetivo reduzir a dimensão dos dados referentes às variáveis resposta de reflectância de dimensão 128 (comprimentos de onda na faixa 966,31nm a 1685,09nm). Dentre as técnicas existentes na literatura, foi utilizada a técnica da Análise Multivariada denominada de componentes principais. Esta técnica tem como fundamento a construção de combinações lineares das variáveis aleatórias, no caso, comprimento de onda (nm). Essas combinações lineares possuem propriedades ótimas em termos de variância, buscando-se novas variáveis (coordenadas) que maximizem a variância e não sejam correlacionadas entre si. Nesta redução da

dimensionalidade foram considerados os dois primeiros componentes principais. O programa estatístico utilizado foi o SAS (*Free Statistical Statistical Software, SAS University Edition*).

4.6.4 Efeito dos tratamentos nos componentes principais

Na análise dos componentes principais obtidos no item anterior, considerando como fatores qualitativos os tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias, T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias), foram ajustados modelos lineares generalizados com a distribuição gama e função de ligação logarítmica (NELDER; WEDDERBURN, 1972). Foi utilizado o procedimento *genmod* (do Programa estatístico SAS – *Free Statistical Statistical Software, SAS University Edition*) e para comparações entre tratamentos foi utilizado foi o teste de *Tukey-Kramer* (WESTFALL et al., 1999).

A qualidade dos ajustes dos modelos lineares generalizados ajustados foi feita pela análise de desvios por graus de liberdade (*deviance*) e o gráfico dos resíduos padronizados de *Pearson*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito dos tratamentos sobre as variáveis fisiológicas das mudas

Os desvios por graus de liberdade e os resíduos padronizados de *Pearson* mostraram que os modelos lineares generalizados para todas as variáveis fisiológicas avaliadas segundo o tempo (dias) foram bem ajustados (apêndices A a F).

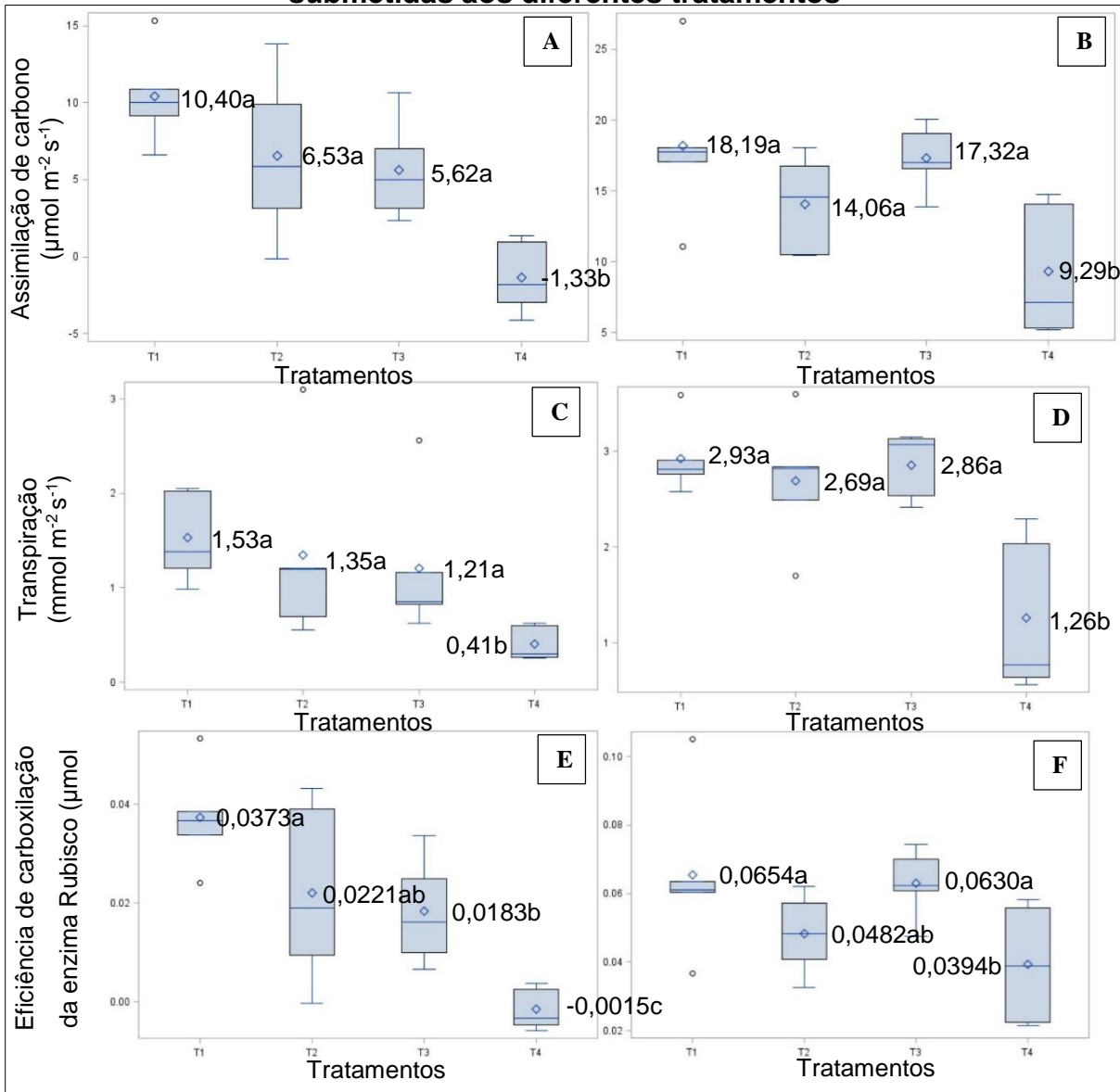
5.1.1 Assimilação de carbono (*A*), Transpiração (*E*) e Eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (*A/Ci*)

Houve efeito significativo (valores- $p < 0,05$) entre todos os tratamentos das variáveis fisiológicas assimilação de carbono (*A*), transpiração (*E*) e eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (*A/Ci*) para 7 e 15 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos (apêndices A; B e C).

Aos 7 e 15 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes manejos hídricos, as plantas dos tratamentos T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias) e T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) diferiram estatisticamente entre si pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$), onde as plantas do tratamento T1 apresentaram os maiores valores médios das variáveis fisiológicas citadas acima, enquanto que as plantas submetidas ao tratamento T4 apresentaram os menores valores médios (Figura 8).

O fato das mudas submetidas ao tratamento T4 terem apresentado os menores valores médios de assimilação de carbono (*A*) pode ser explicado devido ser o tratamento de menor disponibilidade hídrica, sendo que o estado de hidratação foliar das plantas é um dos fatores que interfere no processo de abertura e fechamento estomático (DA COSTA; MARENCO, 2007), e conseqüentemente na assimilação de carbono.

Figura 8 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para as variáveis fisiológicas e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos**



Nota: Sendo **A e B**, assimilação de carbono (A) aos 7 e 15 dias; **C e D**, transpiração (E) aos 7 e 15 dias; **E e F**, eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (A/C), aos 7 e 15 dias, respectivamente.

(*)Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). (**)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

Ao analisar os resultados obtidos das variáveis fisiológicas assimilação de carbono (A) e da transpiração (E), foi possível identificar que aos 7 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes manejos hídrico, o tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) apresentou as menores médias das variáveis fisiológicas citadas acima, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Ou seja, houve uma

diminuição na taxa de assimilação de carbono e na transpiração das mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas ao déficit hídrico.

Esses resultados podem ser explicados devido a assimilação de carbono (A) e a transpiração (E) serem diretamente proporcionais, ou seja, conforme as plantas absorvem maiores quantidades de CO_2 , há também um aumento na transpiração (KLAR, 1984), sendo que a transpiração é o processo pelo qual, as plantas perdem água na forma de vapor para a atmosfera (SCHWAMBACH; SOBRINHO, 2014). Essa relação entre assimilação de carbono e transpiração se deve ao fato de que as plantas de ambientes terrestres ao realizarem a fotossíntese (assimilação de carbono) perdem água para a atmosfera (transpiração), e com isso, as plantas ficam expostas ao risco de desidratação (TAIZ; ZEIGER, 2013).

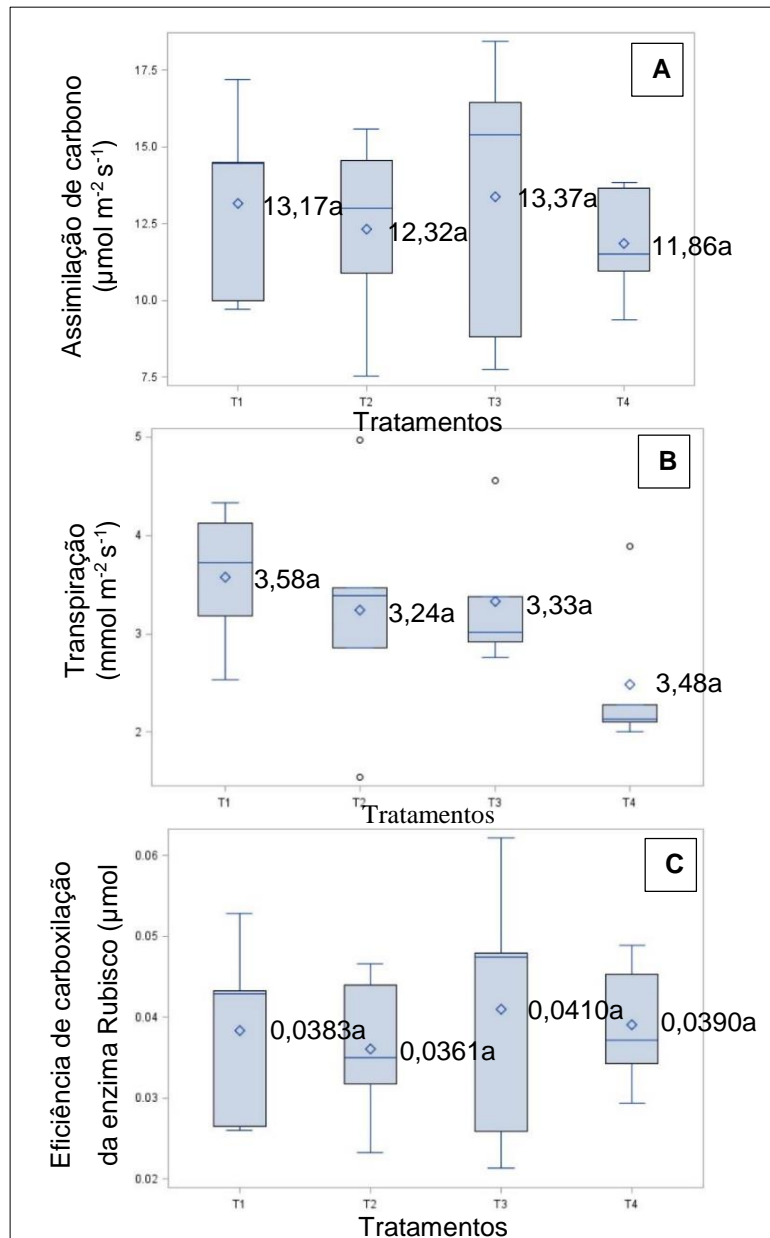
Ao analisar os valores médios das variáveis fisiológicas assimilação de carbono (A) e da eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (A/C_i) do tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) aos 7 e 15 dias após as plantas serem submetidas ao nível de estresse hídrico, houve uma diminuição das variáveis assimilação de carbono e a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco nessa condição hídrica (Figura 8 supracitada).

Esse fato pode ser explicado devido a assimilação de carbono e a enzima Rubisco estarem diretamente relacionadas entre si, pois a medida em que a planta assimila CO_2 é preciso que este seja sintetizado pela enzima Rubisco por meio do processo de carboxilação (CAIRO et al., 2009).

Aos 21 dias, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias das variáveis fisiológicas assimilação de carbono (A), transpiração (E) e eficiência da carboxilação da enzima Rubisco (A/C_i) para todos os tratamentos avaliados.

Ao analisar os resultados obtidos das mudas submetidas ao tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) ao longo do tempo (dias) avaliados, para as variáveis fisiológicas citadas acima, pôde-se observar que aos 21 dias (no final do processo de rustificação), as condições fisiológicas das mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas ao tratamento T4 ao serem comparadas às mudas submetidas ao tratamento T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias) foram similares, não diferindo estatisticamente pelo teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$) (Figura 9).

Figura 9 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para as variáveis fisiológicas e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos**



Nota: Sendo **A**, assimilação de carbono (*A*) aos 21 dias; **B**, transpiração (*E*) aos 21 dias; e **C**, eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (*A/Ci*), aos 21 dias. ^(*)Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). ^(**)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

Mesmo sob uma condição hídrica desfavorável (tratamento T4), as plantas se aclimataram a essa condição e seu estado fisiológico foi semelhante às plantas submetidas a condição hídrica favorável (tratamento T1).

Uma vez que, se as mudas do tratamento T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias) fossem levadas para plantio a campo, provavelmente sua taxa de sobrevivência seria menor, por terem dificuldades ao enfrentar alguma condição hídrica adversa, principalmente se houver uma estiagem, pois as mudas submetidas ao T1 não estavam sob uma condição de rustificação, ou seja, estiveram ao longo do experimento submetidas a uma condição hídrica favorável.

Entretanto, as plantas sob manejo hídrico do tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias), poderiam apresentar uma taxa de sobrevivência maior, devido as mudas terem se aclimatado a essas condições aos 21 dias, após a aplicação dos tratamentos ao observar as variáveis fisiológicas avaliadas, exceto para condutância estomática (*gs*) e carbono interno (*C_i*).

5.1.2 Condutância estomática (*gs*) e Carbono interno (*C_i*)

Houve efeito significativo entre todos os tratamentos (valores- $p > 0,05$) para todos os tempos (dias) avaliados (apêndices D e E).

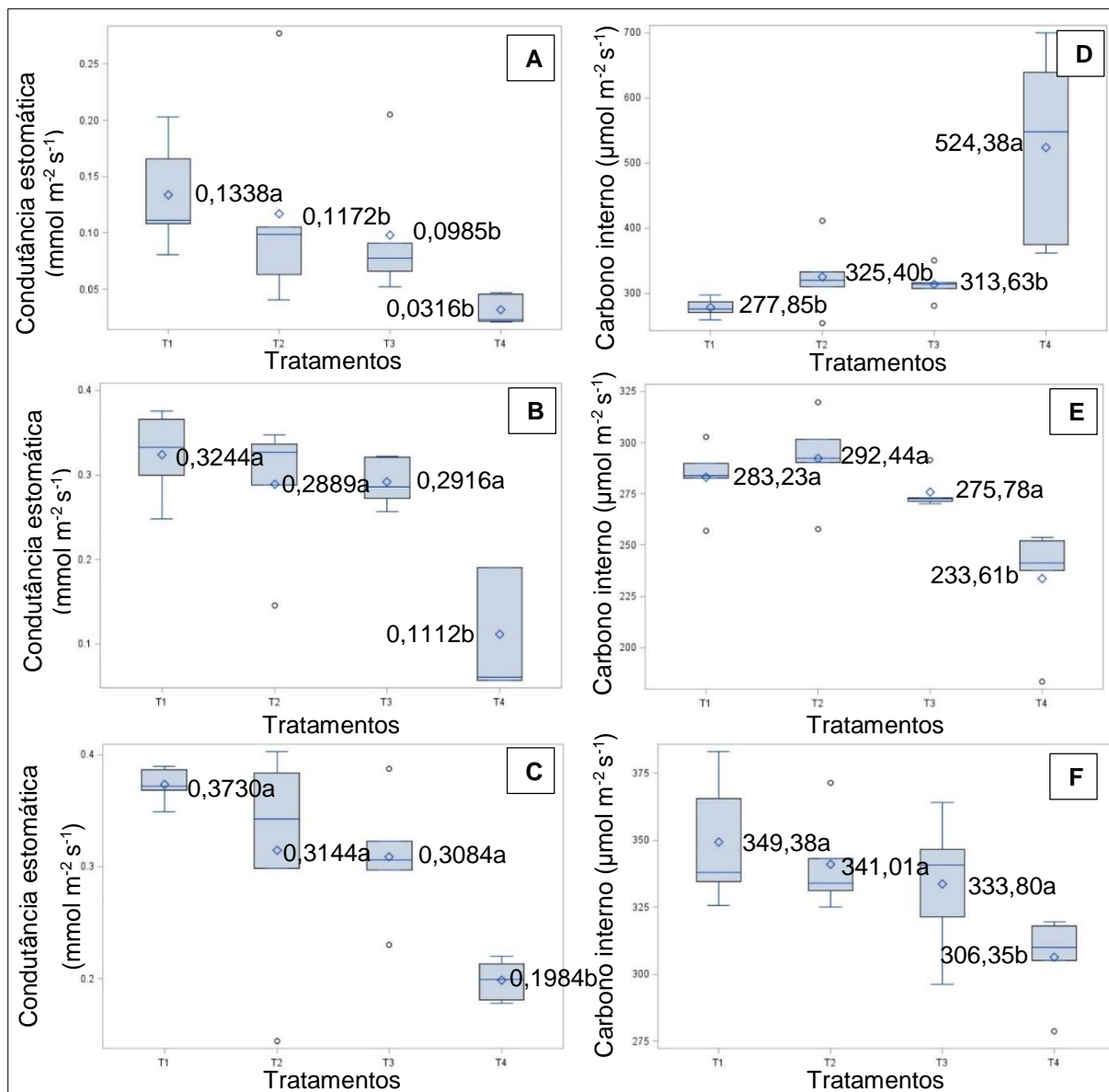
A variável fisiológica condutância estomática (*gs*) das mudas de *Eucalyptus urophylla* sob as diferentes condições de manejo hídrico, aos 7 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos, o tratamento T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias) foi o único que apresentou a maior média para esta variável, diferindo significativamente dos demais. Isso pode ter ocorrido devido a maior disponibilidade hídrica no substrato, pois a condutância estomática está diretamente relacionada com as trocas de vapor d'água da planta com o ambiente por meio da abertura e fechamento dos estômatos das plantas (KRAMER; BOYER, 1995).

Para a variável carbono interno, em todos os tempos (dias) avaliados, o tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) diferiu significativamente dos demais, apresentando aos 7 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos, a maior média dessa variável.

Aos 15 e 21 dias, as mudas submetidas ao tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) apresentaram as menores médias das variáveis condutância estomática (*gs*) e carbono interno (*C_i*), diferindo significativamente dos demais. Isso pode ter ocorrido pelo fato de que quando as plantas sofrem um déficit hídrico mais severo, a condutância estomática é baixa para que não haja maiores perdas de água pela planta no processo de transpiração (HISAO, 1973) (Figura 10).

Os resultados mencionados acima indicam que em condições em que as plantas são submetidas a déficit hídrico, ocorre uma diminuição do carbono interno na planta, pois nessas condições ocorre o fechamento estomático, para evitar a perda de água pela planta e conseqüentemente impediu a entrada de CO₂.

Figura 10 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para as variáveis fisiológicas e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias), após as mudas serem submetidas aos tratamentos**



Nota: Sendo **A, B e C** condutância estomática (gs) aos 7, 15 e 21 dias; e **D, E e F** carbono interno (C) aos 7, 15 e 21 dias. (*)Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). (**)Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias, T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

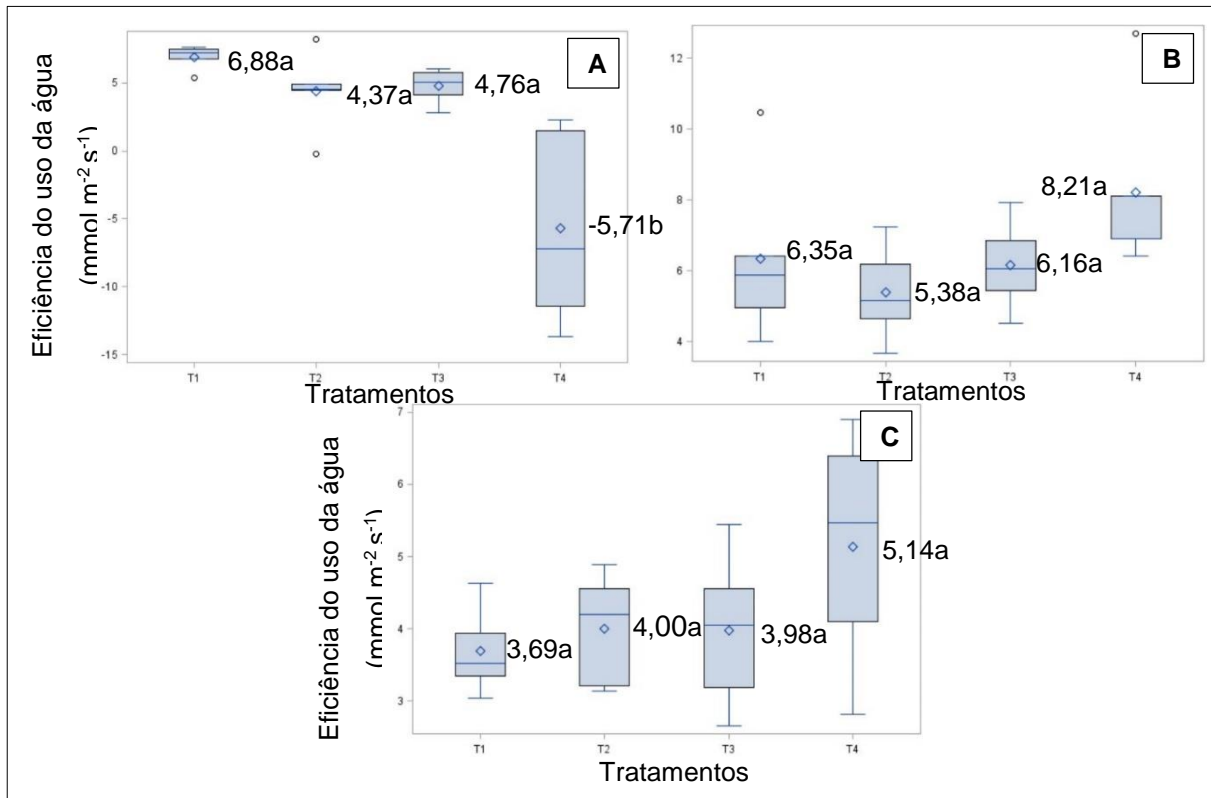
5.1.3 Eficiência do uso da água (EUA)

Houve efeito significativo entre todos os tratamentos (valores- $p < 0,05$) para 7 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos (apêndice F).

Aos 7 dias, apenas as mudas submetidas ao tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando os menores valores médios (Figura 11). Nos demais tempos (dias) avaliados, não houve diferença significativa entre todos os tratamentos.

Esses resultados indicam que as mudas submetidas ao tratamento T4, no início da fase de rustificação sentiram mais os efeitos da condição hídrica, que no caso, déficit hídrico, sobre a variável fisiológica eficiência do uso da água (EUA), e ao longo do processo de rustificação, foram se aclimatando as condições hídricas adversas.

Figura 11 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável eficiência do uso da água (EUA) e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos**



Nota: Sendo **A**, aos 7; **B**, 15 e **C**, 21 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos. ^(*)Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). ^(**)Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

De modo geral, os maiores valores das variáveis fisiológicas avaliadas foram encontrados nas plantas submetidas ao tratamento com maior disponibilidade hídrica (T1) se diferenciando estatisticamente das plantas submetidas ao tratamento com a menor disponibilidade hídrica (T4). Porém, aos 21 dias após as mudas serem submetidas ao tratamento T4, os valores médios das variáveis fisiológicas não diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, exceto para condutância estomática e carbono interno.

5.2 Efeito dos tratamentos nas variáveis morfológicas das mudas

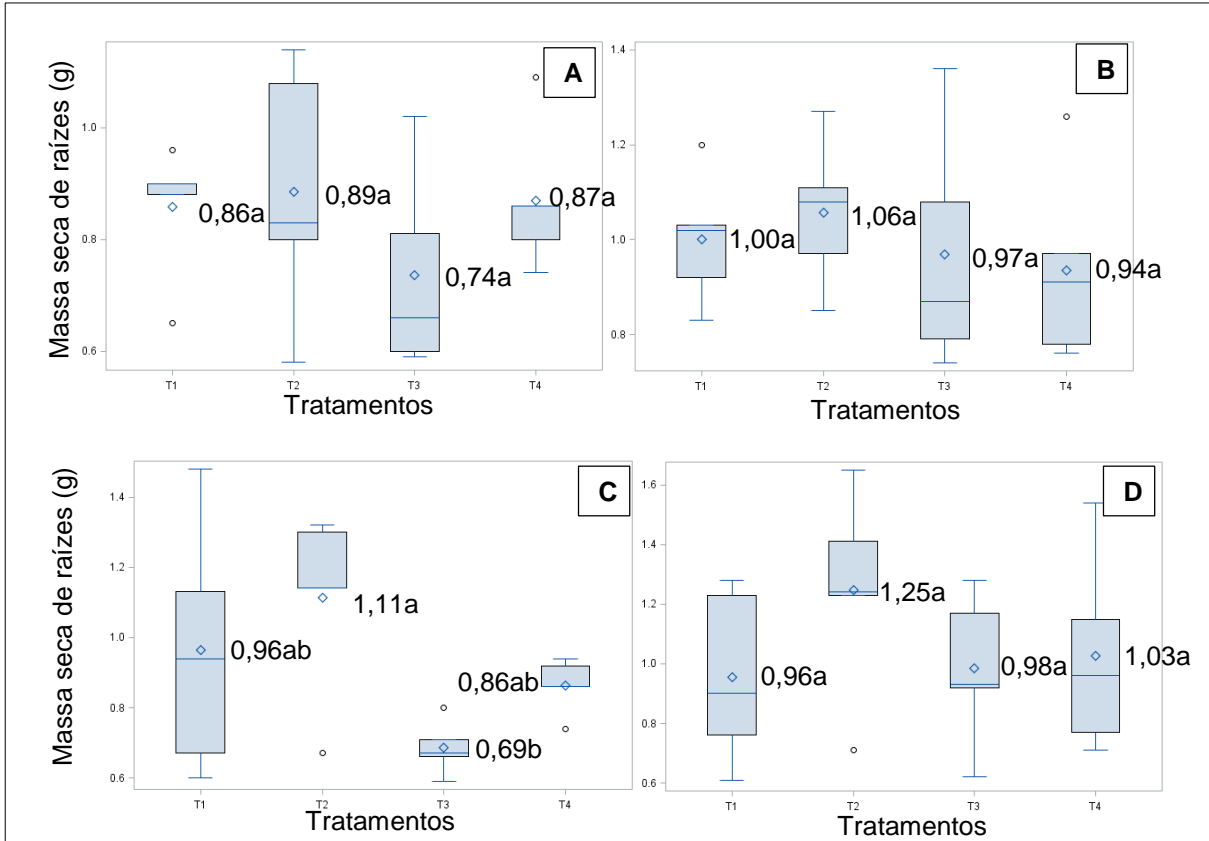
Os desvios por graus de liberdade e os resíduos padronizados de Pearson mostraram que os modelos lineares generalizados para as variáveis morfológicas avaliadas segundo o tempo (dias) foram bem ajustados (apêndices G a J).

5.2.1 Massa seca de raízes

Não houve efeito significativo (valores- $p < 0,05$) entre todos os tratamentos (T1: mudas irrigadas duas vezes ao dia, todos os dias; T2: mudas irrigadas uma vez ao dia, todos os dias; T3: mudas irrigadas uma vez ao dia, em dias alternados; T4: mudas irrigadas uma vez ao dia, a cada dois dias) para 7, 15 e 25 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos. Para 21 dias, houve efeito significativo (valores- $p > 0,05$) entre os tratamentos T2 e T3; e T2 e T4 (apêndice G).

Salienta-se que não houve efeito significativo (valores- $p < 0,05$) entre os valores médios de massa seca de raízes das mudas submetidas aos diferentes manejos hídricos submetidas aos tratamentos T1 e T4 nos diferentes tempos (dias) avaliados (Figura 12).

Figura 12 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável massa seca de raízes e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos**



Nota: Sendo **A**, aos 7; **B**, 15; **C**, 21 e **D**, 25 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos. ^(*)Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). ^(**)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

5.2.2 Massa seca da parte aérea

Houve efeito significativo entre todos os tratamentos (valores- $p < 0,05$) para todos os tempos (dias) avaliados (apêndice H).

De maneira geral, as médias da massa seca da parte aérea (comprimento entre o colo e a extremidade da folha mais jovem) das mudas de eucalipto submetidas aos diferentes manejos hídricos, não sofreu interferência dos tratamentos.

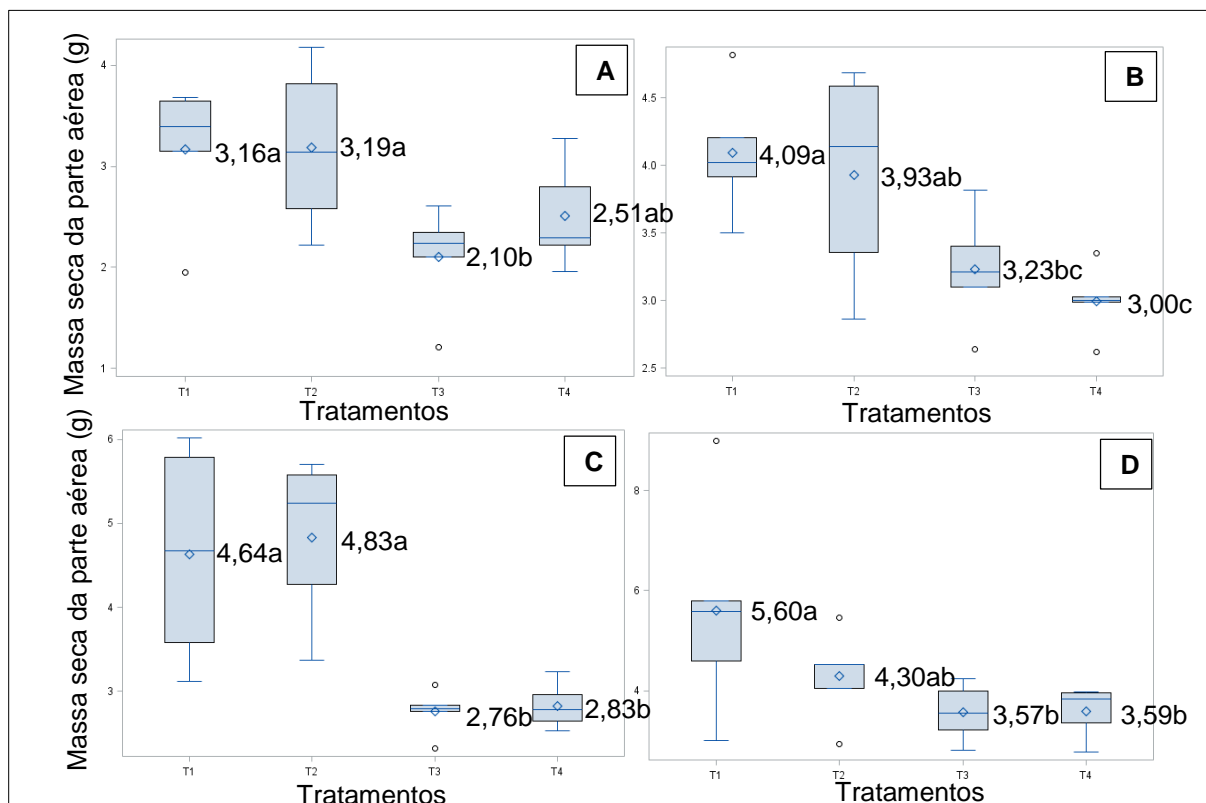
Aos 7 dias, após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos, foi possível identificar que os tratamentos T1 (mudas irrigadas duas vezes ao dia, todos os dias), T2 (mudas irrigadas uma vez ao dia, todos os dias) e T4 (mudas irrigadas uma vez ao dia, a cada dois dias), e os tratamentos T3 (mudas irrigadas uma vez ao

dia, em dias alternados) e T4 não diferiram. Houve apenas diferenças entre as médias do tratamento T3 se comparado aos tratamentos T1 e T2.

Aos 15 dias, houve apenas diferença significativa entre as médias do tratamento T4 se comparado aos tratamentos T1 e T2.

Aos 21 dias, houve uma separação entre os tratamentos T1 e T2 dos tratamentos T3 e T4, onde as mudas submetidas aos menores níveis hídrico (T1 e T2) apresentaram as maiores médias de massa seca da parte aérea, e as mudas submetidas aos maiores níveis hídrico (T3 e T4) apresentaram as menores médias (Figura 13).

Figura 13 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável massa seca da parte aérea e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos**



Nota: Sendo **A**, aos 7; **B**, 15; **C**, 21 e **D**, 25 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos. ^(*)Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). ^(**)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias, **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

5.2.3 Diâmetro do colo

Houve efeito significativo entre todos os tratamentos (valores- $p < 0,05$) para 7, 15 e 21 dias (apêndice I).

Aos 7 dias, houve uma separação entre os tratamentos T1 e T2 dos tratamentos T3 e T4, onde as mudas submetidas aos menores níveis de estresse hídrico (T1 e T2) apresentaram as maiores médias de diâmetro do colo, e as mudas submetidas aos maiores níveis de estresse hídrico (T3 e T4) apresentaram as menores médias.

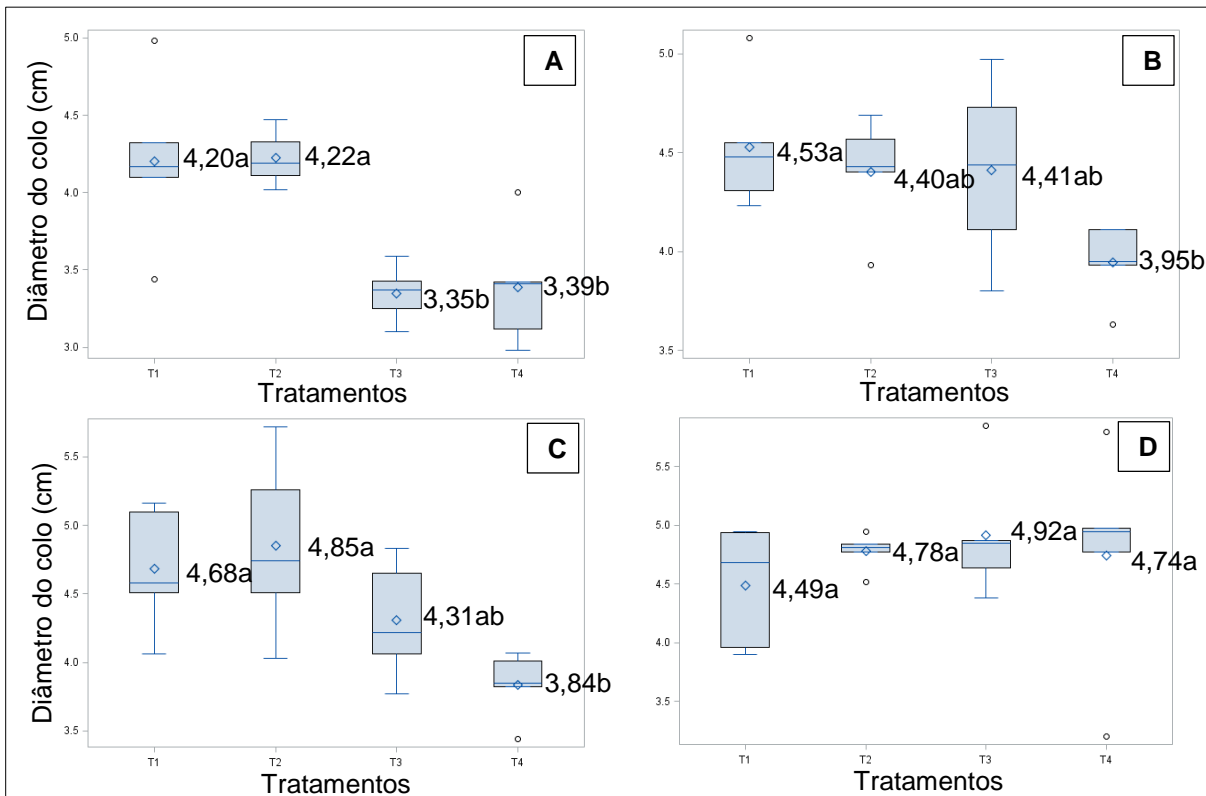
Aos 15 dias, os tratamentos T1, T2 e T3 e os tratamentos T2, T3 e T4 não diferiram estatisticamente entre si. Houve apenas diferenças significativas entre os tratamentos T1 e T4, apresentando as maiores e as menores médias, respectivamente.

Aos 21 dias, os tratamentos T1, T2 e T3, os tratamentos T3 e T4 não diferiram estatisticamente entre si. Entretanto, houve apenas diferenças significativas entre os tratamentos T1 e T2 em relação ao T4. As mudas dos tratamentos T1 e T2 foram submetidas aos menores níveis estresses hídricos, apresentando as maiores médias dessa variável morfológica, e as mudas do tratamento T4 foram submetidas ao maior nível de estresse hídrico, apresentando as menores médias (Figura 14).

Esses resultados podem ser explicados devido ao fato de que sob estresse hídrico, as plantas inibem a divisão celular e a síntese da parede celular (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Aos 25 dias, não houve interferência dos diferentes manejos hídricos nas médias de diâmetro do colo das mudas de eucalipto, ou seja, não houve diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

Figura 14 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável diâmetro do colo das mudas e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos**



Nota: Sendo **A**, aos 7; **B**, 15; **C**, 21 e **D**, 25 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos. ^(*) Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). ^(**) Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

5.2.4 Altura das mudas

Houve efeito significativo entre todos os tratamentos (valores- $p < 0,05$) para 7, 21 e 25 dias (apêndice J).

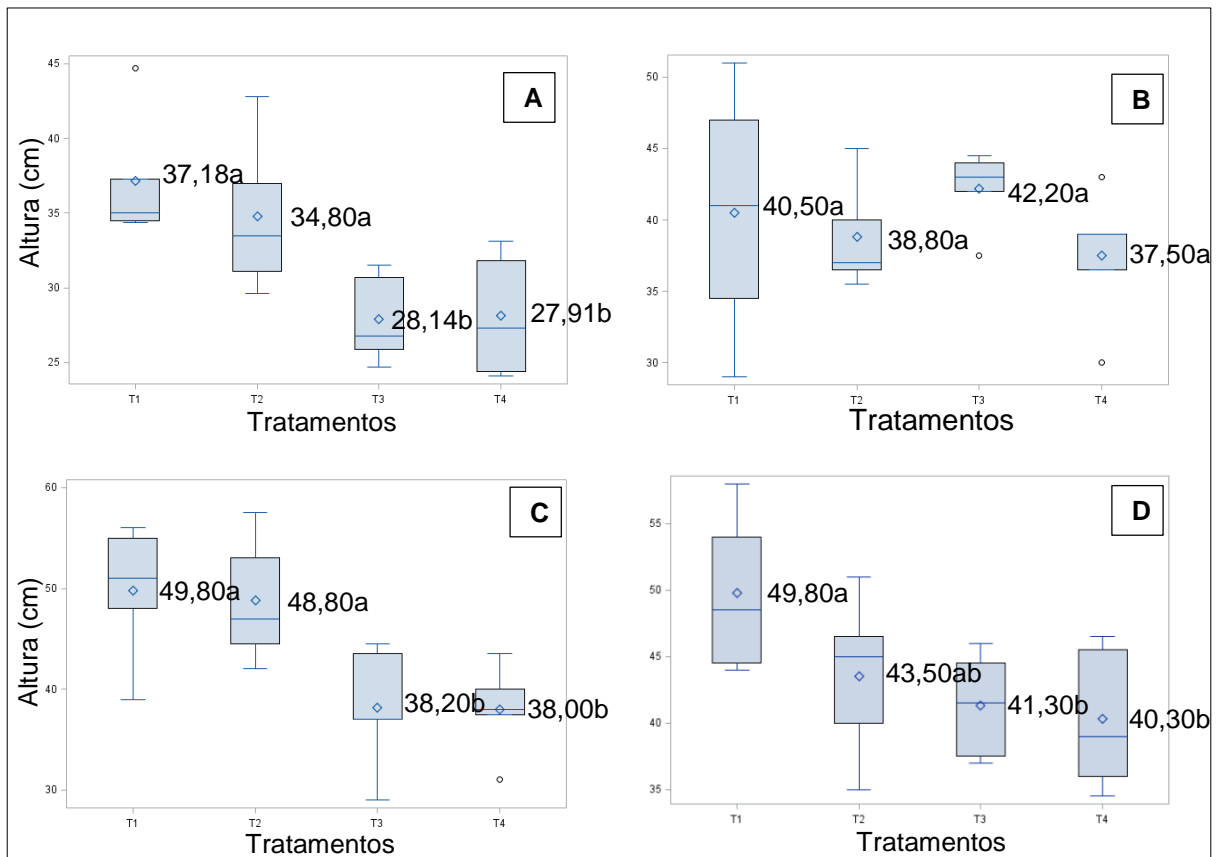
Aos 7 e aos 21 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes manejos hídricos, os tratamentos T1 e T2 apresentaram as maiores alturas médias em relação aos demais tratamentos (T3 e T4), não diferindo estatisticamente entre si. E os tratamentos T3 e T4 apresentaram as menores alturas médias, não diferindo estatisticamente entre si. Aos 15 dias, todos os tratamentos avaliados não diferiram estatisticamente (Figura 15).

Aos 25 dias, houve uma homogeneidade, entre os tratamentos T1 e T2, e entre os tratamentos T2, T3 e T4, ou seja, esses tratamentos não diferiram entre si. Apenas

os tratamentos T1 e T4 apresentaram médias estatisticamente diferentes, sendo que as plantas submetidas ao T1 apresentaram as maiores alturas médias em relação às plantas do tratamento T4.

Esses resultados indicam que os diferentes manejos hídricos interferiram na altura das mudas, pois o estresse hídrico causado pela falta de água reduz o crescimento e a produtividade das plantas (DIFFENBAUGH; FIELD, 2013), e quando as plantas são submetidas ao estresse hídrico, o primeiro sintoma a surgir é uma redução ou suspensão nos ritmos de crescimentos, pois a falta da água compromete o alongamento celular (CAIRO, 1995).

Figura 15 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável altura das mudas e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos**



Nota: Sendo **A**, aos 7; **B**, 15; **C**, 21 e **D**, 25 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos. ^(*)Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$). ^(**)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

5.3 Reflectância foliar no infravermelho aplicada a disponibilidade hídrica de mudas de *Eucalyptus urophylla*

5.3.1 Estatísticas descritivas das reflectâncias foliares

Para a discussão dos resultados sobre a reflectância foliar média no infravermelho aplicada ao estado hídrico foram analisadas as principais bandas de absorção pela água, sendo elas 970nm, 1190nm (infravermelho próximo) e 1450nm (infravermelho médio).

As mudas submetidas aos diferentes tratamentos (manejos hídricos) apresentaram reflectâncias foliares distintas. Nas principais bandas de absorção pela água na região do infravermelho próximo (970nm e 1190nm), aos 7 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos, a curva média de reflectância foliar dos tratamentos T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia, todos os dias) e T3 (irrigação uma vez ao dia, dias alternados) apresentaram valores de reflectância muito próximos, sendo que do tratamento T1 ficou levemente abaixo dos tratamentos T2 e T3. A curva média do tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) apresentou a maior reflectância foliar média.

Na região do infravermelho médio (1450nm) a curva média dos tratamentos T1 e T2 foram muito próximas, se sobrepuseram; o tratamento T3 ficou levemente acima e do T4 se manteve acima dos demais, indicando um menor teor de umidade (Figura 16A).

De modo geral, aos 7 dias, as mudas submetidas ao tratamento T4 apresentaram ao longo dos espectros de infravermelho próximo e médio, a maior curva média de reflectância foliar se comparado com os demais tratamentos.

O comportamento espectral das folhas das mudas de eucalipto foi o esperado, pois nessas regiões, a radiação eletromagnética é fortemente absorvida pela água (PONZONI, 2002), por isso é a região responsável por representar o conteúdo de água foliar, principalmente nas bandas espectrais de 970nm, 1190nm, 1450nm, 1940nm e 2700nm (JENSEN, 2011).

Quanto maior o teor de umidade foliar das plantas (tratamentos T1 e T2), a curva média de reflectância apresentou os menores valores de reflectância, e quanto menor o teor de umidade (tratamento T4), maiores foram os valores de reflectância. Esse comportamento espectral ocorre, pois o termo reflectância se refere à radiação

eletromagnética refletida pela planta, ou seja, representa os valores da diferença entre a radiação incidente (irradiância) nas folhas, proveniente do espectrorradiômetro e a radiação absorvida (absortância) pelas folhas das mudas de eucalipto.

Isso significa que se a planta possui menor teor de umidade, ela vai absorver com menor intensidade a radiação eletromagnética incidente, e conseqüentemente, refletir com maior intensidade essa radiação, e se a planta possuir maior teor de umidade, ocorre o inverso.

Aos 15 dias, a curva média do tratamento T1 ficou abaixo dos demais, indicando um maior teor de umidade nas folhas das mudas, e a curva média dos demais tratamentos indicaram um menor teor de umidade foliar devido as curvas médias terem sido superiores (Figura 16B).

Porém, aos 21 dias, o comportamento espectral das curvas médias foi ao contrário do esperado, pois esperava-se que as mudas com maior teor de umidade (tratamentos T1 e T2) refletiriam com maior intensidade se comparado com plantas com menor teor de umidade (tratamentos T3 e T4) (Figura 16C). Essa resposta espectral foliar das mudas pode ter sido em função da aclimação das mesmas às condições adversas do manejo hídrico no processo de rustificação (Figura 16C), onde as plantas se adaptam a essas condições gradativamente (ALVES, 2017).

Ao analisar o comportamento da assinatura espectral de folhas de *Eucalyptus spp.*, Strabeli et al. (2020), verificaram que o conteúdo relativo de água influenciou o comportamento espectral das folhas de eucalipto e quanto menor o conteúdo de água na folha, maior foi a reflectância, principalmente na região do infravermelho médio. Resultados semelhantes foram relatados por Fernandes et al. (2015), que identificaram que sob perda da umidade, as espécies florestais analisadas também apresentaram valores baixos de absortância, e conseqüentemente, maiores valores de reflectância nas faixas espectrais entre 1300nm e 2000nm (infravermelho médio).

Esses fenômenos são possíveis de serem observados nessa faixa espectral principalmente pela combinação e transição vibracional das moléculas de água que absorvem com maior intensidade a radiação eletromagnética nesses comprimentos de onda (PALMER; WILLIAMS, 1974).

Dentre as tecnologias de sensoriamento remoto, a espectrorradiometria é uma técnica que permite identificar e monitorar os efeitos dos diferentes estresses sobre as características fisiológicas das plantas por meio da reflectância espectral foliar de forma mais rápida, com maior nível de precisão e por ser um método que não precisa

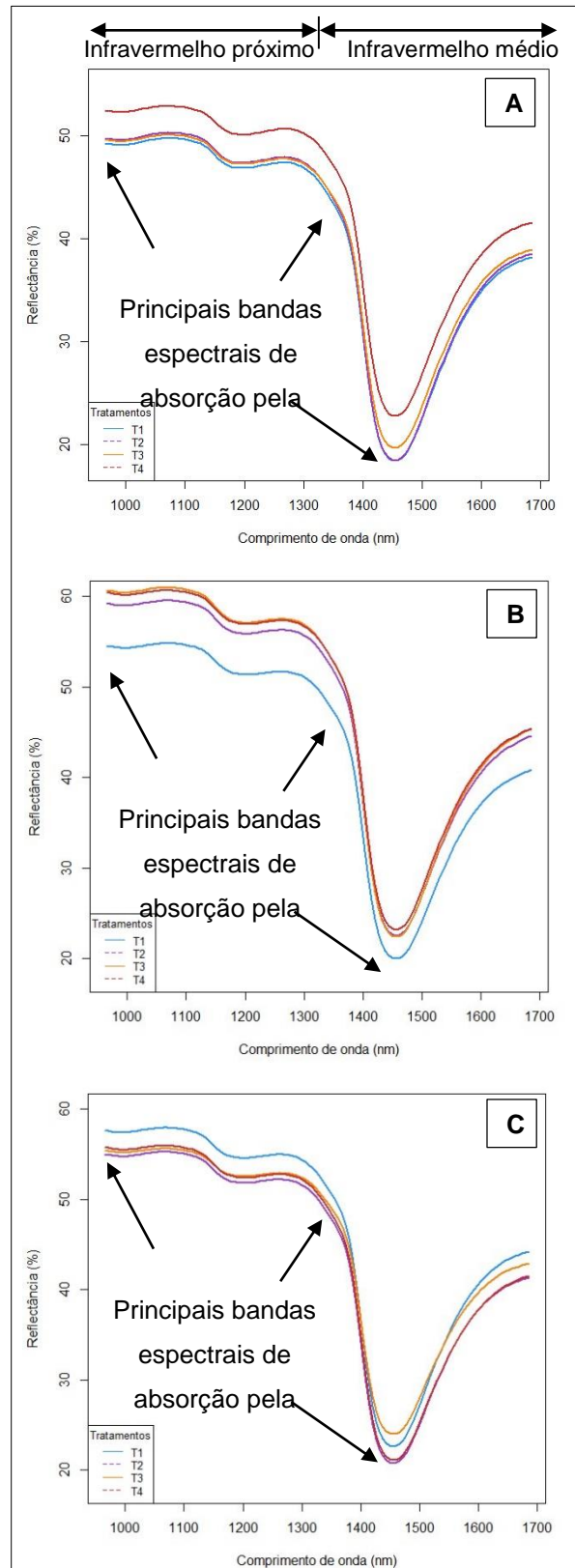
ser destrutivo (OLIVEIRA et al., 2017) vem ganhando cada vez mais destaque, pois o uso de ferramentas que auxiliam na determinação da condição fisiológica das mudas e permitam um diagnóstico mais rápido e preciso são fundamentais, devido ao estresse inicial em plantas ser difícil de ser identificado e caracterizado (BEHMANN et al., 2014).

Ao analisar os gráficos da curva média de reflectância espectral com as variáveis fisiológicas das mudas de eucalipto submetidas aos diferentes tratamentos, foi possível identificar aos 7 dias, que a curva média da reflectância das mudas submetidas ao tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) apresentou os maiores valores médios de reflectância nas regiões espectrais do infravermelho próximo (970nm e 1190nm) e médio (1450nm) se comparado com os demais tratamentos. Esses resultados indicam, que as mudas do tratamento T4 foram submetidas à menor disponibilidade hídrica.

As variáveis fisiológicas que apresentaram comportamento semelhante ao da reflectância foliar foram assimilação de carbono (A), transpiração (E), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (A/Ci), onde as mudas submetidas ao mesmo tratamento (T4) apresentaram aos 7 dias, os menores valores médios dessas variáveis fisiológicas, diferindo estatisticamente entre os demais tratamentos pelo teste de *Tukey-Kramer* ($p < 0,05$).

Ou seja, as mudas submetidas a menor disponibilidade hídrica (tratamento T4) apresentaram os maiores valores médios da reflectância foliar, devido à baixa absorção da radiação eletromagnética pela água presente nos tecidos celulares das mudas, e conseqüentemente, os menores valores médios das variáveis fisiológicas assimilação de carbono (A), transpiração (E), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência da carboxilação da enzima Rubisco (A/Ci).

Figura 16 - Curvas médias de reflectância foliar no infravermelho próximo e médio de mudas de *Eucalyptus urophylla* aos 7(A), 15(B) e 21(C) dias após serem submetidas aos tratamentos^(*)



Nota: ^(*)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias); **T2** (irrigação uma vez ao dia, todos os dias); **T3** (irrigação uma vez ao dia, dias alternados), e **T4** (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias).

5.3.2 Redução da dimensionalidade das variáveis resposta de reflectância foliar no infravermelho por componentes principais e Função Discriminante

Para cada planta, haviam 128 variáveis respostas, ou seja, o eixo y era de dimensão 128. Por isso fez-se necessário reduzir a dimensionalidade das variáveis resposta (128 valores de reflectância foliar para cada planta) pelo método de componentes principais.

O primeiro componente principal (prin_1), ou seja, a combinação linear das 128 variáveis resposta, explicou 94,08% da variabilidade aos 7 dias; 96,44% aos 15 dias; 91,79% aos 21 dias, e 96,83% aos 25 dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos. O segundo componente principal (prin_2) explicou 5,68% da variabilidade aos 7 dias; 3,42% aos 15 dias; 7,88% aos 21 dias, e 2,89% aos 25 dias (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores da redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada de componentes principais das 128 variáveis respostas de reflectância foliar no infravermelho próximo e médio, segundo tratamentos^(*) e o tempo (dias) desde o início do experimento

Tempo (dias)	Primeiro componente (%) ^(**)	Segundo componente (%) ^(**)
7	94,08	5,68
15	96,44	3,42
21	91,79	7,88
25	96,83	2,89

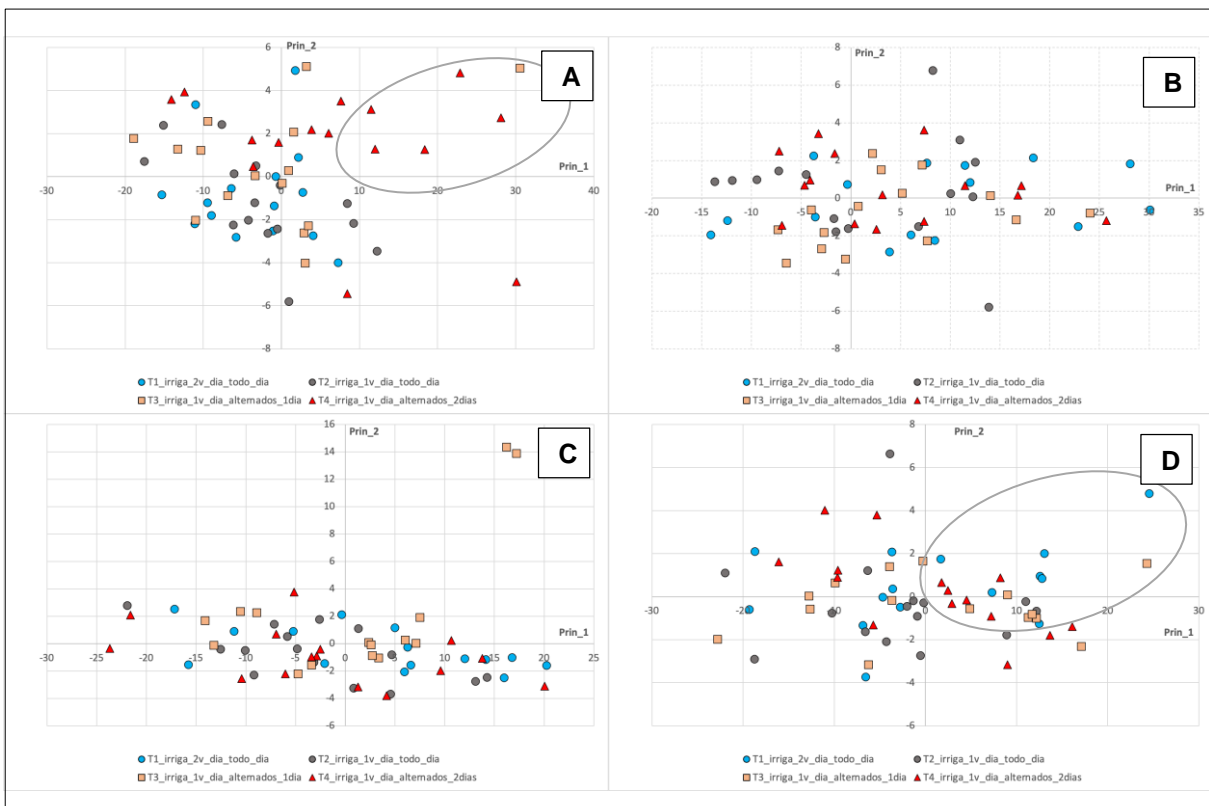
^(*)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias); **T2** (irrigação uma vez ao dia, todos os dias); **T3** (irrigação uma vez ao dia, dias alternados), e **T4** (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias).
^(**) proporção da variabilidade total que é explicada pelo componente principal.

Ao comparar os dois componentes principais, o primeiro componente (prin_1) foi o que melhor explicou a variabilidade das 128 variáveis respostas.

Aos 7 dias, houve um agrupamento em determinada região do gráfico das mudas submetidas ao tratamento T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) (Figura 17A), indicando uma separação das mudas do tratamento T4 dos demais tratamentos.

E aos 25 dias, houve um agrupamento em determinada região do gráfico das mudas submetidas ao tratamento T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias) (Figura 17D), indicando uma separação das mudas do tratamento T1 dos demais tratamentos.

Figura 17 - Gráficos de redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada de componentes principais (1º e 2º componentes (prin_1 e prin_2, respectivamente) das 128 variáveis respostas de reflectância foliar no infravermelho próximo e médio (966,03nm a 1685,09nm), segundo tratamentos^(*) e o tempo (dias)^() após as mudas serem submetidas aos tratamentos**



Nota: ^(*)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias); **T2** (irrigação uma vez ao dia, todos os dias); **T3** (irrigação uma vez ao dia, dias alternados), e **T4** (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias). ^(**)Aos 7 **(A)**, 15 **(B)**, 21 **(C)** e 25 **(D)** dias após as mudas serem submetidas aos tratamentos.

De acordo com o teste de normalidade de *Shapiro Wilk* calculado para o primeiro componente principal, pois foi o componente que melhor explicou a variabilidade das 128 variáveis respostas, foi possível identificar que todos os dados dos tratamentos em todos os tempos (dias) avaliados seguiram distribuição normal (Tabela 2).

Tabela 2 - Média, desvio padrão e valor-p do Teste de Normalidade^(*) para o 1º componente principal referente a redução da dimensionalidade das variáveis resposta de reflectância foliar no infravermelho, segundo tratamentos^() e tempo (dias)**

Tratamento	Tempo (dias)	Média	Desvio-padrão	Teste de normalidade
T1	7	-3,5033	6,6794	0,9538
	15	-9,6960	10,5550	0,9779
	21	3,4144	11,8382	0,9441
	25	1,2188	12,4041	0,9447
T2	7	-2,3223	8,1911	0,9549
	15	1,6282	9,6092	0,9114
	21	-2,5643	9,5263	0,9759
	25	-2,9968	9,5612	0,9375
T3	7	-1,8262	11,4433	0,8566
	15	3,7845	8,9369	0,9300
	21	0,6879	9,7302	0,9481
	25	1,2089	13,0580	0,9761
T4	7	7,6518	13,4020	0,9688
	15	4,2833	9,9008	0,9215
	21	-1,5379	12,1240	0,9671
	25	0,5692	9,6640	0,9597

Nota: ^(*)Teste de normalidade de *Shapiro Wilk*. H_0 : os dados seguem distribuição normal; H_1 : os dados não seguem distribuição normal; ^(**)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

A classificação por tratamento referente à redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada não obteve resultados satisfatórios, pois as taxas de erro média foram superiores a 55% para todos os tempos (dias) avaliados, sendo 55% aos 7 dias; 60% aos 15 dias; 63,33% aos 21 dias, e 56,67% aos 25 dias (Tabela 3).

Tabela 3 - Função linear discriminante dos 1º e 2º componentes principais referente à redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada

Tempo (dias)	Tratamento	Número de observações e Classificação em percentual por tratamento				
		1	2	3	4	Total
7	T1	5 40,00	5 40,00	2 13,33	1 6,67	15 100,00
	T2	4 26,67	10 66,67	1 6,67	0 0,00	15 100,00
	T3	5 33,33	7 46,67	1 6,67	2 13,33	15 100,00
	T4	3 20,00	1 6,67	1 6,67	10 66,67	15 100,00
	Total	18 30,00	24 40,00	5 8,33	13 21,67	60 100,00
	Anteriores	0,25	0,25	0,25	0,25	
		Contagem de erros estimados em percentual por tratamento				
	Tratamento T1	Tratamento T2	Tratamento T3	Tratamento T4	Total	
	Taxa de erro	60,00	33,33	93,33	33,33	55,00
	Anteriores	25,00	25,00	25,00	25,00	
15	T1	10 66,67	1 6,67	2 13,33	2 13,33	15 100,00
	T2	4 26,67	1 6,67	5 33,33	5 33,33	15 100,00
	T3	3 20,00	0 0,00	7 46,67	5 33,33	15 100,00
	T4	3 20,00	4 26,67	4 26,67	4 26,67	15 100,00
	Total	20 33,33	6 10,00	18 30,00	16 26,67	60 100,00
	Anteriores	0,25	0,25	0,25	0,25	
		Contagem de erros estimados por tratamento				
	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Total	
	Taxa de erro	33,33	93,33	53,33	73,33	63,33
	Anteriores	25,00	25,00	25,00	25,00	
21	T1	8 53,33	5 33,33	1 6,67	1 6,67	15 100,00
	T2	4 26,67	9 60,00	1 6,67	1 6,67	15 100,00
	T3	6 40,00	6 40,00	3 20,00	0 0,00	15 100,00
	T4	4 26,67	8 53,33	1 6,67	2 13,33	15 100,00
	Total	22 36,67	28 46,67	6 10,00	4 6,67	60 100,00
	Anteriores	0,25	0,25	0,25	0,25	
		Número de observações e Classificação em percentual por tratamento				
	Tratamento	1	2	3	4	Total

Nota: (*) Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

Tabela 3 (continuação) - Função linear discriminante dos 1º e 2º componentes principais referente à redução da dimensionalidade pelo método de análise multivariada

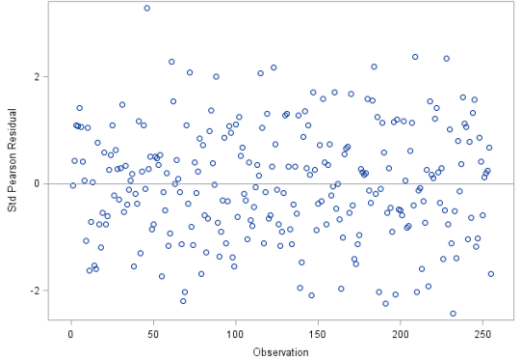
Tempo (dias)	Contagem de erros estimados por tratamento					
	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Total	
21	Taxa de erro	46,67	40,00	80,00	86,67	63,33
	Anteriores	25,00	25,00	25,00	25,00	
25	Tratamento	Número de observações e Classificação em percentual por tratamento				
		1	2	3	4	Total
	T1	4 26,67	1 6,67	3 20,00	7 46,67	15 100,00
	T2	1 6,67	5 33,33	5 33,33	4 26,67	15 100,00
	T3	1 6,67	2 13,33	6 40,00	6 40,00	15 100,00
	T4	1 6,67	1 6,67	2 13,33	11 73,33	15 100,00
	Total	7 11,67	9 15,00	16 26,67	28 46,67	60 100,00
	Anteriores	0,25	0,25	0,25	0,25	
		Contagem de erros estimados por tratamento				
		Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Total
Taxa de erro	73,33	66,67	60,00	26,67	56,67	
Anteriores	25,00	25,00	25,00	25,00		

Nota: (°)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

5.3.3 Efeito dos tratamentos nos componentes principais

Os desvios por graus de liberdade e os resíduos padronizados de Pearson mostraram que os modelos lineares generalizados para o primeiro componente principal foram bem ajustados. Além disso, houve efeito significativo entre todos os tratamentos e o tempo (dias) (valores- $p < 0,05$) (Tabela 4).

Tabela 4 - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de Pearson) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para o primeiro componente principal

Efeitos	valores-p	Desvios por graus de liberdade	Resíduos padronizados de Pearson
Tratamentos	0,0326		
Tempo (dias)	0,9707	1,0714	
tratamentos ^(*) tempo	0,0033		

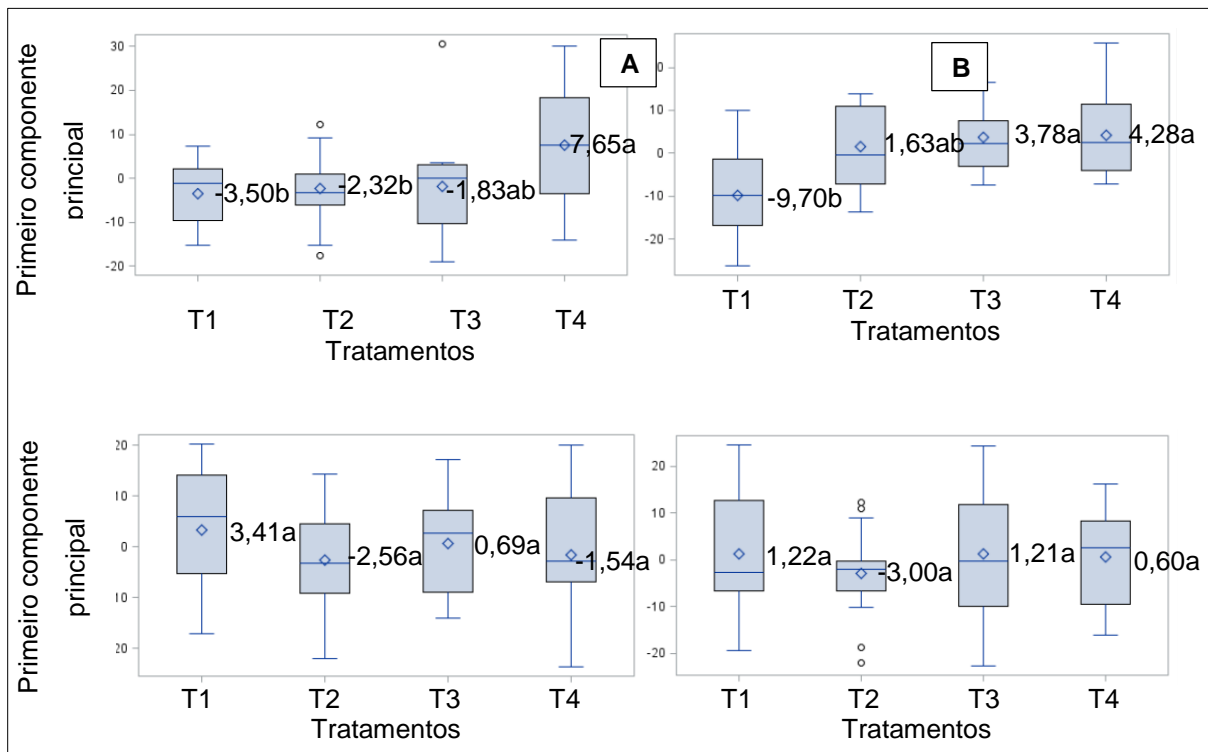
Nota: ^(*)Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias, **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

Aos 7 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes manejos hídricos, os tratamentos T1 (irrigação duas vezes ao dia, todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia, todos os dias) e T3, e os tratamentos T3 (irrigação uma vez ao dia, dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia, a cada dois dias) não diferiram entre si.

Aos 15 dias, os tratamentos T1 e T2, e os tratamentos T2, T3 e T4 não diferiram estatisticamente entre si.

Aos 21 e 25 dias, não houve diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, a combinação dos 128 valores médios de reflectância espectral das mudas de eucalipto não diferenciou os tratamentos entre si (Figura 18).

Figura 18 - Box-plots com médias^(*) dos diferentes manejos hídricos na fase de rustificação de mudas de *Eucalyptus urophylla* referente ao ajuste dos modelos lineares generalizados para a variável primeiro componente principal e como covariáveis os tratamentos^(), segundo o tempo (dias) após as mudas serem submetidas aos tratamentos**



Nota: Sendo **A**, aos 7 e **B**, 15 dias após as mudas serem submetidas aos diferentes tratamentos.

(*) Médias, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). (**) Tratamentos: **T1** (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), **T2** (irrigação uma vez ao dia todos os dias), **T3** (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e **T4** (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

6 CONCLUSÕES

É possível identificar o estado hídrico de mudas de *Eucalyptus urophylla* na fase de rustificação por meio de espectroscopia de infravermelho próximo e médio nas bandas espectrais de 970nm, 1190nm (infravermelho próximo) e 1450nm (infravermelho médio), onde nessa região espectral, a radiação eletromagnética é absorvida pela água presente nas estruturas celulares das folhas das plantas.

O estado hídrico das mudas de *Eucalyptus urophylla* na fase de rustificação afeta as variáveis fisiológicas assimilação de carbono (A), transpiração (E), eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (A/C_i), eficiência do uso da água (EUA), condutância estomática (g_s) e carbono interno (C_i).

O estado hídrico das mudas de *Eucalyptus urophylla* na fase de rustificação afeta as variáveis morfológicas altura, diâmetro do colo e massas secas da parte aérea e raiz.

A espectroscopia de infravermelho próximo e médio demonstrou ser uma técnica eficiente para a identificação do estado hídrico das mudas de *Eucalyptus urophylla* sob diferentes níveis hídricos e tem potencial para aplicação e uso em viveiros florestais, permitindo um melhor manejo hídrico das mudas na fase de rustificação.

A fim de propagar a técnica para aplicação em diferentes espécies florestais, trabalhos futuros podem permitir o desenvolvimento e o conhecimento sobre como a radiação eletromagnética interage com diferentes tipos de vegetação, resultando no conhecimento de como é o comportamento espectral de cada espécie florestal a fim de investigar cada vez mais como é possível ter manejos mais adequados na produção de mudas.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C.; ZAURA, A. A. V.; MAFIA, R. G.; DE ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: Edição do autor. 284p., 2002.
- BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. **Tolerância à inundação de *Cecropia pachyrachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos**. Acta Botânica Brasílica, v. 22, n. 1, p. 91-98, 2008.
- BEHERA, R. K.; MISHRA, P. C.; CHOUDHURY, N. K. **High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves**. Journal of Plant Physiology, 2002.
- BEHMANN, J.; STEINRÜCKEN, J.; PLÜMER, L. **Detection of early plant stress responses in hyperspectral images**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Amsterdam, v. 93, p. 98-111, 2014.
- BONILLA, M. M. **Dados hiperespectrais na determinação do conteúdo relativo de água na folha em cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2015.
- BRANDELERO, C.; BERRA, E. F.; BACKES, K. S.; PEREIRA, R. S.; BRUN, E. J. **Espectrorradiometria na região do visível e do infravermelho próximo em povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 1, 2012.
- CAIRO, P. A. R. **Curso Básico de Relações Hídricas de Plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995.
- CAIRO, P. A. R.; DE OLIVEIRA, L. E. M.; MESQUITA, A. C. **Atividade da rubisco e das enzimas de síntese de hidrólise de sacarose, associada à produtividade de látex, em clones de seringueira [*Havea brasiliensis* (Willd ex. ADR. de Juss.) Muell.-Arg] cultivados em Lavras, MG**. Ciência e Agrotecnologia (online), v. 33, n. 2, 2009.
- CARRIELO, F.; MIRANDA, F. G.; PONZONI, F. J.; CARDOSO, P. de A.; MARTINS, S. P. **Uso da transmitância na caracterização espectral de folhas verdes**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril, INPE, p. 2451-2457, 2003.
- CIB, Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Guia do eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. Maio, 2008.
- COOPMAN, R. E.; JARA, J. C.; BRAVO, L. A.; SÁEZ, K. L.; MELLA, G. R.; ESCOBAR, R. **Changes in morpho-physiological attributes of *Eucalyptus***

globulus plants in response to different drought hardening treatments.

Electronic Journal of Biotechnology, v.11, n.2, 2008.

COSTA, B. S.; OLIVEIRA, M. L. **Florestas plantadas de eucalipto no brasil: uma cultura nociva aos recursos hídricos?**. Veredas do Direito, Belo Horizonte, v.16, n.36, 2019.

COSTA E SILVA, F.; SHVALEVA, A.; MAROCO, J. P.; ALMEIDA, M. H.; CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S. **Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance**. Tree Physiology, v.24, 2004.

COURA, S. M. da C.; PIROMAL, R. A. S.; CANAVESI, V.; GOMES, M. N.; QUIRINO, V. F.; PONZONI, F. J. **Comparação das características espectrais das espécies *Ligustrum japonicum* Thunb. E *Cassia macranthera* DC.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 1477-1484, 2005.

DA COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. **Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*)**. Ciências Florestais, Acta Amazonica, v.37, n. 2, 2007.

DA CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. Irriga, v.14, n. 1, 2009.

DA SILVA, M. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. 2003. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

DA SILVA, M. R.; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfofisiológicas de mudas de *Eucalyptus Grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. Irriga, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 31-40, jan/abril, 2004.

DA SILVA, M. R.; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfofisiológicas de mudas de *Eucalyptus Grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. Irriga, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 31-40, jan/abril, 2004.

DA SILVA, O. F. **Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas – Goiás**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis). Goiânia, 2014.

DA SILVEIRA, T. A.; CEOLA, G. **Fisiologia vegetal**. Grupo A, 2019.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. **Viveiros Florestais**. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (Ed.). Produção de sementes e mudas de espécies florestais. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008.

DAVIS, A. S.; JACOBS, D. F. **Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance.** *New Forests*, v. 30, n. 2-3, p. 295-311, 2005.

DE BRITO, M. M.; FARIAS, A. **Espectrorradiometria foliar de árvores frutíferas e o efeito da umidade sobre a resposta espectral das folhas.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE: Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.

DE MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** Capítulo 1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos, 2002.

DE OLIVEIRA, M. R. R. **Uso de sensoriamento remoto hiperespectral na caracterização da cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, 2019.

DE OLIVEIRA, L. F. R.; SANTANA, R. C. **Padrões de reflectância foliar de eucalipto em diferentes dias e períodos do dia.** *Colloquium Agrariae*, v. 15, n. 1, 2019.

DE OLIVEIRA, E. B.; PINTO JÚNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento.** Brasília, DF: Embrapa, 2021.

DE SOUSA, C. L.; RIBEIRO, M. C.; PONZONI, F. J. **Influência do tempo e do tipo de armazenamento na reflectância espectral de folhas de *Eucalyptus grandis* “EX-SITU”.** *Rev. Árvore*, Viçosa, MG, v.20, n.2, p.255-265, 1996.

DOS SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; DEDECEK, R. A.; DOS SANTOS, P. E. T.; DA SILVA, H. D. **Morte de Árvores Resultante de Práticas Inadequadas durante a Implantação Florestal.** Colombo, PR: Embrapa, Circular Técnica n. 158, out., 2008.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda.** Transferência de Tecnologia Florestal. Brasília, DF: Embrapa, 138 p., 2014.

FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; WAHID, A.; AHMAD, N.; SALLEM, B. A. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy e Crop Science*, v. 195, n. 1, p. 237-246, 2009.

FERNANDES, A. T.; NUNES, G. M.; DE MOURA, J. M.; DOS SANTOS, L. F. B. **Espectrorradiometria foliar na determinação de déficit hídrico em espécies de cerrado stricto sensu no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães/MT.** Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, 25-29 abril, 2015.

FIORIO, P. R.; COELHO, R. D.; BARROS, P. P. da S.; BONILLA, M. Z.; GADY, A. P. B. **Comportamento espectral de folhas da cana-de-açúcar na presença de déficit hídrico.** *Irriga*, Botucatu, v. 23, n. 3, 2018.

- FREITAG, A. S.; MORAES, W. W. C.; ÇONÇALVES, A. N.; NISHIJIMA, T. **Desenvolvimento de mudas seminais de *Eucalyptus grandis* com o emprego de quatro frequências de irrigação.** Nucleus, v.10, n.2, 2013.
- GATES, D. M.; GATES, H. J.; GATES, J. C.; GATES, V. R. **Spectral properties of plants.** Applied Optics, v.4, n.1, p. 11-20, 1965.
- GINDABA, J.; RAZANOV, A.; NEGASH, L. **Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress.** Forest Ecology and Management, v.201, 2004.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; BORGES, R. C. G.; FONSECA, E. P. **Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em Win-Strip.** Revista Árvore, Viçosa, v.15, n.1, p. 35-41, 1991.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. **Parâmetros Morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*.** Revista Árvore, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.
- GRATTAPAGLIA, D.; KIRST, M. **Eucalyptus applied genomics: from gene sequences to breeding tools.** New Phytologist, 2008.
- HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural.** Curitiba, PR: Embrapa Florestas, Documentos 54, 2000.
- HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V.; GONÇALVES, A. N. **Evolução do jardim clonal de eucalipto para a produção de mudas.** IPEF Notícias, Piracicaba, v.24, n.148, p.4-5, 2000.
- JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. **Hardening.** In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (Ed.). **Nursery manual for native plants: guide for tribal nurseries.** Vol. 1. Washington: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2009. p. 217-228.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução EPIPHANIO, J. C. N. (coordenador); FORMAGGIO, A. R.; DOS SANTOS, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; DE ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011.
- JIM, A. S. **Identificação e caracterização espectral da ferrugem (*Austropuccinia psidii*) do eucalipto por imagens de alta resolução obtidas de veículos aéreos não tripulados (vant) e em laboratório (espectroradiômetro).** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2018.
- KLAR, A. E. **Evapotranspiração.** In: A água no sistema solo-planta-atmosfera. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. **Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: A critical evaluation of mechanisms and integration of processes.** *Annals of Botany*, 2009.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Evolution and agricultural water user.** In: *Water relations of plant and soils.* San Diego: Academic Press, 1995.

KRIEG, D. R. **Stress tolerance mechanisms in above ground organs.** In: *Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress INTSORMIL, Nebraska, 1993.*

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Carlos: Rima, 2000.

LIMA, P. R. L.; HORBACH, M. A.; DRANSKI, J. A. L.; ECCO, M.; MALAVASI, M. de M.; MALAVASI, U. C. **Avaliação morfofisiológica em mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Mattos durante a rustificação.** *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 3., p. 316-326, jul./set., 2014.

LIPPERT, D. B.; BENEDETTI, A. C. P.; PEREIRA, R. S.; MUNIZ, M. F. B. **Espectrorradiometria de folhas de *Eucalyptus camadulensis* Dehnh. atacadas por *Phaeophleospora eucalypti*.** *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 2793-2799, 2009.*

LIPPERT, D. B. **Resposta espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) atacadas por *Mycosphaerella* spp.** *Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.*

LIPPERT, D. B.; BENEDETTI, A. C. P.; MUNIZ, M. F. B.; PEREIRA, R. S. BIERMASKI JUNIOR, C. A.; FINKENAUER, E.; BERRA, E. F. **Comportamento espectral de folhas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) atacadas por *Mycosphaerella* spp. nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético.** *Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 1, 2015.*

LOBO, R. C.; JÚNIOR, H. F. O. **Efeitos do estresse hídrico nas características morfológicas de plântulas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden).** *Revista da União Latino-americana de Tecnologia, Jaguariaíva, n.3, 2015.*

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; DA SILVA, M. R. **Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos.** *Scientia Forestalis, n. 68, p. 97-106, ago., 2005.*

LOPES, J. L.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. **Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato.** *Revista Árvore, Viçosa, v. 31, p. 835-843, 2007.*

LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos.** *Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.*

- LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; DA SILVA, M. R.; SAAD, J. C. C.; LOPES, C. F. **Estresse hídrico em plantio de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, em função do solo, substrato e manejo hídrico de viveiro.** Ver. *Árvore*, v. 35, v. 1, fev. 2011.
- MACEDO, A. C. Produção de Mudas em viveiros florestais: espécies nativas. Revisado e ampliado por KAGEYAMA, P. Y.; DA COSTA, L. G. S. São Paulo: Fundação Florestal, 1993.
- MACHADO, M. L. **Detecção de doenças do feijão por características espectrais.** Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. **Chlorophyll fluorescence: A practical guide.** *Journal of Experimental Botany*, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- MERCHANT, A.; CALLISTER, A.; ARNDT, S.; TAUSZ, M.; ADAMS, M. **Contrasting physiological responses of six *Eucalyptus* species to water deficit.** *Annals of Botany*, v.100, 2007.
- NAUE, C. R.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. de; COSTA, V. S. de O. **Resposta espectral de espécies da Caatinga.** Anais do III Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro, 2011.
- NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. **Generalized linear models.** *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, v.135, n.3, p. 370–384, 1972.
- NGUGI, M. R.; DOLEY, D.; HUNT, M. A.; DART, P.; RYAN, P. **Leaf water relations of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* in response to water deficit.** *Tree Physiology*, v.23, p.335-343, 2003.
- NGUGI, M. R.; DOLEY, D.; HUNT, M. A.; RYAN, P.; DART, P. **Physiological responses to water stress in *Eucalyptus cloeziana* and *E. argophloia* seedlings.** *Trees*, v.18, 2004.
- PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Viveiros florestais.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 56p., 1993.
- PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Propagação vegetativa de Espécies Florestais.** 1ed. Viçosa, UFV, 40p., 1995.
- PALMER, K. F.; WILLIAMS, D. **Optical properties of water in the near infrared.** *Journal of the Optical Society of America*, Washington, v.64, n.8, 1974.
- PEREIRA, M. R. R.; DE SOUZA, G. S. F.; RODRIGUES, A. C. P.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; KLAR, A. E. **Análise de crescimento em clones de eucalipto submetidos a estresse hídrico.** *Irriga*, v.15, n.1, p.98-110, jan./mar., 2010.

PITA, P.; PARDOS, J. A. **Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit.** *Tree Physiology*, v.21, p.599-607, 2001.

POLEZ, B. M.; FIORIO, P. R.; GADY, A. P. B.; SEIXAS, H. T.; STRABELI, T. F. **Índices de vegetação na diferenciação de conteúdo relativo de água em clones do gênero *Eucalyptus*.** Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, 28-31 maio, 2017.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação:** Diagnosticando a Mata Atlântica. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

PONZONI, F. J.; RODRIGUES, A. G.; MALDONADO, F. D.; SASSAGAWA, S. H. Y.; NUMATA, I.; DE ARAÚJO, L. S.; **Comparação entre o fator de reflectância bidirecional de um dossel de mudas de *Eucalyptus grandis* e o fator de reflectância direcional hemisférico de suas folhas isoladas.** *CERNE*, v. 8, n. 1, p. 59-68, 2002.

RAMALHO, A. H. C; MAFFIOLETTI, F. D.; TRAZZI, P. A.; RAMALHO, E. C.; FIEDLER, N. C. **Doses de potássio e lâminas de irrigação na qualidade de mudas de eucalipto.** *Nativa*, Sinop, v.8, n.5, p. 643-649, set/out, 2020.

RANGEL, M. E. S.; GURGEL, H. da C. FERRI, C. SUGAWARA, L. M.; PINTO, M. L. de A. **Relação entre o fator de reflectância hemisférica e o fator de reflectância hemisférica bidirecional de folhas isoladas da *Tibouchina granulosa cogn.*** Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 abril, INPE, p. 1461-1467, 2001.

REDE DE SEMENTES DO CERRADO. **Viveiros florestais: projeto, instalação, manejo e comercialização.** Brasília, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Água e Sustentabilidade no Sistema Solo-planta-atmosfera.** Editora Manole, 2016.

RIBEIRO, L. **Anatomia ecológica de folhas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. na mesorregião serrana de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado em Ecossistemas Agrícolas e Naturais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, SC, 2018.

RODRIGUES, S. B. S. **Análise do uso de água em unidades de produção de mudas de eucalipto.** Dissertação (Mestrado em Construções rurais e ambiência; Energia na agricultura; Mecanização agrícola; Processamento de produ) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

RUBIRA, J. L. P., BUENO, L. O. **Cultivo de plantas forestales em contenedor.** Madrid: Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. **Transferência de tecnologia florestal:** cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SANTIAGO, A. M. P.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LOPES, E. C. **Crescimento em plantas jovens de *Mimosa cesalpinifolia* Benth., cultivadas sob estresse hídrico**. Revista Ecosistema. v.26, n.1, p.23-30, 2001.

SCHUH, M. S.; FAVARIN, J. A. S.; DESSBESELL, L.; SILVA, E. A.; GOERGEN, L. C. de G.; PEREIRA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. **Análise temporal do vigor vegetativo por meio de espectrorradiometria**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 6, 2016.

SCHWAMBACH, C.; SOBRINHO, G. C. **Fisiologia Vegetal: Introdução às Características, Funcionamento e Estruturas das Plantas e Interação com a Natureza**. Editora Saraiva, 2014.

SCHWIDER, Y. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CORRÊA, V. B.; TOLEDO, J. V.; XAVIER, T. M. T. **Efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de eucalipto em diferentes condições microclimáticas**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.9, n.16, p.888, 2013.

SHVALEVA, A. L.; COSTA E SILVA, F.; BREIA, E.; JOUVE, L.; HAUSMAN, J. F.; ALMEIDA, M. H.; MAROCO, J. P.; RODRIGUES, M. L.; PEREIRA, J. S.; CHAVES, M. M. **Metabolic responses to water déficit in two *Eucalyptus globulus* clones with constrating drought sensitivity**. Tree Physiology, v.26, 2005.

STEINBERG, S. L.; MILLER, J. C.; MCFARLAND, M. J. **Dry matter partitioning and vegetative growth of young peach trees under water stress**. Aust. J. Plant Physiol., v. 17, 1990.

STRABELI, T. F. **Resposta hiperespectral na determinação do conteúdo de água na folha em diferentes espécies de *Eucalyptus* spp.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.

STRABELI, T.; FIORIO, P. R.; ALVARES, C. A.; ERICA, N. **Conteúdo relativo de água afeta o comportamento espectral de folhas de *Eucalyptus* spp.** Scientia Forestalis, v.48, n.128, 2020.

SILVA, R. F.; ANTONIOLLI, Z. I.; ANDREAZZA, R. **Efeito da inoculação com fungos ectomicorrízicos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em solo arenoso**. Ciência Florestal, v. 13, n. 1, p. 33-42, 2002.

SILVA, E. A.; MARANGON, G. P.; DESSBESELL, L.; MORAIS, W. W.; LIPPERT, D. B.; PEREIRA, R.S. **Caracterização espectral de *Eucalyptus grandis***. Floresta, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; DOS REIS, E. F.; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. **Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa**. Cerne, v.13, n.2, p.149-159, 2007.

TATAGIBA, S. D. et al. Trocas gasosas e potencial da água em clones de eucalipto submetidos ao déficit hídrico. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, v. 15, n. 3, p. 212-227, 2007.

TROMBETA, L. R. A.; OLIVEIRA, L. F. R. D.; PELINSON, N. D. S.; SANTOS, F. M. D. **Geoprocessamento**. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

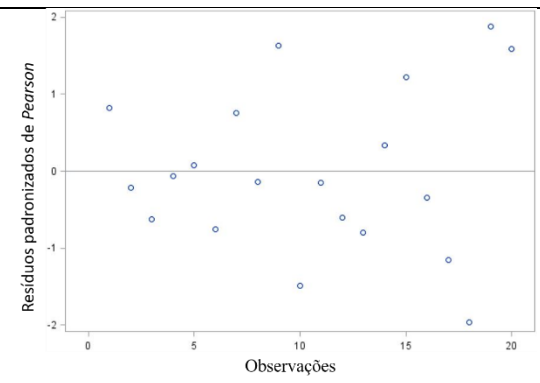
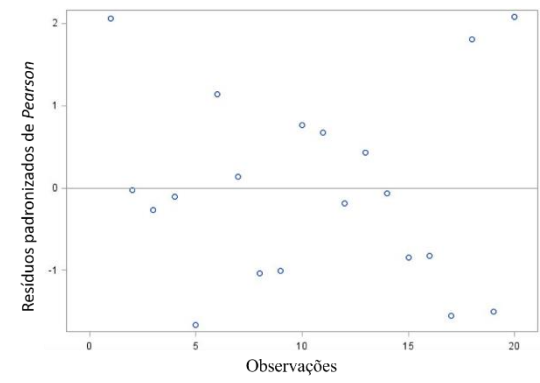
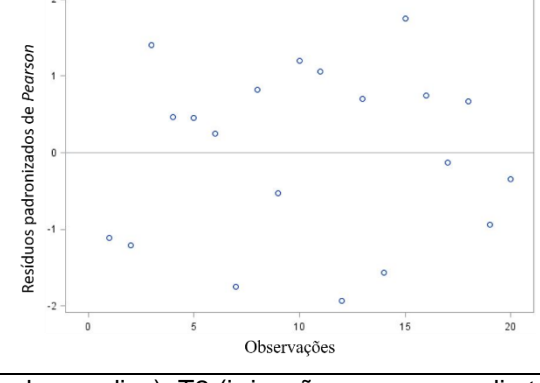
VELLINI, A. L. T. T.; DE PAULA, N. F.; ALVES, P. L. da C. A.; PAVANI, L. C.; BONINI, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; DE PAULA, R. C. **Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. *Revista Árvore*, n. 32, v. 4, ago, 2008.

WESTFALL, P. H.; TOBIAS, R. D.; ROM, D.; WOLFINGER, R. D.; HOCHBERG, Y. **Multiple Comparisons and Multiple Tests Using the SAS System**. 1. ed. Cary. SAS Institute Inc., 1999.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M. V.; FERREIRA FILHO, P. J. POGETTO, M. H. F. A. D. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**.

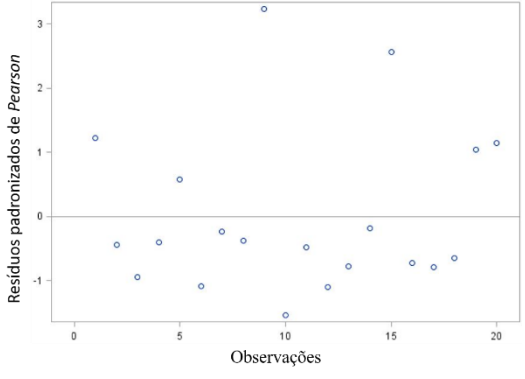
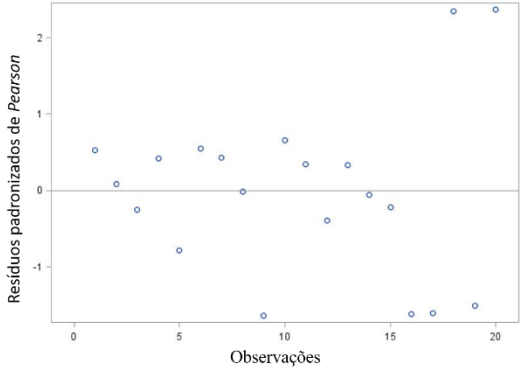
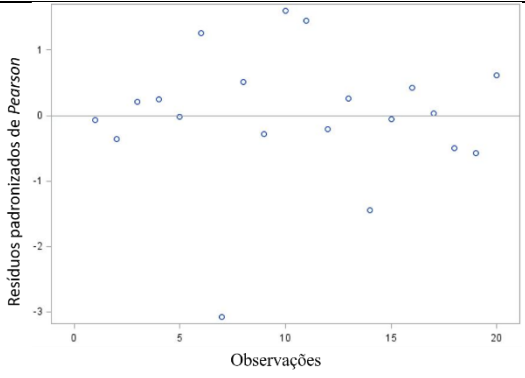
ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. **Temperature-Dependent Gas Exchange and Stomatal/Non-Stomatal Limitation to CO₂ Assimilation of Quercus Liaotungensis under Midday High Irradiance**. *Photosynthetica*, v. 39, n.3, 2001.

APÊNDICE A - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica assimilação de carbono (A)

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,29	0,0007	
15	1,26	0,0075	
21	1,26	0,8559	

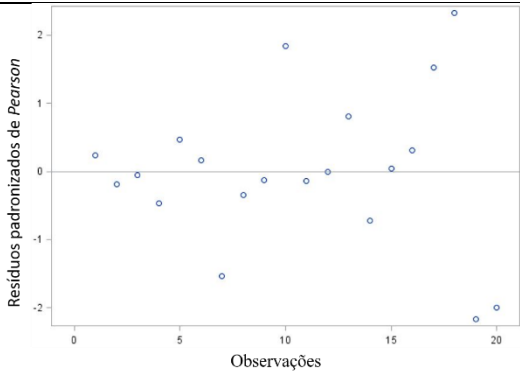
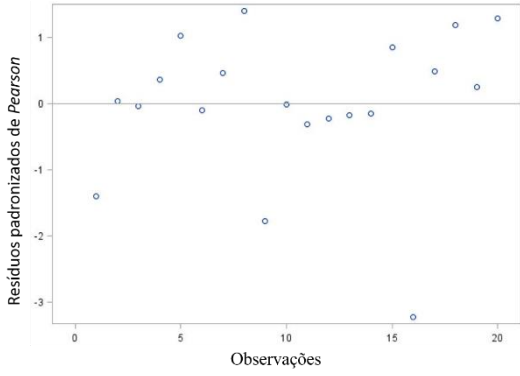
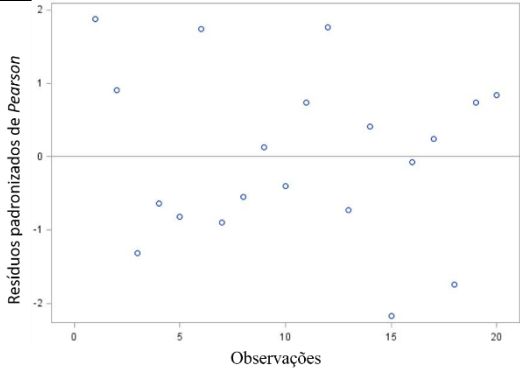
^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE B - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica condutância estomática (gs)

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,30	0,0012	
15	1,27	0,0005	
21	1,26	0,0007	

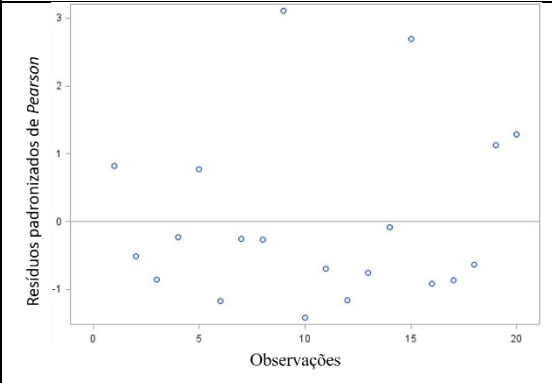
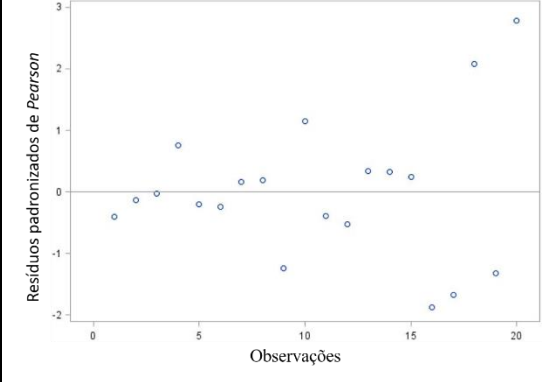
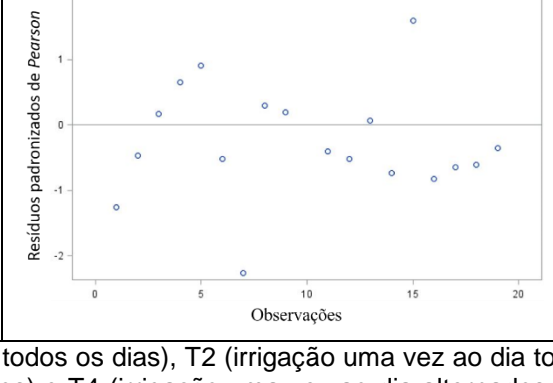
^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE C - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica carbono interno (*C_i*)

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,25	<,0001	
15	1,25	0,0008	
21	1,25	0,0120	

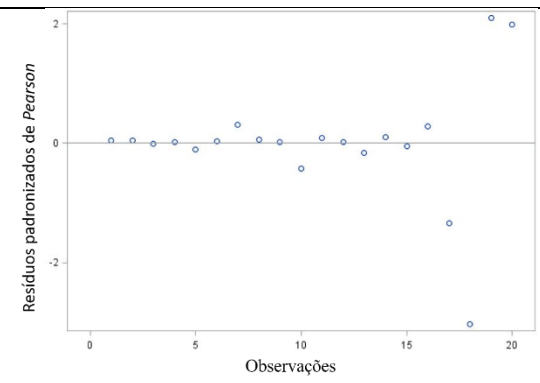
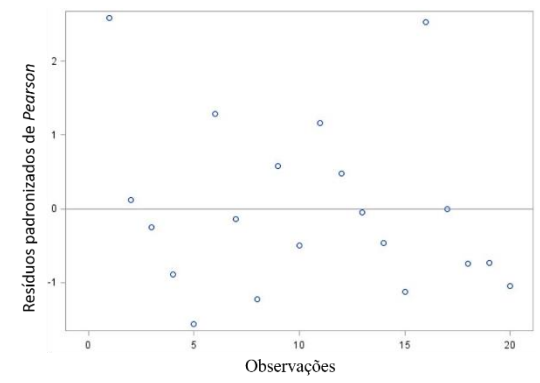
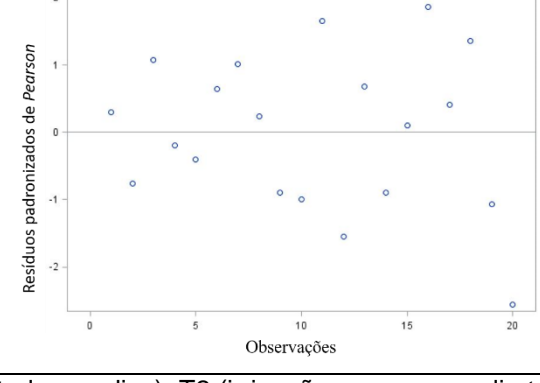
^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias, T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE D - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica transpiração (*E*)

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,29	0,0023	
15	1,27	0,0032	
21	1,26	0,1823	

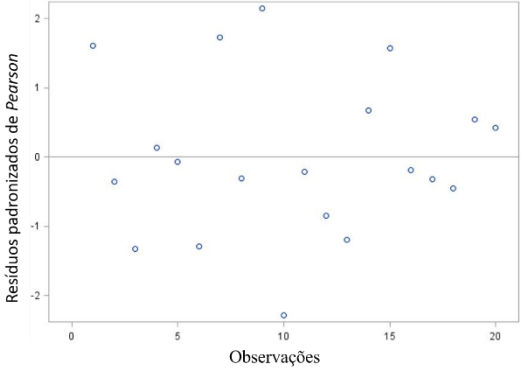
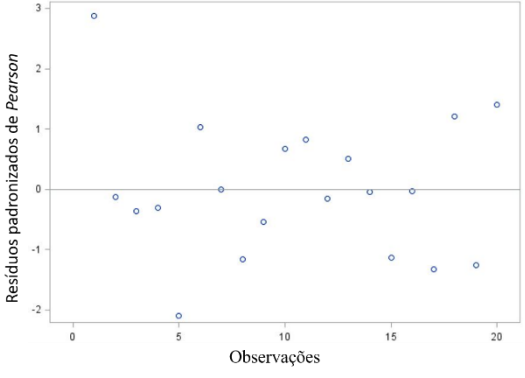
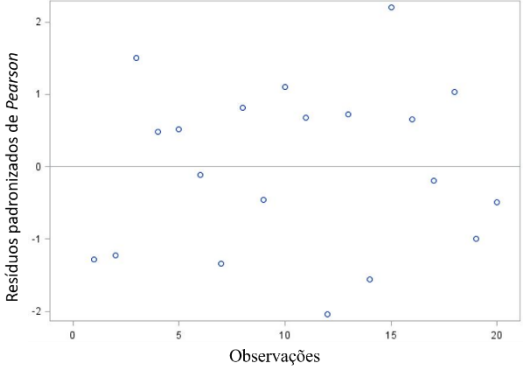
^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE E - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica eficiência do uso da água (*EUA*)

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,26	0,0276	
15	1,25	0,1156	
21	1,25	0,1707	

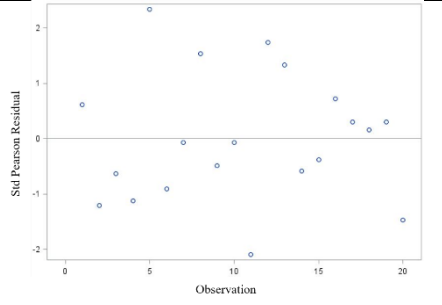
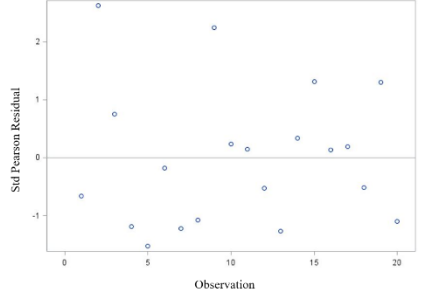
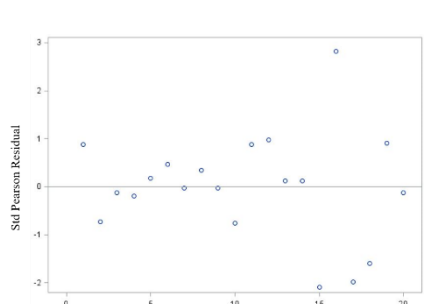
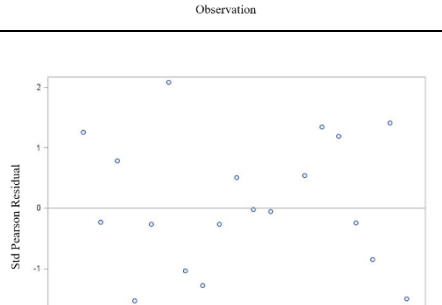
^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE F - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável fisiológica eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (*A/Ci*)

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,25	0,0003	
15	1,25	0,0452	
21	1,25	0,9174	

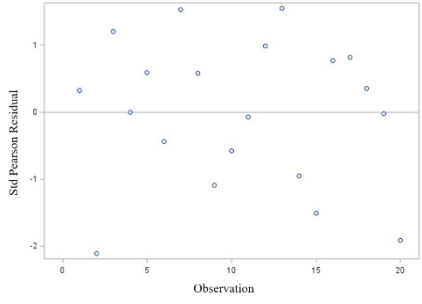
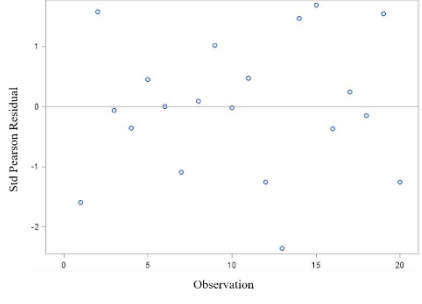
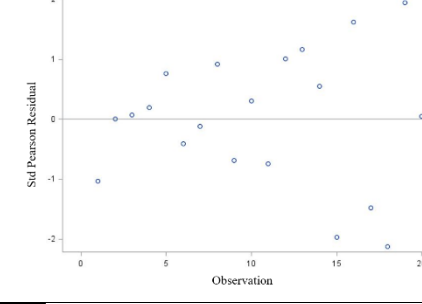
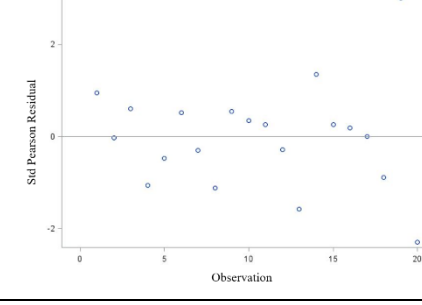
(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE G - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável morfológica massa seca de raízes

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,26	0,4047	
15	1,26	0,7297	
21	1,26	0,0155	
25	1,26	0,4088	

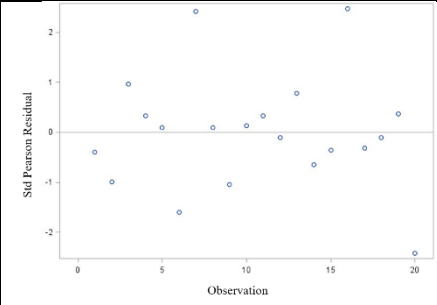
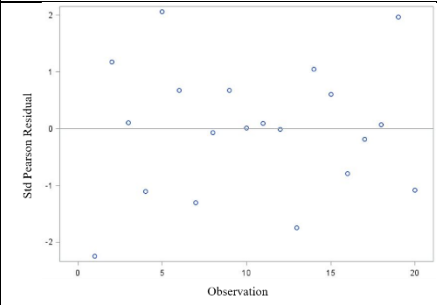
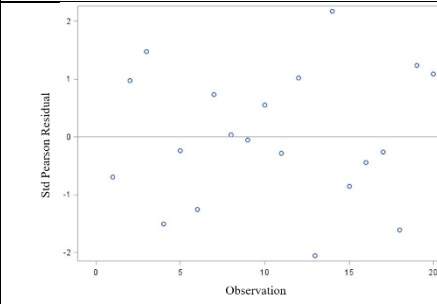
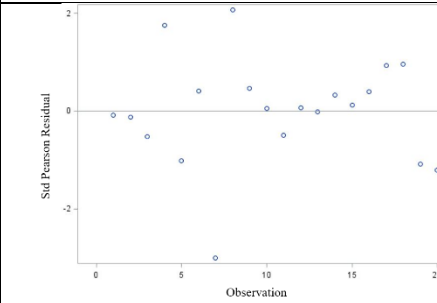
^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE H - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável morfológica massa seca da parte aérea

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,26	0,0264	
15	1,25	0,0029	
21	1,26	<0,0001	
25	1,26	0,0143	

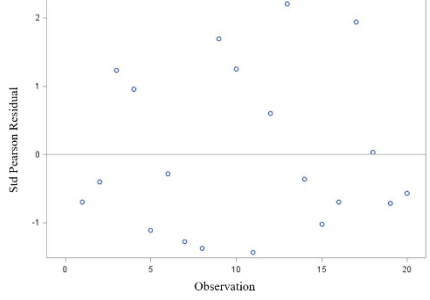
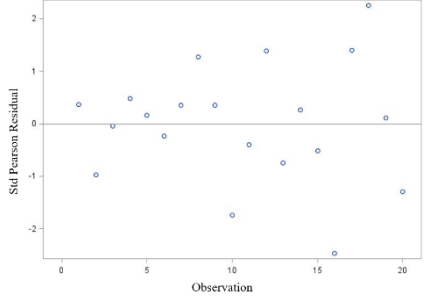
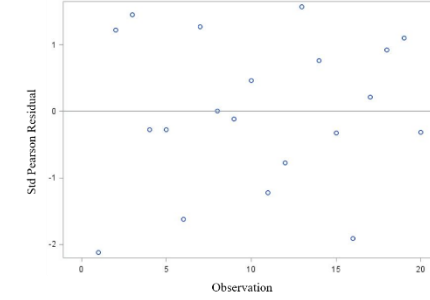
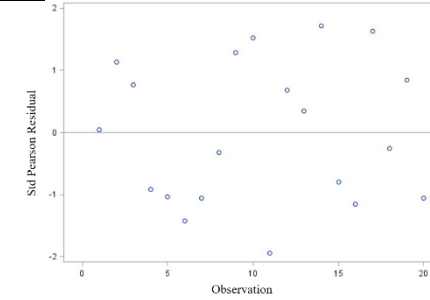
^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias, T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE I - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável morfológica diâmetro do colo

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,25	0,0001	
15	1,25	0,0269	
21	1,25	0,0040	
25	1,25	0,6923	

^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias, T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).

APÊNDICE J - Qualidade de ajuste dos modelos lineares generalizados (desvios por graus de liberdade e resíduos padronizados de *Pearson*) e valores-p referente à significância dos tratamentos^(*), segundo o tempo (dias) desde o início do experimento para a variável morfológica altura das mudas

Tempo (dias)	Desvios por graus de liberdade	Significância dos tratamentos valor – p	Resíduos padronizados de <i>Pearson</i>
7	1,25	0,0013	
15	1,25	0,5196	
21	1,25	0,0026	
25	1,25	0,0342	

^(*) Tratamentos: T1 (irrigação duas vezes ao dia todos os dias), T2 (irrigação uma vez ao dia todos os dias), T3 (irrigação uma vez ao dia dias alternados) e T4 (irrigação uma vez ao dia alternados a cada dois dias).