**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Resposta do almeirão (*Cichorium intybus* L.) cultivar “folha larga”
cultivado em estufa agrícola sob diferentes lâminas de irrigação**

Rafael Dreux Miranda Fernandes

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Rafael Dreux Miranda Fernandes
Engenheiro Agrônomo

**Resposta do almeirão (*Cichorium intybus* L.) cultivar “folha larga”
cultivado em estufa agrícola sob diferentes lâminas de irrigação**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Fernandes, Rafael Dreux Miranda

Resposta do almeirão (*Cichorium intybus* L.) cultivar "folha larga" cultivado em estufa agrícola sob diferentes lâminas de irrigação / Rafael Dreux Miranda Fernandes. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015. 130 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Evapotranspiração 2. Estresse hídrico 3. Área foliar 4. Relações alométricas
I. Título

CDD 635.54
F363r

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico
aos meus queridos pais,
pelo apoio e ajuda,
apesar de todas as dificuldades e tristezas:

Valdemar Martins Fernandes Júnior
e
Fernanda Dreux Miranda Fernandes.

Ao meu irmão:

Thomas Dreux Miranda Fernandes

E aos meus avós,
que sei que torceram e torcem muito por mim:

Djalma Paranhos de Miranda
e
Vera Dreux Miranda

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela grande oportunidade de adquirir conhecimento e de desenvolver minha dissertação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Antônio Frizzone, pela orientação tanto prática como teórica, estímulo, apoio e financiamento de materiais para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos Professores Dr. Rubens Duarte Coelho, Dra. Patrícia Angélica Alves Marques, e Dr. José Geanini Peres, pelas sugestões e opiniões no exame de qualificação, para melhoria e engrandecimento dessa pesquisa.

Aos Professores Dr. José Antônio Frizzone e Dra. Patrícia Angélica Alves Marques pela supervisão durante os estágios do PAE realizados no primeiro e segundo semestre de 2014. Por terem permitido estas experiências em que pude aprimorar meus conhecimentos em didática.

Ao Professor Dr. José Geanini Peres, pela orientação durante a graduação na Universidade Federal de São Carlos. Pela indicação do Professor Dr. José Antônio Frizzone para que eu pudesse desenvolver esta dissertação.

Aos meus amigos de pós-graduação Jefferson Vieira José, João Paulo Francisco, Jonathan Vásquez Lizcano, Eusímio Felisbino Fraga Júnior, Fernando da Silva Barbosa, Lucas da Costa Santos, e Érica Silva Nakai.

Aos meus irmãos de orientador Ricardo Gava e Bruno Marçal.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas, em especial à Paula Alessandra Bonassa Pedro, Luiz Custódio Camargo, Ezequiel Saretta, Davilmar Aparecida D. Colevatti, Beatriz Regina Duarte Novaes, Antônio Agostinho Gozzo, Antônio Pires de Camargo, Gilmar Batista Grigolon, Hélio de Toledo Gomes, Áureo Santana de Oliveira, e Angela Márcia Derigi Silva.

Aos meus amigos Igor Machado, Igor Botelho, Danilo Eduardo Cursi, Filipe Scigliano Silva Pinto, Paulo Cezar da Silva, Laís Fuzaro, Patrícia Alves, Paul Erland Urzagaste, Preston Catmull, Jonathan McGarry, e Jason Allred.

À minha namorada Giovana Martini Correa e à sua família, Natal José Correa, Henrique Martini, Patricia Correa, Vitor Macieira, Gabriel Correa, Nelson Gonçalves e Vilma Martini Gonçalves.

Aos missionários Leonardo Picoli (Elder Picoli), Mauro Galleguillos (Elder Galleguillos), Lucas Bandeira (Elder Bandeira), Benjamin Martin (Elder Martin), Elder Figueira, Elder Weekes, e Elder Vargas.

Aos meus pais, pelo apoio, ajuda, incentivo e conselhos, por sempre estarem ao meu lado, independente das dificuldades ou tristezas enfrentadas, por terem me dado toda a educação que nenhuma escola ou universidade pode dar.

E principalmente a Deus, por ter todas as bençãos que tem derramado em minha vida, por permitir que eu tenha uma boa formação acadêmica e por um dia ter colocado pessoas tão especiais no meu caminho, principalmente Jason Allred, Preston Catmull, Paul Erland Urzagaste e Jonathan McGarry.

"A atitude pode fazer toda a diferença em nossas vidas.
Ela pode nos fazer feliz ou infeliz,
contentes ou insatisfeito,
fortes ou fracos."

(Thomas Spencer Monson – maio de 2011).

"A pedra angular de um sistema de valores deve ser a pergunta:
'O que eu pensarei de mim se eu fizer isso?'"
(Thomas Spencer Monson).

"Deus não somente ama os obedientes – Ele os ilumina"
(Henry B. Eyring).

"You need never to be discouraged or afraid.
The way through difficulties has always been prepared for you,
and you will find it if you exercise your faith"
(Henry B. Eyring).

"Duvidem de suas dúvidas antes de duvidarem de sua fé"
(Dieter F. Uchtdorf – outubro 2013).

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	17
LISTA DE EQUAÇÕES.....	21
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Aspectos da cultura do almeirão.....	25
2.2 Estresse hídrico.....	26
2.3 Estudos sobre deficit hídrico.....	27
2.4 Evapotranspiração.....	32
2.5 Fator de forma da área foliar.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1 Localização do experimento.....	37
3.2 Caracterização físico-hídrica do solo.....	38
3.3 Caracterização das unidades experimentais.....	41
3.4 Delineamento estatístico.....	43
3.5 Sistema de irrigação.....	43
3.6 Monitoramento da umidade do solo.....	45
3.7 Monitoramento das condições atmosféricas.....	46
3.8 Diagnóstico e lixiviação do excesso de sais.....	48
3.9 Tratos culturais.....	49
3.10 Variáveis resposta.....	51
3.10.1 Área foliar.....	51
3.10.2 Comprimento e largura das folhas.....	52
3.10.3 Altura da planta.....	52

3.10.4 Número de folhas.....	52
3.10.5 Massa fresca da parte aérea.....	52
3.10.6 Massa seca da parte aérea.....	52
3.11 Análise estatística.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1 Condições meteorológicas.....	55
4.2 Altura das plantas.....	57
4.3 Número de folhas por planta.....	63
4.4 Massa fresca da parte aérea.....	66
4.5 Massa fresca por folha.....	72
4.6 Massa seca da parte aérea.....	77
4.7 Umidade da parte aérea.....	84
4.8 Área foliar.....	90
4.9 Comprimento das folhas.....	95
4.10 Largura das folhas.....	101
4.11 Fator de forma para estimativa da área foliar.....	106
5 CONCLUSÕES.....	117
REFERÊNCIAS.....	119
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	123
ANEXOS.....	125

RESUMO

Resposta do almeirão (*Cichorium intybus* L.) cultivar “folha larga” cultivado em estufa agrícola sob diferentes lâminas de irrigação

O almeirão é produzido no Brasil principalmente por pequenos produtores, que geralmente produzem outras culturas hortícolas. O almeirão é principalmente utilizado na alimentação humana, porém com potencial para produção de inulina e também com potencial para alimentação animal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de porcentagens da evapotranspiração da cultura por irrigação na produção vegetal do almeirão cultivar “Folha Larga” cultivado em casa de vegetação. Dois experimentos consecutivos foram executados em delineamento de blocos inteiramente aleatorizados submetidos a cinco porcentagens de evapotranspiração de cultura (ETc): 60, 80, 100, 120 e 140% aplicadas por irrigação via gotejo. A área experimental foi constituída de 45 parcelas de 1,3 m² cada, sendo que cada parcela possuía uma válvula solenoide para controlar o tempo de funcionamento da irrigação, totalizando nove repetições por tratamento. A umidade do solo foi monitorada por meio de três sondas de TDR (Time Domain Reflectometry), instaladas a 0,05, 0,30 e 0,50 m de profundidade. As condições meteorológicas foram monitoradas utilizando-se uma estação meteorológica, a qual registrava medidas de umidade relativa do ar, temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento, realizando medidas a cada segundo e armazenando os dados a cada 15 minutos. A partir dos dados meteorológicos, estimou-se a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith FAO-56, e a evapotranspiração da cultura, utilizando-se um coeficiente de cultura médio igual a 0,76. Foram realizados dois experimentos consecutivos, aplicando-se as porcentagens de ETc durante todo o cultivo do almeirão. As variáveis medidas e analisadas foram: altura de plantas (cm), número de folhas por planta, massa fresca da parte aérea (g), massa fresca por folha (g folha⁻¹), massa seca da parte aérea (g), umidade da parte aérea (%), área foliar (cm²), comprimento foliar (cm) e largura foliar. Utilizou-se os dados de cada tratamento para se realizar a análise de variância conjunta e teste de média ou análise de regressão, sendo que apenas para as variáveis de massa fresca e massa seca da parte aérea foi possível ajustar equações que representassem os dados médios dos dois experimentos. Observou-se que os dados de massa fresca da parte aérea apresentaram-se diretamente proporcionais ao aumento da porcentagem de evapotranspiração, sendo que o tratamento de 140% da ETc foi o que resultou em maior produção de massa fresca da parte aérea, aproximadamente 31,6% superior à produção do tratamento de 60% da ETc. Quanto aos dados de massa seca da parte aérea, observou-se que a porcentagem de 111,1% da evapotranspiração foi a que obteve maior produção de massa seca da parte aérea, sendo 29,3% maior do que a produção em massa seca do tratamento de 60% da evapotranspiração e 9,35% maior do que a obtida no tratamento de 140% da ETc. A partir dos dados de área foliar, comprimento e largura das folhas do primeiro experimento, foi possível ajustar quatro modelos com resíduos tendendo à normalidade e homocedásticos, os quais foram testados pelo método de Bland-Altman com os dados de área, comprimento e largura foliar do segundo experimento.

Palavras-chave: Evapotranspiração; Estresse hídrico; Área foliar; Relações alométricas

ABSTRACT

Response of chicory (*Cichorium intybus* L.) cultivar “folha larga” grown in greenhouse under different irrigation depths

Chicory is grown in Brazil mainly by small landowners, which usually product other horticultural crops. Chicory is mainly used for human feeding, but it has potential for inuin production and also potential for animal feeding. This study aimed at evaluating the effect of applying percentages of crop evapotranspiration by irrigation over vegetable production of “Folha Larga” chicory cultivar grown in greenhouse. Two experiments were performed in the of completely randomized design under five percentages of crop evapotranspiration (ETc): 60, 80, 100, 140% applied by drip irrigation. The experimental area was constituted of 45 plots of 1.3 m² each, each plot had a solenoid valve to control the duration of the irrigation, totaling nine plots for each treatment. Soil humidity was monitored through three TDR probes (Time Domain Reflectometry), installed at 0.05, 0.30, and 0.50 m depth. The meteorological conditions were monitored using a meteorological station, which recorded measures of relative air humidity, air temperature, solar radiation and wind speed, taking measures at each second and registering the data at each 15 minutes. From meteorologic data, the reference evapotranspiration was estimated by the Penman-Monteith FAO-56 method, and the crop evapotranspiration, using an average crop coefficient equal to 0.76. Two consecutive experiments were performed, applying the percentages of ETc during all the chicory growth period. The measured and analyzed variables were: plant height (cm), number of leaves per plant, plant fresh mass (g), fresh mass by leaf (g leaf⁻¹), plant dry mass (g), plant humidity (%), leaf area (cm²), leaf length (cm) and leaf width (cm). The data of each treatment was used to perform the joint analysis of variation and average test or regression analysis, resulting that only for the variables of leaves fresh and dry weight it was possible to adjust equations to represent the mean values of both experiments. It was observed that the plant fresh weight presented itself directly proportional to increments of percentages of evapotranspiration, being that the treatment of 140% of ETc was the treatment that resulted higher production of plant fresh weight, approximately 31.6% higher than the production obtained from treatment of 60% of evapotranspiration. For the data of plant dry mass, it was observed that the percentage of 111.1% of evapotranspiration was the one that obtained higher values of plant dry weight, being 29.3% higher than the production of plant dry mass obtained with the treatment of 60% of ETc and 9.35% higher than the one obtained with the treatment of 140% of evapotranspiration. From the data of leaf area, length and width of the first experiment, was possible to adjust four models with residuals with normal tendency and homocedastic, which were tested by the Bland-Altman method with the data of leaf area, length and width of the second experiment.

Keywords: Evapotranspiration; Water stress; Leaf area; Allometric relations

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da estufa agrícola utilizada no experimento.....	37
Figura 2 - Curva de retenção da água no solo (FONTE: GAVA, 2014).....	41
Figura 3 - Disposição interna das caixas de 1,30 m ² no interior da estufa.....	42
Figura 4 - Controlador Galcon® (acima e a esquerda); disposição dos minicontatores ligados aos fios positivos das válvulas solenóides (acima e a direita) e as válvulas solenóides de cada caixa (em baixo).....	44
Figura 5 - Montagem das caixas com a instalação das sondas de TDR (FONTE: GAVA, 2014).....	46
Figura 6 - Posicionamento da estação meteorológica no interior da casa de vegetação.....	47
Figura 7 - Solo com camada esbranquiçada evidenciando possível salinização.....	48
Figura 8 - Tela do Programa ImageJ v 1.47 ao realizar medições de área foliar do almeirão.....	51
Figura 9 - Representação gráfica da temperatura do ar (°C – média, máxima e mínima) durante o cultivo do almeirão no ano de 2014.....	55
Figura 10 - Representação gráfica dos registros de umidade relativa do ar (média, máxima e mínima) durante o cultivo do almeirão no ano de 2014.....	56
Figura 11 - Representação gráfica da variação diária da radiação solar e de evapotranspiração de referência durante o cultivo do almeirão no ano de 2014.....	56
Figura 12 - Representação gráfica da análise de regressão dos dados de altura de plantas para os experimentos 1 e 2.....	61
Figura 13 - Representação gráfica dos dados de massa fresca da parte aérea e das retas ajustadas para os experimentos 1 e 2 e para os valores médios dos dois experimentos.....	70
Figura 14 - Representação gráfica dos dados de massa fresca por folha para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados.....	76
Figura 15 - Representação gráfica dos dados de massa seca da parte aérea para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados.....	83

Figura 16 - Representação gráfica dos dados de umidade da parte aérea para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados.....	89
Figura 17 - Representação gráfica dos dados de área foliar para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados.....	94
Figura 18 - Representação gráfica dos dados de comprimento das folhas para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados.....	100
Figura 19 - Representação gráfica dos dados de largura das folhas para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados.....	105
Figura 20 - Representação gráfica dos conjuntos de dados e da reta das equações 21 e 22 (A e C, respectivamente); Relação entre área foliar estimada e resíduos das equações 21 e 22 (B e D, respectivamente).....	110
Figura 21 - Gráficos de dispersão entre a área foliar real e a área foliar estimada pelas equações 24 (A) e 26 (C); Gráficos de dispersão entre os resíduos e a área foliar estimada pelas equações 24 (B) e 26 (D).....	112
Figura 22 - Gráficos de Bland-Altman para as equações 21 (Figura 22A) e 22 (Figura 22B).....	113
Figura 23 - Gráficos de Bland-Altman para as equações 24 (Figura 23A) e 26 (Figura 23B).....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros físico-hídricos do solo (FONTE: GAVA, 2014).....	39
Tabela 2 – Dados de umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) em função da pressão aplicada sobre as amostras de solo para a construção da curva de retenção da água no solo (FONTE: GAVA, 2014).....	39
Tabela 3 – Estatística descritiva dos dados de altura de plantas (cm).....	58
Tabela 4 - Análise de variância individual para os dados de altura de plantas nos dois experimentos.....	58
Tabela 5 - Análise de variância conjunta para os dados de altura de plantas (cm)....	59
Tabela 6 – Análise de variância da regressão dos dados de altura de plantas dos experimentos 1 e 2.....	60
Tabela 7 – Estatística descritiva dos dados de número de folhas por planta.....	63
Tabela 8 – Análise de variância individual dos dados de número de folhas por planta para ambos os experimento 1 e 2.....	64
Tabela 9 – Análise de variância conjunta dos dados de número de folhas dos dois experimentos.....	64
Tabela 10 – Teste de média dos dados de número de plantas pelo método do teste de Tukey.....	65
Tabela 11 – Estatística descritiva dos dados de massa fresca da parte aérea dos dois experimentos.....	66
Tabela 12 – Análise de variância individual dos dados de massa fresca da parte aérea para cada experimento.....	67
Tabela 13 – Análise de variância conjunta dos dados de massa fresca da parte aérea dos experimentos 1 e 2.....	67
Tabela 14 – Análise de variância das análises de regressão linear, quadrática e cúbica dos dados de massa fresca da parte aérea experimentos 1 e 2 e dos valores médios.....	68
Tabela 15 – Valores das equações lineares ajustadas para os valores de massa fresca da parte aérea do experimento 2 e dos valores médios.....	69
Tabela 16 – Estatística descritiva dos dados de massa fresca (g folha^{-1}) dos experimentos 1 e 2.....	72
Tabela 17 – Análise de variância individual dos dados de massa fresca em g folha^{-1} dos experimentos 1 e 2.....	73

Tabela 18 – Análise de variância conjunta dos dados de massa fresca em g folha ⁻¹ dos experimentos 1 e 2.....	74
Tabela 19 – Análise de variância das análises de regressão linear, quadrática e cúbica dos dados de massa fresca (g folha ⁻¹) experimentos 1 e 2.....	75
Tabela 20 – Estatística descritiva dos dados de massa seca da parte aérea (g) dos dados dos experimentos 1 e 2.....	78
Tabela 21 – Análise de variância individual dos dados de massa seca da parte aérea de cada experimento.....	79
Tabela 22 – Análise de variância conjunta para os dados de massa seca da parte aérea de ambos os experimentos.....	80
Tabela 23 – Análise de variância das equações linear, quadrática e cúbica ajustadas para os experimentos 1 e 2 e para a média dos experimentos.....	81
Tabela 24 – Valores dos índices das equações significativas ajustadas para os dados de massa seca da parte aérea dos experimentos 1 e 2.....	82
Tabela 25 – Estatística descritiva dos dados de umidade da parte aérea dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos.....	85
Tabela 26 – Análise de variância individual dos dados de umidade da parte aérea dos experimentos 1 e 2.....	86
Tabela 27 – Análise de variância conjunta dos dados de umidade da parte aérea de ambos os experimentos 1 e 2.....	87
Tabela 28 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de umidade da parte aérea dos experimentos 1 e 2.....	88
Tabela 29 – Valores dos índices das equações que se mostraram significativas ajustadas com os dados de umidade dos experimentos 1 e 2.....	88
Tabela 30 – Estatística descritiva dos dados de área foliar dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos.....	90
Tabela 31 – Análise de variância individual dos dados de área foliar dos experimentos 1 e 2.....	91
Tabela 32 – Análise de variância conjunta dos dados de área foliar de ambos os experimentos 1 e 2.....	92
Tabela 33 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de área foliar dos experimentos 1 e 2.....	93

Tabela 34 – Valores dos índices das equações significativas ajustadas para os dados de área foliar dos experimentos 1 e 2.....	93
Tabela 35 – Estatística descritiva dos dados de comprimento das folhas dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos.....	96
Tabela 36 – Análise de variância individual dos dados de comprimento de folhas dos experimentos 1 e 2.....	97
Tabela 37 – Análise de variância conjunta dos dados de comprimento das folhas de ambos os experimentos 1 e 2.....	98
Tabela 38 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de comprimento das folhas dos experimentos 1 e 2.....	99
Tabela 39 – Valores dos índices das equações lineares ajustadas para os dados de comprimento das folhas dos experimentos 1 e 2.....	99
Tabela 40 – Estatística descritiva dos dados de largura foliar dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos.....	101
Tabela 41 – Análise de variância individual dos dados de largura das folhas dos experimentos 1 e 2.....	102
Tabela 42 – Análise de variância conjunta dos dados de largura das folhas de ambos os experimentos 1 e 2.....	103
Tabela 43 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de largura das folhas dos experimentos 1 e 2	104
Tabela 44 – Equações para a estimativa da área foliar por meio de medidas lineares das folhas.....	106
Tabela 45 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk e Goldfeld-Quandt das equações com melhores coeficientes de determinação.....	107
Tabela 46 – Transformações de dados e retiradas de outliers das equações 14, 15, 22 e 23.....	108
Tabela 47 – Equações finais e respectivos coeficientes e índices estatísticos.....	109
Tabela 48 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 1 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (continua).....	127

Tabela 48 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 1 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (conclusão).....	128
Tabela 49 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 2 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (continua).....	129
Tabela 49 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 2 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (conclusão).....	130

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Capacidade de água disponível (CAD).....	38
Equação 2 - Cálculo da porosidade total.....	39
Equação 3 - Modelo de Van Genuchten (1980).....	40
Equação 4 - Modelo de Van-Genuchten para o solo do experimento.....	40
Equação 5 - Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).....	44
Equação 6 - Coeficiente de uniformidade de Christensen.....	44
Equação 7 - Coeficiente de variação.....	44
Equação 8 - Uniformidade de emissão.....	44
Equação 9 - Método para cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (FAO 56).....	47
Equação 10 - Cálculo da lâmina de lixiviação do excesso de sais.....	49
Equação 11 - Área foliar em função da área do retângulo.....	106
Equação 12 - Área foliar em função da área da elipse.....	106
Equação 13 - Área foliar em função do comprimento da folha.....	106
Equação 14 - Área foliar em função da largura da folha.....	106
Equação 15 - Área foliar em função do quadrado do comprimento.....	106
Equação 16 - Área foliar em função do quadrado da largura da folha.....	106
Equação 17 - Área foliar em função do comprimento e do quadrado do comprimento da folha.....	106
Equação 18 - Área foliar em função da largura e do quadrado da largura da folha	106
Equação 19 - Área foliar em função do comprimento da folha, largura da folha e área do retângulo.....	106
Equação 20 - Área foliar em função da largura da folha e área do retângulo.....	106
Equação 21 - Equação 11 após remoção de outliers.....	108
Equação 22 - Equação 12 após remoção de outliers.....	108
Equação 23 - Equação 19 após transformação.....	108
Equação 24 - Equação 19 após transformação e remoção de outliers.....	108
Equação 25 - Equação 20 após transformação.....	108
Equação 26 - Equação 20 após transformação e remoção de outliers.....	108
Equação 27 - Simplificação da equação 24.....	111
Equação 28 - Simplificação da equação 26.....	111

1 INTRODUÇÃO

O almeirão (*Cichorium intybus* L.) é produzido no Brasil principalmente por pequenos produtores rurais que cultivam outras culturas hortícolas como a alface. O principal consumo do almeirão no Brasil é para a alimentação humana, principalmente consumo das folhas cruas em forma de salada ou refogadas. Porém existem variedades e cultivares de almeirão que apresentam potencial para produção e extração de inulina a partir das raízes do almeirão, e também potencial para uso como planta forrageira.

Como é produzido no Brasil principalmente por pequenos agricultores, não existe interesse econômico como grandes culturas como é o caso da soja, do milho, entre outras culturas que são comercializadas como commodities, por exemplo, grão de soja, farelo de soja, óleo de soja, etc.

No caso de grandes culturas existe, na literatura, dados que possibilitam o manejo da irrigação como, por exemplo, o coeficiente de cultura parametrizado pela FAO. Já no caso do almeirão, e da maioria das hortaliças, exceto batata, tomate, cebola e alface, a literatura sobre esta cultura é escassa, principalmente se forem consideradas as diferenças entre as variedades e cultivares.

Na literatura são mais frequentes os trabalhos sobre tratos culturais em hortaliças como espaçamento, adubação, época de colheita, entre outros. Porém, são escassos os trabalhos que forneçam dados para o manejo da irrigação, como por exemplo dados de coeficiente de cultura, potencial mátrico crítico do solo para a cultura, profundidade efetiva das raízes, etc.

Em decorrência desses aspectos, o presente trabalho teve como objetivo o estudo das respostas da cultura do almeirão, cultivar “Folha Larga”, à irrigação aplicada em deficit e em excesso em relação à evapotranspiração da cultura, durante todo o período de produção. O objetivo específico da pesquisa foi estudar as relações entre a quantidade de água aplicada por irrigação, definida com base na porcentagem de evapotranspiração da cultura, e a altura das plantas, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, umidade da parte aérea, área foliar, comprimento e largura das folhas, obtendo-se a quantidade de água aplicada por irrigação, em função da porcentagem da evapotranspiração da cultura, que resulte maior produção do almeirão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos da cultura do almeirão

O almeirão é uma hortaliça da família das Asteráceas (Asteraceae), mesma família da alface, chicória e do dente de leão; seu nome científico é *Cichorium intybus* L. O interesse econômico da cultura do almeirão se dá na utilização das folhas em forma de salada ou refogadas, substituindo a couve, o espinafre e a chicória no preparo de pratos quentes (FILGUEIRA, 2000).

Novo, Trani e Minami (2003) estudaram o crescimento e o comportamento dos cultivares de almeirão “Folha Larga”, “Catalonha” e “Pão-de-açúcar” sob cultivo protegido na região de Campinas, com plantio no dia 17 de julho, obtendo plantas com menor área foliar aos 71 DAS (dias após a semeadura) do que aos 64 DAS, sendo mais indicada a colheita aos 64 DAS. Ressalta-se que as plantas de almeirão apresentam maior rapidez de crescimento no verão do que no inverno.

As cultivares de almeirão mais plantadas no Brasil são a cultivar “Folha Larga” e a cultivar “Pão de Açúcar”, sendo que a última forma “cabeça” quando há frio no final do ciclo, mas a primeira não apresenta essa formação (FILGUEIRA, 2000).

Faveri et al. (2009) realizaram estudo com apenas uma colheita, aos 49 DAS, e compararam diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas. Além disso, realizaram algumas medições de aspectos fisiológicos, como por exemplo, o diâmetro das plantas na linha, o diâmetro das plantas na entrelinha, o número de folhas, a altura das plantas e a massa fresca.

Esses mesmos autores concluíram que os menores espaçamentos, 0,10 m entre plantas e 0,15 m entrelinhas, resultaram maior produtividade, 85,81 e 79,99 t ha⁻¹. Neste trabalho também se observou que, dentro de certos limites, à medida em que se diminui o espaçamento e se aumenta a densidade populacional, há tendência de aumento da produtividade total por área. O espaçamento de 0,25 m entre plantas e de 0,25m nas entrelinhas, apesar de não resultar em a maior produtividade, apresentou plantas de qualidade superior (FAVERI et al., 2009).

O almeirão pode ser cultivado solteiro ou em consórcio, sendo que existem estudos de consórcio entre almeirão e cenoura (ZÁRATE et al., 2006), e consórcio com cebolinha (SALVADOR; ZÁRATE; VIEIRA, 2004). Nestes dois trabalhos foi

realizada a semeadura direta com a utilização de três sementes por cova, mantendo-se apenas uma planta, depois de 15 dias após a emergência das plantas.

O almeirão pode ser cultivado para diversos fins, como a utilização na alimentação animal, a utilização em forma de alimentação humana em forma de salada ou como refogado, e também a produção do almeirão para a extração de inulina de suas raízes.

A inulina é um tipo de frutano, ou seja, polímeros de frutose que são derivados da sacarose. Frutanos são produzidos por aproximadamente 15% das espécies de plantas que produzem flor, e também por bactérias e fungos. Um dos frutanos mais simples é a inulina linear, frequentemente encontrado em plantas da família Asteraceae (RITSEMA; SMEEKENS, 2003).

Assim como o amido, frutanos servem como acúmulo de carboidratos em plantas. Algumas espécies acumulam tanto frutanos como amido. Os frutanos são acumulados em órgãos especializados, assim como o tubérculo de *Dahlia variabilis*, os bulbos de tulipas (*Tulipa gesneriana*) e de cebola (*Allium cepa*), assim como a raiz pivotante do almeirão (RITSEMA; SMEEKENS, 2003).

A função dos frutanos nas plantas ainda é pouco conhecida, mas há indícios de que os frutanos acumulados nos órgãos citados anteriormente estejam relacionados à rebrota após a queda das folhas e também para o crescimento de novos ramos na primavera. Há sugestões de que os frutanos também estejam relacionados à expansão das flores (ROOVER et al., 2000).

Segundo Ritsema e Smeeckens (2003), os frutanos podem também estar envolvidos na proteção de plantas durante períodos de estresse devido à seca, frio ou excesso de sais.

2.2 Estresse hídrico

A absorção é um processo que está interconectado a vários outros processos fisiológicos das plantas e majoritariamente condicionado pela taxa de transpiração. A absorção da água pelas plantas é uma das etapas do processo de transferência da água do solo para as folhas, e então, para a atmosfera (KLAR, 1984).

O movimento da água do solo para a planta se dá através de uma diferença de potenciais de água (ou gradiente de potencial total da água). O potencial da água no solo é caracterizado principalmente pelo potencial mátrico do solo (causado pela

matriz do solo), quando se considera a camada de solo utilizada pelas culturas anuais e semi-perenes. O potencial da água na planta, por sua vez, é regido principalmente pelo potencial osmótico, que ocorre devido à alta concentração de solutos (íons) nas células das raízes (LARCHER, 2000).

Quando em condições de baixa disponibilidade hídrica, as plantas apresentam diferentes estratégias para a sobrevivência; algumas plantas apresentam maior tolerância à seca, outras apresentam estruturas vegetativas ou estratégias fisiológicas que possibilitam a sobrevivência em condições de seca, como troncos e folhas modificadas (cacto), acúmulo de água no caule (*Andersonia/Chorisia*), sistema radicular extenso, queda de folhas na estação seca (videira, macieira), acúmulo de água no sistema radicular, entre outros (LARCHER, 2000).

Entretanto, para as plantas que não possuem essas características, o comportamento sob condições de estresse hídrico (alta taxa de evaporação e baixo teor de água no solo) é o fechamento dos estômatos, o que diminui a taxa de transpiração (LARCHER, 2000).

A demanda hídrica das culturas é menor em ambientes protegidos do que a céu aberto, devido principalmente ao fato de a velocidade do vento ser mínima e também por haver atenuação da radiação solar direta. Segundo Rosenberg, McKenney e Martin (1989), a evapotranspiração em ambientes protegidos é, em média, 60 a 80 % da evapotranspiração que ocorre em ambiente externo.

2.3 Estudos sobre deficit hídrico

Vandoorne et al. (2012) avaliaram o crescimento das raízes de almeirão e a produção de inulina, substância geralmente usada como agente pré-biótico com propriedades antioxidantes, em uma variedade específica de almeirão (*Cichorium intybus* var. *sativum*). Porém estes autores utilizaram apenas dois tratamentos, controle, no qual a umidade do solo foi mantida próxima à umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), e seco, no qual mantiveram a umidade do solo próxima à umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), e utilizaram apenas três plantas por tratamento em quatro épocas de colheita (7, 13, 19 e 25 semanas após a semeadura). Estes autores obtiveram resultados que indicam que o estresse hídrico causa drástica redução na massa fresca e seca das raízes, área foliar total e

condutância estomática, em comparação as plantas cultivadas com o solo próximo à capacidade de campo.

De Roover et al. (2000) estudaram a resposta de plantas de almeirão quanto ao acúmulo de frutanos, mais especificamente inulina, quando as plantas eram submetidas ao estresse hídrico. Estes autores observaram que em condições normais as folhas do almeirão apresentavam quantidades negligenciáveis de frutanos, e as raízes continham apenas glicose, sacarose e frutose. Mas, após dois dias de condições de seca, as concentrações de frutanos nas raízes de plantas estressadas aumentaram significativamente, e, no final do experimento, foram observadas concentrações dez vezes maior em plantas estressadas do que em plantas em condições normais.

Estes mesmos autores concluíram que houve um aumento de glicose, frutose e sacarose nas raízes e folhas de plantas jovens de almeirão. Como uma consequência do estresse hídrico, atividades enzimáticas relacionadas à produção de frutanos foram iniciadas, e houve um maior acúmulo de frutanos do que em plantas sob condições normais. Esses resultados sugerem que a inulina, principal frutano produzido pelo almeirão, está diretamente relacionado à proteção da planta quando submetida a estresse hídrico.

Patel et al. (2000) analisaram quatro diferentes manejos de irrigação a partir da evaporação medida em tanque classe A, sendo que irrigações de 50 mm foram realizadas quando a evaporação do tanque classe A totalizava 125; 71,4; 50 e 38,4 mm. Os autores referem-se a razões de 0,4; 0,7; 1,0 e 1,3 da quantidade total evaporada do tanque classe A. Foram realizados três cultivos de almeirão, sendo que no primeiro ano de cultivo, a razão de 0,7 obteve o maior valor de comprimento de raízes, já para os dois outros anos de cultivo, os maiores valores de comprimento das raízes foram obtidos na razão 0,4.

Quanto à massa fresca das raízes, a razão de irrigação de 0,7 apresentou o maior valor no primeiro e no segundo ano de cultivo, mas a razão de 1,3 foi a que apresentou maior valor. Quanto à massa seca das raízes, a razão de 1,0 apresentou maior valor no segundo e no terceiro ano de cultivo, porém a razão de 0,7 foi a que resultou maior massa seca das raízes no primeiro ano de cultivo. Concluiu-se que a eficiência do uso da água foi reduzida com o aumento da razão da irrigação, e que a melhor eficiência do uso da água foi obtida com a razão de 0,4 (PATEL et al., 2000). Ressalta-se que Patel et al. (2000) realizaram o cultivo do almeirão para a extração

de inulina das raízes e não para o aproveitamento das folhas para alimentação em forma de salada, esse cultivo para aproveitamento das raízes foi realizado em um ciclo de 160 dias.

Quanto a outras espécies da mesma família (Asteraceae), foram encontradas pesquisas científicas a respeito, principalmente, para alface. Santos e Pereira (2004) estudaram a reação da alface tipo americana *cv. Raider*, a diferentes momentos de irrigação, ou seja, quando diferentes potenciais de água no solo eram atingidos iniciava-se a irrigação. O potencial de água no solo foi determinado por sensores instalados a 0,15 e 0,30 m de profundidade, sendo que para potenciais de 15 a 60 kPa foram utilizados tensiômetros, e para potenciais de umidade no solo de 75 a 90 kPa foram utilizados sensores de matriz granular.

Esses autores não submeteram as plantas de alface a estresse hídrico constante, uma vez que, apesar das irrigações serem iniciadas em momentos diferentes, a lâmina aplicada via irrigação era calculada para que a umidade do solo fosse elevada à umidade do solo na capacidade de campo. Portanto, apesar de submeterem as plantas a determinados níveis de déficit, as plantas tinham, em determinados momentos, uma boa disponibilidade de água no solo.

Neste mesmo experimento observou-se redução linear da massa fresca da parte comercializada e da altura de plantas conforme o aumento da tensão de 15kPa até 90kPa. Porém a massa seca da parte comercializada aumentou linearmente com o aumento da tensão de água no solo. O potencial de água no solo mais adequado para o início da irrigação foi o de 15 kPa, obtendo-se plantas mais altas, com maior massa fresca da parte comercializada e com folhas mais tenras, e obtendo-se assim a melhor eficiência do uso da água.

Bandeira et al. (2011) ao estudar a resposta da alface a diferentes sistemas de manejo da irrigação, cultivaram a alface em ambiente protegido em Juazeiro, BA, utilizando dois sistemas para o manejo da irrigação. Em um sistema foram utilizados tensiômetros, sendo que a cultura era irrigada quando os tensiômetros atingiam um potencial mátrico do solo igual a -30kPa (M1). No outro sistema a reposição da água era realizada com base nas leituras de evaporação em um tanque de tamanho reduzido no interior da casa de vegetação, assumindo $K_p=1$ (M2).

Estes autores observaram que o sistema constituído de um tanque de evaporação de tamanho reduzido estimou uma evapotranspiração total, durante todo o cultivo da alface, aproximadamente igual à metade da evapotranspiração obtida

por tensiometria. As plantas apresentaram redução de 59% na produção em massa fresca da parte aérea quando submetidas a M2 em relação às submetidas a M1, e uma redução de 31,3% na massa seca da parte aérea.

Cardoso e Klar (2009), também estudaram o efeito do manejo da irrigação na cultura da alface, analisando a resposta de diferentes cultivares de alface em função de quatro potenciais de água no solo (-0,001; -0,005; -0,013; e -0,022 MPa). Observaram que os valores de -0,005 e -0,013 MPa foram os potenciais que apresentaram maior valor de massa fresca da parte comercializável, sendo que os potenciais de -0,001 e -0,022 MPa resultaram menor massa fresca da parte comercializável, podendo-se dizer que o potencial de -0,001 MPa representa um tratamento de excesso de água no solo e que o tratamento de -0,022 MPa representa um tratamento de irrigação deficitária.

Hamada e Testezlaf (1995) analisaram a resposta da alface a diferentes porcentagens de evaporação do Tanque Classe A (ETCA) aplicadas por irrigação, tendo assim os tratamentos de 60, 80, 100, e 120% da ETCA. Estes autores observaram que os maiores valores de altura de planta foram obtidos pelo tratamento de 120% da ETCA, seguidos pelos tratamentos de 100, 60 e 80% da ETCA.

Já quanto à massa seca, o tratamento de 100% da ETCA foi o que apresentou maior valor médio de massa seca, seguido pelos tratamentos de 120, 60, e 80% da ETCA. Com relação aos valores de massa fresca, o tratamento que resultou maior massa fresca foi o de 120%, seguido dos tratamentos de 100, 80 e 60% da ETCA. Por fim, quanto à área foliar, os maiores valores médios foram obtidos pelo tratamento de 120% da ETCA, seguido pelos tratamentos de 100, 80 e 60% da ETCA, assim como observado no caso da variável massa fresca.

Porém, não se pode comparar diretamente os tratamentos de porcentagem de ETCA com tratamentos de porcentagem de ETc, uma vez que o tanque classe A do ensaio de Hamada e Testezlaf (1995) estava localizado no interior da casa de vegetação, e representa apenas a evaporação da água a partir de uma superfície na qual a água está em contato direto com a atmosfera, diferente da estimativa de ETo e ETc do presente estudo que foi realizada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, levando em conta a cultura de interesse (Kc).

Pesquisas foram realizadas com outras culturas de interesse agrônomo, como feijão-caupi (NASCIMENTO et al., 2011). Este experimento submeteu as

plantas de feijão caupi a irrigação plena e a uma irrigação de aproximadamente 50% da ETc, sendo que o deficit hídrico resultou em uma redução de 72% da condutância estomática, 62% do potencial hídrico das folhas e uma redução de 60% da produção de grãos.

Silva et al. (2012) ao estudar o deficit hídrico no girassol observaram que a melhor resposta em ganhos de crescimento e de produção de fitomassa deu-se no tratamento sem restrição de irrigação, e que a irrigação equivalente a 50% da ETo comprometeu a morfologia e a produção de fitomassa quando aplicado em qualquer estágio de desenvolvimento da cultura.

Martim et al. (2009) realizaram experimentos submetendo plantas de uva ao deficit hídrico, obtendo aumento de 70% na taxa de respiração aos doze dias após a suspensão da irrigação, e indicam que o deficit hídrico pode ativar certas substâncias nas plantas que possivelmente melhoram a consistência da produção e a qualidade dos frutos pela suspensão controlada da irrigação.

Sampaio et al. (2010) aplicaram lâminas de 100, 75 e 50% da ETc em lima ácida, sendo que a lâmina de 50% da ETc foi aplicada com e sem alternância de posicionamento dos microaspersores. Estes autores observaram que as lâminas de 50% da ETc com e sem a alternância da posição dos microaspersores não diferiram entre si; eles também observaram que os tratamentos de 100 e 75% da ETc também não diferiram entre si.

Silveira et al. (2010) submeteram plantas de brócolis às porcentagens de 40, 70, 100, 130, e 160% da ETc em três estádios de crescimento da cultura, fase vegetativa, de floração e colheita. Estes autores observaram que para os tratamentos de deficit e excesso de irrigação a cultura do brócolis apresentou a fase de floração como a mais sensível ao estresse hídrico, sendo que em todos os casos a maior produtividade foi obtida quando as lâminas de excesso ou déficit foram aplicadas na fase da colheita.

Beirigo, Santana, Vieira (2009) observaram que tanto lâminas deficitárias (70% da ETc) como excessivas (130, 160 e 190% da ETc) causaram redução na produção de cenoura.

2.4 Evapotranspiração

A evapotranspiração é o nome dado à soma dos processos de evaporação (E) e de transpiração (T), sendo que estes processos ocorrem simultaneamente numa superfície vegetada. O processo de evaporação da água ocorre em superfícies de água livres (diretamente exposta à atmosfera) ou em superfícies úmidas de terra compostas por plantas e solo, sendo simplesmente o processo no qual a água passa da fase líquida para a fase gasosa. Já a transpiração é um processo que necessariamente envolve uma planta que absorve a água do solo, utiliza a água em seus processos bioquímicos e transpira a quantidade de água que não ficou contida em suas células (PEREIRA et al., 2013).

O termo evapotranspiração foi primeiramente sugerido pelo climatologista C. W. Thornthwaite, em meados da década de 1930. Anteriormente o termo mais utilizado era uso consuntivo, que considerava também a água retida na planta (PEREIRA et al., 2013).

Existem diferentes termos que qualificam a evapotranspiração como: potencial, de referência, real, da cultura, de oásis, de equilíbrio. Esses termos são utilizados frequentemente no dia a dia dos profissionais que lidam com a evapotranspiração, mas raramente seus verdadeiros significados são explicados e definidos (PEREIRA et al., 2013).

A evapotranspiração potencial (ET_P), introduzida por Thornthwaite e Wilm (CAMARGO; CAMARGO, 2000), corresponde à água utilizada por uma grande superfície com vegetação, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o terreno estando este bem suprido de umidade. Em nenhum momento a demanda atmosférica por água é restringida por falta d'água no solo, e as plantas não estão em repouso vegetativo. Thornthwaite e Mather (1955) estabeleceram que a vegetação padrão deve ser uma gramínea com albedo próximo a 0,25 e também que a razão entre a energia usada na ET em relação àquela que aquece o ar deve ser constante (PEREIRA et al., 2013).

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi proposta por Jensen, Wright e Pratt (1971), sugerindo que seu valor fosse adotado como referência para a estimativa da evapotranspiração da cultura. É definida como sendo a evapotranspiração máxima que ocorre em uma cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.), com altura de 0,3 m a 0,5 m, e com cerca de 100 m de bordadura (JENSEN,

1973 apud PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013). Posteriormente, os boletins da FAO 24 (DOORENBOS; PRUITT, 1975) e 33 (DOORENBOS; KASSAM, 1994) definiram ETo como sendo a ET de uma extensa superfície de grama com altura de 0,08 m a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem restrição hídrica. A partir dessa definição é evidente que ETo coincide com ET_p (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

Evapotranspiração real (ET_R), também introduzida por Thornthwaite, é aquela que ocorre numa extensa área de superfície vegetada, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, porém com condições de limitação do teor de água no solo (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

Evapotranspiração da cultura (ET_c) é aquela que ocorre quando se tem uma cultura em bom estado fitossanitário, com fertilidade do solo adequada, com condições hídricas suficientes para boa produtividade e, em área mínima de 1 ha (DOORENBOS e PRUITT, 1975). A evapotranspiração da cultura pode ser obtida por meio da evapotranspiração de referência, uma vez que já existem valores de coeficiente de cultura (K_c) obtidos em estudos de lisimetria e parametrizados pela FAO para as principais culturas, sendo que basta multiplicar o coeficiente da cultura em questão (K_c) pela evapotranspiração de referência (ETo)

A evapotranspiração de oásis (ETO) é definida pela evapotranspiração que ocorre em uma pequena área irrigada que está cercada por extensa área seca, sendo a área tampão da área irrigada (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

Evapotranspiração de equilíbrio (ET_{eq}) representa uma condição de evapotranspiração mínima, que não é observada na prática, nem mesmo após alguns dias de chuvas generalizadas. Porém, esse conceito é muito útil para o desenvolvimento de análises teóricas dos métodos combinados e de simplificações que geraram métodos empíricos de estimativa da ET (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

O uso da lisimetria para a medida direta da evapotranspiração das culturas é uma técnica utilizada principalmente para pesquisa, devido à dificuldade de manejo, manutenção e obtenção dos dados. Existem três tipos de lisímetros, de pesagem, de drenagem e de lençol freático constante.

Os lisímetros de pesagem são constituídos de caixas, geralmente de concreto ou algum metal, que ficam apoiadas em três células de carga, as quais fazem as medições de variação de massa ao longo de um determinado período de tempo.

Os lisímetros de drenagem podem ser construídos com caixas de concreto ou metal, mas também podem ser construídos com lonas plásticas no caso de culturas com sistema radicular menos agressivo. Porém o principal componente dos lisímetros de drenagem é justamente o sistema de drenagem e coleta de água, possibilitando a coleta da água drenada, podendo-se assim realizar o balanço hídrico do lisímetro.

Os lisímetros de lençol freático constante necessitam de um reservatório de água auxiliar externo para que se consiga manter o nível da água constante dentro do lisímetro, neste caso assume-se que ET seja igual à taxa de reposição da água.

Com o objetivo de se facilitar a estimativa da evapotranspiração de referência, foram ajustados modelos que utilizam dados meteorológicos para a estimativa da evapotranspiração. O modelo de estimativa de evapotranspiração de referência definido por Allen et al. (1998) foi determinado a partir do modelo de Penman-Monteith e parametrizado com base nas características de uma cultura hipotética, que em muito se assemelha à grama. Assim o modelo de Penman-Monteith FAO-56 passou a ser utilizado como padrão para reproduzir os coeficientes de cultivo encontrados em pesquisas e ensaios de campo ao redor do mundo, contribuindo para o conhecimento da demanda hídrica dos cultivos e, dessa forma, garantindo a uma melhor gestão dos recursos hídricos.

O modelo de Penman-Monteith FAO-56 é o modelo mais utilizado atualmente, porém para o uso deste modelo é preciso que se tenha dados de, pelo menos, temperatura (máxima e mínima), umidade relativa do ar (máxima e mínima), velocidade do vento (média diária) e radiação solar total diária, sendo preferencial o saldo de radiação. A partir destes dados obtêm-se os demais valores necessários para o uso do modelo: constante psicrométrica (γ), radiação líquida (ou saldo de radiação R_n), pressão saturante do vapor d'água (e_s); e pressão atual de vapor d'água (e_a). O modelo de Penman-Monteith FAO-56 requer o dado de fluxo de calor no solo, porém, quando o modelo é utilizado em uma escala inferior a 10 dias a este valor pode ser considerado nulo (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

2.5 Fator de forma da área foliar

Segundo Blanco e Folegatti (2005), o conhecimento da área foliar (AF) é de elevada importância para grande parte dos estudos agronômicos e fisiológicos que

envolvam crescimento vegetativo, interceptação de radiação, eficiência fotossintética, evapotranspiração e respostas a adubação e a irrigação.

A variação temporal da área foliar em uma cultura agrícola depende, das condições edafoclimáticas, da cultivar e da densidade populacional, entre outros fatores. Geralmente a área foliar aumenta até um ponto máximo, decrescendo após algum tempo, sobretudo em função da senescência das folhas mais velhas. A fotossíntese, responsável pelo fornecimento de energia e pelo crescimento e desenvolvimento das plantas, depende da área foliar. Consequentemente, quanto mais rápido a cultura atingir a área foliar ótima e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa, maior será sua produtividade biológica (MONTEIRO et al., 2005).

Blanco e Folegatti (2005), afirmam que geralmente métodos destrutivos e que envolvem a utilização de equipamentos eletrônicos de alto custo são utilizados para a determinação da área foliar. Por outro lado, métodos indiretos de estimativa da área foliar podem ser utilizados quando da falta de disponibilidade de equipamentos, ou quando métodos não destrutivos são necessários, condições estas frequentemente encontradas em experimentos a campo ou com baixa densidade populacional.

Um dos métodos indiretos e não destrutivos mais utilizado é o uso de equações matemáticas para a estimativa da área foliar, equações estas que envolvem medições lineares tais como comprimento (C) e largura (L) das folhas. Tais equações geralmente apresentam elevada exatidão e precisão (BLANCO e FOLEGATTI, 2005).

As equações de regressão linear geralmente apresentam-se da seguinte forma $y=a+bx$. Porém, para a estimativa da área foliar, as equações ajustadas devem ser, preferencialmente, do tipo $y=bx$, sendo b chamado de fator de forma (MONTEIRO et al., 2005).

Equações foram estabelecidas para a cultura do algodão (MONTEIRO et al., 2005), variáveis IAC 23 e Coodetec 401, sendo obtido o fator de forma igual a 0,8954 e 0,8996, respectivamente, com coeficientes de determinação elevados (0,9661 e 0,9871, respectivamente).

Cargnelutti Filho (2012) estabeleceu equações a partir de modelos lineares ($y=a+bx$), quadráticos ($y= a+bx+cx^2$) e potenciais ($y=ax^b$). Este autor utilizou alguns parâmetros e índices para a escolha do melhor modelo, utilizando-se dos coeficientes de determinação (R^2) e de correlação de Pearson (r), erro absoluto

médio (EAM), raiz quadrada média do erro (RQME), índice de Wilmott (d), e índice c de Camargo e Sentelhas (1997).

Williams III e Martinson (2003) obtiveram nove equações para a estimativa da área foliar de duas cultivares de uva ('Niagara' e 'DeChaunac'), a partir do uso das medidas de largura e/ou comprimento das folhas. Estes autores utilizaram modelos lineares, potenciais e quadráticos, sendo que todos estes três modelos, foram ajustadas equações nas quais ambas as medidas (largura e comprimento das folhas) foram consideradas como variáveis independentes. O melhor ajuste que estes autores obtiveram foi a equação potencial na qual foi utilizada apenas a medida da largura das folhas, para ambas as cultivares, com coeficiente de determinação de 0,9821 para a 'Niagara' e 0,9632 para a cultivar 'DeChaunac'.

Rouphael et al. (2010), estudaram as relações entre a área foliar e o comprimento e largura das folhas de roseira (*Rosa hybrida* L.). Estes autores ajustaram cinco equações lineares, sendo que duas envolveram apenas uma das medidas (largura ou comprimento), uma envolvendo a multiplicação destas medidas e outras duas envolvendo o quadrado destas medidas.

Cho et al. (2007), analisaram equações ajustadas para a estimativa da área foliar do pepino, as quais envolviam as medidas de comprimento e largura das folhas, sendo que as três equações com melhor ajuste foram do tipo $AF=a+bCL$, $AF=a+bL+cCL$ e $AF=a+bW+cL^2+dW^2$, com coeficientes de determinação iguais a 0,976, 0,98, 0,98, respectivamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) (Figura 1), na cidade de Piracicaba, no Departamento de Engenharia de Biossistemas, com as seguintes coordenadas geográficas: 22° 41' 58" S; 47° 38' 42" W e aproximadamente 511 m de altitude.

Figura 1 - Localização da estufa agrícola utilizada no experimento

O clima da região é do tipo Cwa (Köppen), subtropical úmido, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, com temperaturas médias de 22°C no mês mais quente e 18°C no mês mais frio. A temperatura média anual é de 21,4 °C e precipitação anual de 1.257mm.

3.2 Caracterização físico-hídrica do solo

O solo utilizado nos experimentos foi o mesmo utilizado nos experimentos da tese de doutorado de Gava (2014), sendo possível encontrar maiores detalhes sobre a caracterização do solo na tese mencionada. Neste tópico serão descritos os procedimentos básicos utilizados para a caracterização do solo da tese de Gava (2014).

O solo utilizado é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa, série Sertãozinho. A análise granulométrica deste solo foi realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia de Biosistemas (ESALQ/USP) por meio do método da peneiragem para a obtenção do teor de areia, e pelo método de pipetagem para a obtenção dos teores de silte e argila. A partir dos teores de areia, silte e argila, o solo foi classificado como Franco Arenoso (GAVA, 2014).

A curva característica de retenção de água no solo foi obtida no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP. Para isso foram coletadas amostras indeformadas de solo, utilizando-se o extrator de amostras indeformadas do tipo Uhland, nas profundidades de 0,15, 0,30 e 0,45 m. No laboratório, foi utilizada a mesa de tensão para simular os potenciais de -0,98; -1,96; -3,92; e -5,88 kPa., e câmara de Richards para simular os potenciais de -9,8; -29,4; -49; -78,4; -49; e -1470 kPa. Os resultados foram ajustados pela equação de Van Genuchten, com o intuito de descrever a variação do potencial da água no solo em função da umidade (GAVA, 2014).

As umidades volumétricas correspondentes aos pontos de 0,1 atm (9,8 kPa) e de 15 atm (1470 kPa) correspondem às umidades na capacidade de campo (θ_{CC}) e no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}). A partir dos valores destas umidades volumétricas é possível calcular a capacidade de água disponível (CAD) (eq. 1). Foram realizadas também análises de densidade global do solo (ρ_s), e os valores de densidade das partículas do solo (ρ_p) foram obtidos do trabalho de Chaves (2009). A partir destes dois valores calculou-se a porosidade total do solo (α) (eq. 2). Os resultados das análises físico-hídricas do solo estão apresentados na Tabela 1 (GAVA, 2014).

$$CAD = 10(\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \rho_s z \quad (1)$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) 100 \quad (2)$$

Em que:

z – profundidade da camada de solo, em cm;

θ_{CC} – umidade volumétrica na capacidade de campo, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_{PMP} – umidade volumétrica no ponto de murcha permanente, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

ρ_s – densidade global do solo, em g cm^{-3} ; e

ρ_p – densidade das partículas do solo, em g cm^{-3} .

Tabela 1 – Parâmetros físico-hídricos do solo (FONTE: GAVA, 2014)

Camada (cm)	θ_{CC} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_{PMP}	CAD (mm cm^{-1})	ρ_s (g cm^{-3})	ρ_p^*	α (%)	Frações granulométricas			Classe textural
							Areia	Silte (%)	Argila	
0 – 15	0,252	0,100	2,12	1,40	2,65	0,47	75,78	6,45	17,77	Franco Arenoso
15 – 30	0,281	0,099	2,48	1,36	2,65	0,49	74,77	6,35	18,88	
30 – 45	0,284	0,102	2,45	1,34	2,64	0,49	75,28	6,40	18,33	

* ρ_p – densidade de partículas (FONTE: CHAVES, 2009)

Os resultados obtidos em laboratório para a construção da curva de retenção da água no solo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em função da pressão aplicada sobre as amostras de solo para a construção da curva de retenção da água no solo (FONTE: GAVA, 2014)

Camada (cm)	Pressão (kPa)									
	0	0,98	1,96	3,92	9,8	29,4	49	78,4	490	1470
	θ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)									
0 – 15	0,502	0,471	0,354	0,301	0,252	0,214	0,179	0,135	0,124	0,100
15 – 30	0,504	0,462	0,386	0,336	0,284	0,233	0,190	0,135	0,123	0,102
30 – 45	0,487	0,431	0,373	0,316	0,281	0,231	0,192	0,138	0,128	0,099
Média	0,498	0,455	0,371	0,317	0,272	0,226	0,187	0,136	0,125	0,100

A partir dos dados de umidade e de tensão foi então obtida a curva de retenção da água no solo ajustando os dados de acordo com o modelo de Van Genuchten (1980) (eq. 3).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 - (\alpha h)^n\right]^m} \quad (3)$$

Em que :

θ – Umidade volumétrica, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;

θ_r – Umidade volumétrica residual, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;

θ_s – Umidade volumétrica na saturação, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;

h – Pressão aplicada, cm.c.a.;

α – Parâmetro de ajuste do modelo, cm^{-1} ;

n – Parâmetro de ajuste do modelo, adimensional; e

m – Parâmetro de ajuste do modelo, adimensional.

Os valores necessários para a obtenção da curva são: $\theta_r = 0,100$; $\theta_s = 0,498$; $\alpha = 0,0793$; $n = 1,4756$; $m = 0,2966$. A partir destes valores tem-se a equação 4, que representa a equação da curva de retenção de água no solo, apresentada na Figura 2. Foram utilizados os valores médios da Tabela 2 na eq. 4.

$$\theta = 0,100 + \frac{0,498 - 0,100}{\left[1 + (0,079 h)^{1,4756}\right]^{0,2966}} \quad (4)$$

Figura 2 - Curva de retenção da água no solo (FONTE: GAVA, 2014)

3.3 Caracterização das unidades experimentais

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação de 119 m² (7 x 17 m), equipada com 48 caixas com área de 1,30 m² (medidas internas de 1,24 x 1,04 m) e profundidade de 0,75 m, dispostas em quatro fileiras de 12 caixas em cada fileira, havendo um espaçamento de 0,5m entre as fileiras de caixas e 0,5 m entre a borda das caixas das fileiras laterais e a tela lateral da estufa (Figura 3).

Figura 3 - Disposição interna das caixas de 1,30 m² no interior da estufa

O almeirão foi plantado, em ambos os experimentos 1 e 2, em cinco linhas de plantas por caixa, sendo que cada linha de plantas era constituída por oito plantas, totalizando 40 plantas por caixa, obtendo-se assim uma densidade de 30,8 plantas m⁻². As linhas foram espaçadas em 0,20 m e as plantas nas linhas em 0,15 m, sendo que cada planta ocupou uma área equivalente a 0,03 m².

Para a obtenção de dados sem a interferência das extremidades laterais, da limitação causada pelas paredes das caixas, ou da distribuição da água de irrigação, considerou-se como bordadura uma linha de plantas para os quatro lados das caixas nas extremidades de cada caixa, em virtude da possibilidade de ocorrer condições atmosféricas e de solo favoráveis ou prejudiciais às plantas. Portanto 18 plantas foram consideradas como válidas e influenciadas apenas pelos tratamentos, sem que o ambiente ou condições do solo interferissem nos resultados.

A recolocação do solo nas caixas de concreto foi realizada por Gava (2014) de maneira cuidadosa para que fosse possível se aproximar ao máximo das condições a campo, colocando-se solo em camadas de 0,10 m, obedecendo a ordem dos horizontes. Após ensaio laboratorial para determinação da densidade, foram pesados volumes conhecidos de solo para serem recolocados em cada camada de 0,10 m nas caixas.

3.4 Delineamento estatístico

Os experimentos foram realizados em blocos inteiramente aleatorizados, sendo utilizadas cinco porcentagens de ETc aplicadas por irrigação (tratamentos) e nove blocos ou repetições por tratamento. As porcentagens de ETc aplicadas por irrigação foram: 60, 80, 100, 120 e 140% da lâmina evapotranspirada pela cultura (ETc) durante o turno de rega (diário). Foram aplicados cinco tratamentos com nove repetições cada, portanto.

3.5 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, utilizando-se tubo emissor tipo fita com gotejador tipo pastilha integrado com vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$ a uma pressão de serviço de 10 mca (não auto-compensante), com 0,30 m de distância entre cada gotejador. Foram utilizadas três linhas de gotejadores, cada uma com aproximadamente 1,10 m de comprimento, contendo 4 gotejadores cada, totalizando 12 gotejadores por caixa, com uma vazão total de $19,2 \text{ L h}^{-1}$, e uma intensidade de aplicação de $14,8 \text{ mm h}^{-1}$.

A irrigação foi controlada por um conjunto de válvulas solenoides conectadas a um controlador da marca Galcon® (modelo AC-9S 8059S) por meio de mini contadores de 24 V da Weg®, a fim de se diferenciar as lâminas aplicadas nas 45 caixas utilizadas, sendo que cada caixa possuía uma válvula solenoide responsável pela abertura ou fechamento da irrigação. O controlador Galcon® utilizado no experimento controlou até nove conjuntos de válvulas, com até quatro tempos de início da irrigação, sendo que o tempo de irrigação foi configurado com precisão de segundos (Figura 4).

Figura 4 - Controlador Galcon® (acima e a esquerda); disposição dos minicontatores ligados aos fios positivos das válvulas solenóides (acima e a direita) e as válvulas solenóides de cada caixa (em baixo)

Após a montagem do sistema, para a verificação do funcionamento do sistema de irrigação, foram realizados testes de vazão, cujos dados foram utilizados nas equações 5 a 8.

$$CUD = 100 \cdot \frac{q_n}{q_{méd}} \quad (5)$$

$$CUC = 100 \cdot \left(1 - \left(\frac{\sum |q_i - q_{méd}|}{N \cdot q_{méd}} \right) \right) \quad (6)$$

$$CV = 100 \cdot \left(\frac{\sigma}{q_{méd}} \right) \quad (7)$$

$$UE = 100 - CV \quad (8)$$

Em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen;

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição;

CV – coeficiente de variação;

UE – uniformidade de emissão;

q_n – média das 25% menores vazões;

$q_{\text{méd}}$ – média de todas as vazões;

q_i – vazão de um gotejador i ; e

σ – desvio padrão das vazões.

Os resultados obtidos foram: CUC = 96,07%; CUD = 93,39%; CV = 5,14%; e UE = 94,86%. Sendo que os valores obtidos, principalmente CUC, CUD e UE maiores que 90%, indicam que o sistema distribui a água de irrigação com excelente uniformidade.

3.6 Monitoramento da umidade do solo

Com o intuito de monitorar a umidade do solo, foram instalados por Gava (2014), em todas as caixas, três sensores do tipo TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), em três profundidades (0,05, 0,30 e 0,50 m) e calibrados para as condições experimentais, sendo colocados na entrelinha de cultivo da cultura (Figura 5). Para realizar as medições, foi utilizado um multiplexador SDMX50 acoplado ao equipamento TDR100, ambos produzidos pela empresa Campbell Scientific® nos EUA, sendo que os sensores foram acoplados ao multiplexador, e o TDR100 acoplado a um computador portátil munido do software PC-TDR versão 2.07.

Figura 5 - Montagem das caixas com a instalação das sondas de TDR (FONTE: GAVA, 2014)

3.7 Monitoramento das condições atmosféricas

Uma estação agrometeorológica automática, localizada exatamente no centro da casa de vegetação (Figura 6) foi utilizada para coletar dados agrometeorológicos de radiação solar global, umidade relativa do ar, temperatura do ar e velocidade do vento, em intervalos de 5 segundos e suas médias armazenadas a cada 15 minutos, com o auxílio de um sistema de aquisição automática de dados, datalogger da Campbell Scientific® modelo CR1000.

Figura 6 - Posicionamento da estação meteorológica no interior da casa de vegetação

A coleta dos dados agrometeorológicos foi feita em todo ciclo da cultura, permitindo a obtenção de dados climatológicos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO-56 (eq. 9), que multiplicada por um coeficiente de cultivo K_c = 0,76, valor médio para todo o ciclo do almeirão cultivar “Pão de Açúcar” obtido por Spagnol, Neto, Peres (2013) para o município de Araras, obtém-se a evapotranspiração da cultura (ET_c), sendo ET_o obtida por:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (9)$$

Em que:

ET_o – evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

R_n – saldo de radiação, MJ m⁻² d⁻¹;

G – fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹;

T_{med} – temperatura média diária do ar a 2 m de altura, °C;

u₂ – velocidade do vento média diária a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s – pressão de saturação do vapor média diária, kPa;

e_a – pressão atual de vapor média diária, kPa;

Δ – declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T_{med} , $kPa\ ^\circ C^{-1}$;

γ – constante psicométrica, $kPa\ ^\circ C^{-1}$.

3.8 Diagnóstico e lixiviação do excesso de sais

Como o solo utilizado no presente estudo havia sido utilizado para o plantio alternado de soja e milho (duas vezes) com objetivos de investigação, aplicando-se lâminas inferiores à lâmina evapotranspirada e adubação usual do solo, inclusive com cloreto de potássio, houve um acúmulo de sais no solo, evidenciado pela camada esbranquiçada que pode ser observada na Figura 7.

A partir da observação de camada esbranquiçada na superfície do solo (Figura 7) foram realizadas análises de condutividade elétrica de amostras compostas de solo retiradas a três profundidades (0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m) pelo método da medida da condutividade elétrica do extrato do solo saturado. Os resultados obtidos foram de 3,0, 8,5 e 0,8 $dS\ m^{-1}$, respectivamente. Os valores de condutividade elétrica do extrato saturado do solo obtidos nas camadas de 0,00 – 0,10 m e 0,10-0,20 m excedem o limite que a cultura do almeirão pode suportar, que é de 1,3 $dS\ m^{-1}$ (DIAS; BLANCO, 2010)

Figura 7 - Solo com camada esbranquiçada evidenciando possível salinização

Para a redução da condutividade elétrica nas camadas superficiais foi utilizado um volume de água para lixiviação de 216 mm (eq. 10) (MEDEIROS; SILVA; DUARTE, 2010), que foi aplicada com o uso de uma mangueira com uma vazão de 0,3 L s⁻¹ ou 18 L h⁻¹ durante uma aplicação de 15 minutos por caixa (270 L para 1,25 m² ou 216 mm).

$$\frac{CE_f}{CE_o} \cdot \frac{DI}{Ds} = k \rightarrow DI = k \cdot Ds \cdot \frac{CE_o}{CE_f} \quad (10)$$

Em que:

CE_f – condutividade elétrica final do estrato de saturação do solo (dS m⁻¹);

CE_o – condutividade elétrica inicial do estrato de saturação do solo (dS m⁻¹);

DI – lâmina de lixiviação (m);

Ds – profundidade do perfil a ser recuperado (m);

k – constante que varia com o tipo de solo e com o método de irrigação, geralmente adotado como 0,1 para solo franco arenoso sendo que a lixiviação é realizada por inundação.

Após a aplicação da lâmina de lixiviação, foi realizada uma amostragem composta do solo de todas as caixas, nas profundidades de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m, obtendo-se valores de condutividade elétrica do extrato saturado do solo igual a 1,173, 1,229, e 1,0948 dS m⁻¹, valores baixos o suficiente para o cultivo do almeirão.

3.9 Tratos culturais

No primeiro experimento, o plantio do almeirão foi realizado por meio de semeadura, utilizando-se sementes certificadas, as quais foram plantadas manualmente colocando-se de 2 a 4 sementes por cova de plantio, espaçadas a 0,20 x 0,15 m como mencionado no item 3.3. O plantio do almeirão no experimento 2 foi realizado com a utilização de mudas, produzidas em bandejas de 288 células, em viveiro de mudas de hortaliças, apresentando de 3 a 5 plantas por célula, sendo que as plantas possuíam de 0,04 a 0,06 m de altura. A semeadura do experimento 1 foi realizada no dia 5 de agosto de 2014. O transplante das mudas do experimento 2 foi realizada no dia 10 de outubro de 2014.

No experimento 1, como foram utilizadas sementes, o almeirão foi tratado com extrato aquoso de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss), planta de origem asiática amplamente utilizada para controlar e repelir insetos causadores de danos econômicos às culturas. O extrato aquoso de Nim foi obtido utilizando-se a concentração de 20% (200 g de folhas por litro de água) quando se utilizou folhas frescas e utilizando-se 40 g de folhas por litro de água quando se utilizou folhas secas à sombra. O extrato das folhas de Nim foi aplicado utilizando-se pulverizador manual, aplicando-se o extrato na parte aérea do almeirão.

No experimento 2, como as mudas provenientes de viveiro já haviam sido previamente tratadas com inseticidas e fungicidas, não houve a necessidade de aplicação de extrato de Nim para o controle de pragas da cultura.

O extrato de folhas de Nim foi utilizado no experimento 1 por causa da escassez de produtos fitossanitários cadastrados para a cultura do almeirão que apresentassem baixa toxicidade, curto intervalo de segurança (período de tempo entre a última aplicação e a colheita) e curto intervalo de reentrada de pessoas na área tratada.

A cultura do almeirão foi colhida aos 60 DAS no experimento 1 e aos 50 DAT no experimento 2, esta diferença entre a duração do ciclo do almeirão se deve à diferença no método do plantio, e também ao fato de que no início do experimento 1 ocorreram dias de baixas temperaturas, por outro lado no início do experimento 2 ocorreram dias de temperatura máxima elevada dentro da casa de vegetação.

A colheita dos dois experimentos foi realizada manualmente utilizando-se canivete para o corte da parte aérea das plantas. Antes do corte foi realizada a medição de altura das plantas, após o corte da parte aérea, foi realizada a medição de número de folhas, e as folhas foram colocadas em sacos de papel kraft e levadas para o laboratório para a pesagem da massa fresca da parte aérea. A colheita do experimento 1 foi realizada nos dias 6 e 7 de outubro de 2014, já a colheita do experimento 2 foi realizada nos dias 10, 11 e 12 de dezembro de 2014.

3.10 Variáveis resposta

3.10.1 Área foliar

As plantas de três caixas de cada tratamento foram escolhidas aleatoriamente para a mensuração da área foliar, obtendo-se, pelo menos, a área foliar de cem folhas por tratamento.

A área foliar (AF) foi medida por meio de fotografias digitais das folhas posicionadas com a nervura central na vertical, tomando como escala uma régua graduada em centímetros que também é fotografada junto com as folhas. A partir da escala da régua, o software ImageJ 1.47 v (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA) calcula uma distância conhecida em pixels/cm, em seguida, a fotografia é editada para que todas as cores diferentes do fundo da foto, que geralmente é de cor clara, fiquem marcados da cor vermelha, então, o usuário utiliza uma ferramenta do software para selecionar as folhas e, imediatamente o software calcula e mostra a medida de área na unidade escolhida pelo usuário (Figura 8).

Figura 8 - Tela do Programa ImageJ v 1.47 ao realizar medições de área foliar do almeirão

3.10.2 Comprimento e largura das folhas

O comprimento e a largura das folhas também foram medidos a partir das imagens utilizadas para a medição da área foliar, sendo que o software ImageJ, além de calcular a área da folha, também calcula e fornece as maiores distâncias na vertical e na horizontal, razão de se posicionar as folhas com a nervura central na vertical ou na horizontal.

3.10.3 Altura da planta

As plantas foram medidas com réguas graduadas em centímetros a partir da superfície do solo, no momento da colheita.

3.10.4 Número de folhas

A medição do número de folhas foi realizada logo após o corte da parte aérea, contando-se as folhas pela base da planta, já que algumas folhas apresentavam-se com tamanho bem reduzido.

3.10.5 Massa fresca da parte aérea

A massa da parte aérea das plantas foi obtida logo após o corte ser efetuado a uma altura de aproximadamente 2 cm da superfície do solo, antes de se iniciar o processo natural de secagem e consequente redução da umidade.

3.10.6 Massa seca da parte aérea

O material utilizado para a obtenção da massa fresca da parte aérea foi seco em estufa a 60°C por 24 horas, até que fosse obtida massa constante, com o material completamente desidratado. A partir da massa fresca e da massa seca da parte aérea, foi possível calcular a umidade do material no momento do corte, dado que indica provável estresse hídrico.

3.11 Análise estatística

Os dados das variáveis descritas acima foram analisados estatisticamente por meio, primeiramente, da estatística descritiva, mostrando-se os valores máximos, mínimos e médios de cada tratamento, assim como o desvio-padrão e o coeficiente de variação. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância individual, na qual se realizou a análise de variância de cada experimento separadamente, com o objetivo de comparar os valores de quadrado médio dos resíduos (QMR), sendo que a razão entre QMRmaior e QMRmenor deve ser no máximo igual a 7:1 para que se possa proceder a análise estatística por meio da análise de variância conjunta (BANZATTO; KRONKA, 2013).

A análise de variância conjunta compara os tratamentos, os experimentos e a interação entre os tratamentos dos diferentes experimentos que estiverem sendo comparados, possibilitando saber se há diferenças entre os tratamentos, abrangendo os dados de um mesmo tratamento de todos os experimentos, se há diferenças entre os experimentos, incluindo todos os dados de cada um dos experimentos. E por fim, se os tratamentos obtiveram diferentes respostas entre os experimentos (Interação (TxE), ou seja, se o mesmo tratamento foi diferente em cada um dos experimentos.

Após a análise de variância conjunta, dependendo do tipo de variável realizou-se teste de médias ou análise de regressão. O teste de médias é utilizado quando se tem uma variável qualitativa (ou não contínua), como é o caso da variável número de folhas por planta, uma vez que uma planta não pode ter, por exemplo, 10,3 folhas, sendo inadequada a utilização da análise de regressão.

Foram utilizados três tipos de análises de regressão, apenas para as variáveis quantitativas (ou contínuas), sendo esses tipos: regressão linear simples, regressão polinomial do segundo grau (ou quadrática) e regressão polinomial do terceiro grau (ou cúbica).

Após a realização da análise de regressão, a análise de variância das equações ajustadas foi utilizada com o objetivo de aperfeiçoar a análise da qualidade das equações ajustadas, sendo utilizada apenas as equações que se mostraram significativas pelo teste F da ANOVA. Deu-se preferência para as equações lineares e quadráticas no caso de mais de uma equação ser significativa, preferindo-se equações quadráticas. As equações cúbicas foram as menos

preferenciais devido à dificuldade que existe em se trabalhar e analisar tais tipos de equações.

Quando nenhuma das equações se mostravam significativas, a representação gráfica utilizada foi realizada por meio de uma linha horizontal com valor igual ao valor médio de tal experimento. A partir da representação gráfica das equações foram determinados os tratamentos que obtiveram maior e menor valor na reta, no caso de equações lineares, porém no caso de equações quadráticas, estas foram derivadas e igualadas a zero, para obtenção da porcentagem que resultaria em maiores valores de determinada variável.

Para a construção de modelos, foram utilizadas as medidas de área foliar (cm^2), largura e comprimento (cm) de 605 folhas saudáveis, sendo utilizadas aproximadamente 120 folhas de cada tratamento apenas do experimento 1. Para a obtenção de modelos de estimativa de área foliar a partir de medidas lineares das folhas, utilizou-se as medidas de comprimento (C) e largura (L) das folhas, assim como a área do retângulo definido por estas medidas ($A_{\text{retângulo}} = C \cdot L$, em cm^2), e a área da elipse também definida por estas medidas ($A_{\text{elipse}} = C \cdot L \cdot (\pi/4)$, em cm^2). Correlacionou-se os modelos de regressão linear e não-linear entre a Y_i (área foliar real) e C, L, $A_{\text{retângulo}}$ e A_{elipse} selecionando-se os modelo de melhor ajuste.

Os critérios estatísticos para seleção de modelos foram baseados nos coeficientes de correlação de Person (r) e de determinação ajustado (R^2_{ajust}), índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho de Camargo - Sentelhas (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). Os modelos selecionados foram submetidos ao teste Goldfeld-Quandt para testar se os resíduos apresentavam homocedasticidade e também ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Não atendidos os pressupostos básicos de normalidade e homoscedasticidade submeteu-se os dados ao teste de Box-Cox para encontrar a transformação mais adequada para alcançar o comportamento aproximadamente normal, e ao teste de Boxplot para remoção de dados discrepantes, como sugerido por Kandiannan et al. (2009) e Antunes et al. (2008).

A área foliar estimada pelas modelos ajustados com os dados das folhas do experimento 1 e o valor real das folhas colhidas do experimento 2 foram comparados por procedimentos gráficos descritos com limite de concordância proposto por Bland-Altman (BLAND; ALTMAN, 1986), utilizando-se o trabalho de Hirakata e Camey (2009) como base para se discutir os resultados dos gráficos de

Bland-Alman.. As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa estatístico R, versão 2.2.1 (R. DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições meteorológicas

Com as medições realizadas por meio da estação meteorológica descrita no item 3.6, foram obtidos os valores médio, máximo e mínimo da temperatura (°C) e da umidade relativa do ar (%), além do total da radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). A partir destes valores obtidos a cada 15 minutos, foram calculados os valores diários, e então foi calculada a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO-56 (Equação 2).

Os valores de temperatura máxima, média e mínima (°C) são apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Representação gráfica da temperatura do ar (°C – média, máxima e mínima) durante o cultivo do almeirão no ano de 2014

Os valores de umidade relativa do ar média, máxima e mínima (%) são apresentados na Figura 10 em porcentagem.

Figura 10 - Representação gráfica dos registros de umidade relativa do ar (média, máxima e mínima) durante o cultivo do almeirão no ano de 2014

Os valores de radiação solar em $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e os valores de evapotranspiração de referência em mm dia^{-1} estão apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Representação gráfica da variação diária da radiação solar e de evapotranspiração de referência durante o cultivo do almeirão no ano de 2014

A temperatura máxima registrada no período do experimento 1 foi de $39,2^{\circ}\text{C}$, enquanto que a temperatura mínima registrada foi de $7,3^{\circ}\text{C}$, sendo a temperatura média igual a $21,4^{\circ}\text{C}$. No período do experimento 2 a temperatura máxima

registrada foi igual a 42,1 °C, a temperatura mínima igual a 12,51 °C, e temperatura média igual a 25,1 °C. Quanto à umidade relativa do ar, os valores máximo e mínimo registrados no experimento 1 foram de 98,0 e 15,6% e iguais a 98,5 e 15,5% no experimento 2. É importante ressaltar que baixas temperaturas reduzem o crescimento do almeirão. A amplitude térmica diária média foi de 18,8 °C no experimento 1 e de 17,0 °C no experimento 2.

Pode-se verificar na Figura 11 que a radiação solar foi maior no período do experimento 2 comparado ao período do experimento 1, sendo que a radiação diária média foi igual a 8,97 e 9,86 MJ m⁻² d⁻¹, respectivamente no experimento 1 e 2. A diferença observada com relação à radiação diária média pode ter influenciado a produção e crescimento vegetativo do almeirão.

A evapotranspiração da cultura (100% da ETc) no período do primeiro experimento foi de 120,15 mm, sendo que lâmina aplicada em todo o cultivo do almeirão correspondente a 60, 80, 120 e, 140% da ETc foram respectivamente 72,1; 96,1; 144,2 e 168,2 mm. Já no período do segundo experimento, a evapotranspiração da cultura (100% da ETc) totalizou 138,6 mm, sendo que as lâminas aplicada em todo o cultivo do almeirão correspondente a 60, 80, 120 e, 140% da ETc foram respectivamente 83,2; 110,9; 166,3 e 194 mm. Observa-se então que a evapotranspiração da cultura no segundo experimento foi 15% superior à evapotranspiração da cultura no experimento 1.

4.2 Altura das plantas

Os dados de altura das plantas foram submetidos à análise de variância individuais para cada tratamento e posteriormente à análise de variância conjunta. A análise descritiva dos dados de altura das plantas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos dados de altura de plantas (cm)

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Mínimo	12,90	15,30	14,50	13,50	14,30
Máximo	31,50	31,50	33,50	35,50	34,50
Média ± σ	22,46 ± 4,47	22,32 ± 3,78	23,78 ± 5,27	23,21 ± 4,68	21,84 ± 4,71
CV (%)	19,88	16,94	22,28	20,17	47,64

Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Mínimo	22,00	22,00	19,00	16,00	15,00
Máximo	59,00	44,00	55,00	35,00	37,00
Média ± σ	33,33 ± 6,62	30,72 ± 5,18	30,93 ± 7,70	25,52 ± 4,65	24,5 ± 5,28
CV (%)	19,85	16,85	24,90	18,22	21,55

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

A partir dos dados médios de altura de plantas de cada parcela, correspondente a um experimento, realizou-se a análise de variância (ANOVA) individual, sendo que os resultados da ANOVA individual para cada experimento estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de variância individual para os dados de altura de plantas nos dois experimentos

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	22,074	5,518	0,650	0,631	NS
Blocos	8	73,819	9,227	1,087	0,397	NS
Resíduos	32	271,672	8,490			
Total	44	367,565				

Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	520,414	130,103	9,779	2,77 10 ⁻⁵	**
Blocos	8	456,611	57,056	4,290	1,37 10 ⁻³	**
Resíduos	32	425,753	13,305			
Total	44	1402,778				

GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrado médio. Nível de significância: **

– p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Para se proceder a análise de variância conjunta de ambos os experimentos, precisa-se comparar os valores de QMResíduo (quadrado médio do resíduo), dividindo-se o maior QMR pelo menor QMR, sendo que esta razão deve ser menor do que 7:1 (BANZATTO; KRONKA, 2013). Como no caso dos dados de altura das plantas esta razão é 13,305/8,490, obtêm-se uma proporção de 1,57, sendo que é possível prosseguir com a análise de variância conjunta (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise de variância conjunta para os dados de altura de plantas (cm)

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Bloco dentro dos experimentos	16	530,430				
Tratamentos	4	290,862	72,716	1,156	0,446	NS
Experimentos	1	881,992	881,992	14,021	0,0200	*
Interação (TxE)	4	251,625	62,906	5,773	4,96 10 ⁻⁴	**
Resíduos	64	697,425	10,897			
Total	89	2652,335				

GL – grau de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrado médio. Nível de significância: ** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A partir da observação da Tabela 5, pode-se verificar que, quanto à altura das plantas, os tratamentos não tiveram diferença significativa entre si, uma vez que o p-valor pelo teste de F para Tratamentos foi maior do que 0,05. Verifica-se também que, quanto à altura das plantas, as respostas aos diferentes tratamentos nos dois experimentos foi significativamente diferente, uma vez que a interação tratamento x experimento apresentou p-valor pelo teste de F inferior a 0,01, portanto, não é proveitoso realizar a análise de regressão para os valores médios, já que as plantas responderam de maneira distinta em cada experimento, sendo conveniente apenas realizar a análise de regressão para cada experimento.

A análise de regressão linear, quadrática e cúbica foi realizada para ambos os experimentos 1 e 2, para a escolha da melhor equação. Os resultados da análise de regressão estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de variância da regressão dos dados de altura de plantas dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	0,0667	0,0667	0,0079	0,9296	NS
Quadrática	1	13,5045	13,5045	1,5903	0,2144	NS
Cúbica	1	5,9547	5,9547	0,7012	0,4072	NS
Resíduo	41	348,16	8,4916			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	470,82	470,82	20,8467	4,4778 10^{-5}	**
Quadrática	1	3,8	3,8	0,1683	0,6838	NS
Cúbica	1	2,24	2,24	0,0992	0,7544	NS
Resíduo	41	925,98	22,58			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A partir da observação da Tabela 6, verifica-se que nenhuma das equações ajustadas para os dados do primeiro experimento foram significativas, uma vez que o p-valor do teste F foi superior a 0,05, ou seja, quanto à altura das plantas do experimento 1, não existe uma equação de regressão que expresse as diferenças entre os tratamentos de porcentagem de evapotranspiração.

Quanto ao segundo experimento, a análise de regressão linear foi significativa a um nível de 0,01 (ou 1%) de significância, ou seja, a equação linear ajustada é capaz de expressar a diferença que foi verificada entre os tratamentos de porcentagem de ETc, diferença esta que foi detectada na análise de variância individual para o experimento 2 (Tabela 4).

A equação linear significativa obtida com os dados do experimento 2 é definida pelos índices de intercepto e de inclinação da reta, sendo estes valores iguais a 17,5643 e 0,1144, respectivamente. A equação definida pelos índices mencionados apresentou um coeficiente de determinação igual a 0,3356, ou seja, a equação é capaz de descrever 33,56% das diferenças que existem entre os tratamentos aplicados no experimento 2.

Com relação à representação gráfica, como não houve nenhuma equação de regressão capaz de descrever as diferenças entre os tratamentos do experimento 1, faz-se a representação gráfica por meio de uma reta horizontal com o valor da média

geral de altura das plantas para o experimento 1, aproximadamente 22,74 cm. Como a única reta capaz de expressar as diferenças entre os tratamentos do experimento 2 foi a equação linear, faz-se apenas a representação desta reta. A representação gráfica da análise de variância para os dados de altura de plantas está apresentada na Figura 12.

Figura 12 - Representação gráfica da análise de regressão dos dados de altura de plantas para os experimentos 1 e 2

A linha azul, na Figura 12, é a reta da equação resultante da regressão linear dos dados de altura de planta para os experimentos 2, e a linha vermelha é a reta horizontal de valor igual a média geral de altura das plantas para o experimento 1. A partir da observação da Figura 12, pode-se verificar que as plantas no experimento 1 apresentaram, no geral, dados de altura de plantas inferiores aos dados das plantas do experimento 2, isso pode ser devido ao rápido crescimento vegetativo que as plantas apresentaram no experimento 2, devido às elevadas temperaturas no início do ciclo. Verifica-se também, apenas pela observação da representação gráfica da regressão linear do experimento 2 (linha azul), que o maior valor de altura de plantas foi obtido aplicando-se a porcentagem de 140% da ETc.

Uma possível explicação para a diferença entre os experimentos pode ser o sistema de plantio utilizado, sendo que no primeiro experimento foi utilizada a semeadura direta, o que exige um maior período de “pegamento” (aclimação e enraizamento) anterior ao início da submissão das plantas aos tratamentos de déficit ou excesso de irrigação. Por outro lado, no experimento 2, foram utilizadas mudas, consequentemente o período de “pegamento” necessário para o enraizamento inicial foi mais curto, sendo que as plantas foram submetidas aos tratamentos por um período maior.

Outra possível explicação é o fato de que o segundo experimento foi realizado em um período com maior umidade relativa do ar e maior radiação solar em comparação ao primeiro experimento, sendo o clima mais favorável para o crescimento acelerado de plantas infestantes, apesar da capina manual ter sido realizada em ambos os experimentos. Isso faz com que as plantas de almeirão mudem suas estratégias de crescimento, priorizando o crescimento vertical em busca de iluminação direta do sol, neste caso as parcelas do segundo experimento com tratamentos irrigadas em excesso apresentavam condições ainda mais favoráveis para o desenvolvimento de plantas infestantes.

Santos e Pereira (2004), ao estudarem déficit hídrico na cultura da alface americana, cultivar *Raider*, observaram que a altura das plantas, assim como observado no experimento 2, era reduzida quando as plantas de alface eram submetidas a níveis mais elevados de déficit hídrico, ou seja, quanto mais negativos os potenciais hídricos do solo aos quais as plantas estavam submetidas, menores foram os valores de altura de plantas.

Hamada e Testezlaf (1995) estudaram a resposta da alface a irrigações deficitárias e excessivas, obtendo-se plantas com maior altura quando submetidas ao tratamento de 120% da evaporação do tanque classe A (ETCA), seguido pelos tratamentos de 100, 60 e 80% da ETCA, obtendo-se resultados semelhantes aos do experimento 2, representados pela linha azul na Figura 12, no qual também foram obtidos maiores valores de altura de plantas para os tratamentos de excesso do que para o tratamento de 100% da ETc, e também menores valores de altura de plantas nos tratamentos de déficit (80 e 60% da ETc) em comparação com o tratamento de 100% da ETc.

4.3 Número de folhas por planta

Os dados de número de folhas por planta foram submetidas a análise de variância individual e conjunta, e posteriormente ao teste de média pelo método do teste de Tukey. A análise descritiva dos dados de números de folhas para os experimentos 1 e 2 está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Estatística descritiva dos dados de número de folhas por planta

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	26	23	20	24	17
Mínimo	6	4	6	5	4
Média ± σ	10,26 ± 3,32	10,44 ± 3,83	10,39 ± 3,44	10,78 ± 3,83	9,89 ± 2,63
CV (%)	32,38	36,71	32,79	35,58	11,88
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	18	19	19	15	16
Mínimo	6	6	6	3	6
Média ± σ	10,17 ± 2,75	9,67 ± 2,50	10,07 ± 3,08	8,59 ± 2,60	9,37 ± 2,19
CV (%)	27,00	25,81	30,60	30,29	23,36

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

A partir da observação da Tabela 8, verifica-se elevados valores de coeficiente de variação, o que pode ser causado pela baixa pureza varietal do almeirão, assim como fatores ambientais como, por exemplo, a posição das plantas dentro da estufa, as posições das plantas com relação às linhas de gotejadores, entre outras possíveis explicações. A partir dos dados médios do número de folhas por planta de cada parcela, realizou-se a análise de variância individual (ANOVA), cujos resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Análise de variância individual dos dados de número de folhas por planta para ambos os experimento 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	9,0650	2,27	0,43	0,7874	NS
Blocos	8	46,1162	5,76	1,09	0,3962	NS
Resíduo	32	169,4906	5,30			
Total	44	224,6718				

Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	14,4049	3,60	2,77	0,04416	*
Blocos	8	11,5790	1,45	1,11	0,3816	NS
Resíduo	32	41,6617	1,30			
Total	44	67,6457				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Observando-se a Tabela 9, verifica-se que a razão entre o maior quadrado médio dos resíduos e o menor quadrado médio dos resíduos é igual a 5,30/1,30 ou seja, uma proporção de 4,07:1, sendo inferior a 7:1, limite máximo utilizado por Banzatto e Kronka (2013) para que se possa prosseguir com a análise de variância conjunta. Os resultados da análise de variância conjunta dos dados de número de folhas por planta dos experimentos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Análise de variância conjunta dos dados de número de folhas dos dois experimentos

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Blocos dentro dos experimentos	16	57,695				
Tratamentos (T)	4	12,307	3,077	1,103	0,4634	NS
Experimentos (E)	1	20,560	20,560	7,368	0,05330	NS
Interação (Tx E)	4	11,163	2,791	0,846	0,5013	NS
Resíduo	64	211,152	3,299			
Total	89	312,878				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Pode-se verificar que a análise de variância conjunta revelou que não houve diferença significativa entre os experimentos 1 e 2, e também que não houve

diferença entre as respostas das plantas submetidas aos mesmos tratamentos dos experimentos 1 e 2 (p -valor da Interação (TxE) $>0,05$), podendo-se assim se comparar as médias gerais de cada tratamento dos experimentos 1 e 2.

Como o número de folhas por planta não é uma variável contínua, não se pode realizar a análise de regressão para esta variável, ou seja, ajustar uma equação que preveja que uma certa porcentagem da ETc resultaria em plantas de, por exemplo 10,3 folhas, já que uma planta só pode ter números inteiros de folhas. Portanto, procedeu-se com o teste de médias, utilizando-se o método do teste de Tukey, cujos dados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Teste de média dos dados de número de plantas pelo método do teste de Tukey

Tratamento (% ETc)	Experimento 1	Experimento 2	Média
140	10,28 a	10,77 a	10,23 a
120	10,44 a	9,667 ab	10,05 a
100	11,25 a	10,07 ab	10,66 a
80	10,78 a	8,591 b	9,69 a
60	9,929 a	9,409 ab	9,67 a
s(média)	0,7671	0,3803	0,3937
Δ (5%)	3,135	1,554	2,477

Δ (5%) - diferença mínima entre os tratamentos para serem considerados significativamente diferentes entre si; s(média) – raiz do quadrado médio do resíduo dividido pelo número de blocos ou repetições; Letras diferentes nas colunas identificam tratamentos significativamente diferentes entre si.

A partir dos resultados do teste de Tukey apresentados na Tabela 10, verifica-se que no experimento 1, não houve diferença significativa entre os tratamentos de porcentagem de irrigação. Porém, quanto aos dados do experimento 2, houve diferença significativa entre os tratamentos de 140 e 80%, sendo que o tratamento de 140% da ETc foi o que apresentou maior valor médio de número de folhas, e o tratamento de 80% foi o que apresentou menor valor médio de número de folhas por planta. Pode-se observar, a partir da Tabela 11, que o valor médio do número de folhas por planta submetidas ao tratamento de 60% de ETc no experimento 2 é superior ao valor médio do tratamento de 80% da ETc, apesar de apenas existir diferença estatisticamente significativa entre estes dois tratamentos.

Hamada e Testezlaf (1995), obtiveram valores de número de folha por planta de alface maiores no tratamento de 120% de ETCA (evaporação do tanque classe A), seguido pelos tratamentos de 100, 80 e 60% da ETCA. Apesar do almeirão e da alface serem da mesma família botânica, apresentam estruturas botânicas diferentes entre si, portanto é difícil se comparar dados de número de folhas obtidos por estas duas espécies, principalmente considerando-se a quantidade de folhas na alface que variou de 50 a aproximadamente 65 folhas por planta, uma vez que no almeirão este número variou de um mínimo de três folhas por planta a um máximo de 26 folhas por planta.

4.4 Massa fresca da parte aérea

A análise dos dados de massa fresca da parte aérea obtidos nos dois experimentos ocorreu, primeiramente pela análise descritiva, seguida da análise de variância individual de cada experimento, análise de variância conjunta e análise de regressão linear, quadrática e cúbica. A análise descritiva dos dados de massa fresca da parte aérea dos dois experimentos está apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 – Estatística descritiva dos dados de massa fresca da parte aérea dos dois experimentos

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	117,70	141,80	102,80	87,20	76,70
Mínimo	20,42	22,21	19,64	6,00	3,33
Média ± σ	26,61 ± 20,42	28,04 ± 22,21	29,88 ± 19,64	27,54 ± 18,41	22,13 ± 13,15
CV (%)	76,76	79,21	66,32	66,82	59,39
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETC
Máximo	85,23	62,3	205,53	64,85	52,4
Mínimo	9,62	11,98	5,37	0,62	4,89
Média ± σ	34,25 ± 16,93	28,61 ± 13,61	34,73 ± 35,47	17,87 ± 12,59	19,43 ± 12,54
CV (%)	49,42	47,59	102,13	70,42	64,55

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

A análise de variância individual dos dados de massa fresca da parte aérea está apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 – Análise de variância individual dos dados de massa fresca da parte aérea para cada experimento

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	200,675	50,169	0,526	0,7173	NS
Blocos	8	372,562	46,570	0,488	0,8553	NS
Resíduo	32	3051,285	95,353			
Total	44	3624,521				

Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	2299,394	574,849	3,55	0,01653	*
Blocos	8	3462,802	432,850	2,68	0,02257	*
Resíduo	32	5175,895	161,747			
Total	44	10938,091				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Os valores de quadrado médio dos resíduos dos dois experimentos apresentam uma razão de aproximadamente 1,70, portanto, pode-se proceder a análise de variância conjunta, uma vez que a razão máxima citada anteriormente é de 7 para poder prosseguir com a análise de variância conjunta. Os resultados da análise de variância conjunta para os dados de número de folhas por planta estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Análise de variância conjunta dos dados de massa fresca da parte aérea dos experimentos 1 e 2

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Blocos dentro dos experimentos	16	3835,36				
Tratamentos (T)	4	1513,31	378,33	1,5336	0,3444	NS
Experimentos (E)	1	12,70	12,70	0,0515	0,8316	NS
Interação (TxE)	4	986,76	246,69	1,919	0,1180	NS
Resíduos	64	8227,18	128,55			
Total	89	14575,31				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Observando-se a Tabela 14, pode-se verificar que os dados de massa fresca da parte aérea não apresentaram diferença significativa entre os experimentos 1 e 2, assim como não houve diferença significativa entre os tratamentos e entre os tratamentos dentro dos experimentos, ou seja, p-valor pelo teste de F para a interação (Tx E) foi maior do que 0,05. Portanto, é possível se realizar a análise de regressão linear, quadrática e cúbica dos valores de massa fresca da parte aérea dos experimentos 1 e 2, assim como das médias dos dois experimentos. Os resultados da análise de variância das equações ajustadas estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Análise de variância das análises de regressão linear, quadrática e cúbica dos dados de massa fresca da parte aérea experimentos 1 e 2 e dos valores médios

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	80,278	80,278	0,9557	0,334	NS
Quadrática	1	88,906	88,906	1,0584	0,3096	NS
Cúbica	1	10,99	10,99	0,1308	0,7195	NS
Resíduo	41	3444,1	84,002			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	1467,57	1467,57	6,4114	0,01527	*
Quadrática	1	47,07	47,07	0,2056	0,6526	NS
Cúbica	1	39,68	39,68	0,1734	0,6793	NS
Resíduo	41	9384,9	228,9			
Média						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	558,58	558,58	7,4374	0,0094	**
Quadrática	1	66,34	66,34	0,8833	0,3528	NS
Cúbica	1	2,23	2,23	0,0297	0,864	NS
Resíduo	41	3079,28	75,1044			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A partir da observação dos resultados de análise de variância das equações de análise de regressão dos dados de massa fresca da parte aérea, verifica-se que, para o experimento 1, nenhuma das equações ajustadas foram significativas, ou seja, não foram capazes de expressar as diferenças entre os tratamentos deste

experimento. Sendo assim, a representação gráfica mais adequada é uma linha horizontal de valor igual à média geral de todos os tratamentos deste experimento ($\approx 26,23$ g).

Quanto às equações ajustadas para os dados do experimento 2, verificou-se por meio da análise de variância que a equação de regressão linear apresentou-se significativa, ou seja, é capaz de expressar as diferenças entre os resultados de massa fresca da parte aérea dos tratamentos do experimento 2, sendo que deve-se representar a própria reta definida pela equação linear ajustada para estes dados. O mesmo ocorreu para os dados médios dos dois tratamentos, também sendo necessário representar graficamente a reta definida pela equação linear ajustadas para os dados médios dos dois experimentos.

Os índices que definem as equações lineares ajustadas para o experimento 2 e para a média dos experimentos estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores das equações lineares ajustadas para os valores de massa fresca da parte aérea do experimento 2 e dos valores médios

	Experimento 2	Média
Intercepto	6,7886	14,1471
Tratamento	0,2019	0,1246
R²	0,1342	0,1507

Observa-se na Tabela 15, que os valores do coeficiente de determinação (R^2) são baixos, sendo o coeficiente de determinação da equação ajustada para o experimento 2 igual a 0,1342 e o coeficiente de determinação da equação ajustada para os dados médios dos dois experimentos igual a 0,1507, ou seja, as equações descrevem 13,42 e 15,07% das diferenças existentes entre os tratamentos do experimento 2 e dos valores médios, respectivamente.

A representação gráfica das equações lineares do experimento 2 e dos dados médios, juntamente com a representação da reta horizontal que representa o valor médio geral do experimento 1 estão apresentadas na Figura 13.

Figura 13 - Representação gráfica dos dados de massa fresca da parte aérea e das retas ajustadas para os experimentos 1 e 2 e para os valores médios dos dois experimentos

Na Figura 13, a linha azul representa o valor médio dos tratamentos do experimento 1, sendo que pode-se dizer que não houve diferença entre os tratamentos no experimento 1. Já no caso das linhas vermelha e marrom, verifica-se que ambas apresentam valor crescente com relação ao valor da porcentagem de evapotranspiração, sendo que ambas indicam que o tratamento de 140% da evapotranspiração foi o que produziu maior valor de massa fresca da parte aérea.

Uma possível explicação para a diferença entre os experimentos é o fato de que as plantas do segundo experimento, por terem sido utilizadas mudas, estiveram submetidas por um período mais longo de tempo aos tratamentos de porcentagem de ETc.

Quanto à reta que representa os dados médios, uma possível explicação a respeito do tratamento de 140% ter resultado maior produção de massa fresca da parte aérea é o fato de que quanto maior a quantidade de água disponível para a planta, mais facilitada é a absorção da água pela planta, sendo que o acúmulo de água na parte aérea é maior. Outra possível explicação é o fato de que as plantas submetidas a porcentagens de evapotranspiração inferiores a 100% apresentam

maior gasto energético para a absorção de água, portanto apresentam menor desenvolvimento vegetativo.

A alface americana, cultivar *Raider*, quando submetida a níveis elevados de deficit hídrico, apresentou redução na massa fresca da parte comercializada (SANTOS; PEREIRA, 2004), o que também ocorreu com o almeirão segundo a equação ajustada para os dados médios (Figura 13) nos tratamentos de 60 e 80% da ETc.

Bandeira et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes, uma vez que as plantas cultivadas sob deficit, de cerca de 50% das necessidades da cultura, apresentaram valores médios de massa fresca da parte aérea aproximadamente 59% menores do que as plantas cultivadas sem restrições hídricas, o que também ocorreu no presente estudo com o almeirão, como pode ser verificado pela linha marrom da Figura 13 (dados médios).

As plantas submetidas a irrigações deficitárias apresentaram menor produção em massa fresca da parte aérea, sendo que o tratamento de 60% da ETc apresentou uma produção média de massa fresca da parte aérea aproximadamente 18,73% menor do que a produção média do tratamento de 100%.

Os resultados obtidos por Cardoso e Klar (2009) também confirmam a redução da produção de alface submetida a deficit hídrico, uma vez que as plantas de alface produzidas sob o potencial hídrico de -0,022 MPa apresentaram produção em massa fresca 36,06% menor do que a produção obtida com tratamentos de potencial hídrico próximos à capacidade de campo (-0,01 MPa). Apresentando então, na produção da alface, uma resposta semelhante à do almeirão, ou seja, de que a produção em massa fresca é afetada negativamente pelo deficit hídrico.

Porém, estes mesmos autores obtiveram a produção da alface em massa fresca afetadas negativamente pelos tratamentos de excesso hídrico, ou seja, plantas conduzidas sob potencial hídrico do solo igual a -0,001 MPa apresentaram uma produção 24,83% menor do que a produção obtida em plantas conduzidas sob potencial hídrico próximo da capacidade de campo. Esta resposta não foi observada no caso do almeirão conduzido sobre irrigação excessiva, já que a produção do almeirão conduzido com 140% da ETc resultou ser 18,73% maior do que a produção em massa fresca obtida no tratamento de 100% da ETc, segundo a equação representada pela linha marrom da Figura 13.

Hamada e Testezlaf (1995) obtiveram, semelhantemente à linha marrom da Figura 13 (dados médios), maiores valores de massa fresca da parte aérea nas plantas de alface submetidas ao excesso de irrigação do que nas plantas submetidas a 100% da ETCA (evaporação do tanque classe A), e do que nas plantas submetidas a deficit hídrico (80 e 60% de ETCA), sendo obtida uma diferença de cerca de 50% entre os tratamentos de 120 e 60% da ETCA.

4.5 Massa fresca por folha

A partir dos dados de massa fresca da parte aérea e de número de folhas por planta, foram obtidos os dados de massa fresca em gramas por folha (g folha^{-1}). A análise descritiva dos dados de massa fresca por folha (g folha^{-1}) de cada tratamento dos experimentos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Estatística descritiva dos dados de massa fresca (g folha^{-1}) dos experimentos 1 e 2

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	5,15	7,88	6,43	5,13	4,79
Mínimo	0,82	0,66	1,13	0,62	0,83
Média $\pm \sigma$	2,39 $\pm$ 1,10	2,48 $\pm$ 1,15	2,59 $\pm$ 1,14	2,42 $\pm$ 1,04	2,13 $\pm$ 0,92
CV (%)	46,08	46,08	43,78	42,79	43,31
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	6,49	5,87	17,13	4,99	4,54
Mínimo	1,43	1,38	0,895	0,21	0,65
Média $\pm \sigma$	3,31 $\pm$ 1,17	2,92 $\pm$ 1,06	3,14 $\pm$ 2,46	1,91 $\pm$ 0,84	1,87 $\pm$ 0,86
CV (%)	35,42	36,13	78,53	44,16	45,88

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

Por meio da observação da Tabela 17, verifica-se que o valor máximo de massa fresca por folha foi obtido no tratamento de 120% da ETc no 1º experimento e no tratamento de 100% da ETc no experimento 2. Por outro lado, o menor valor de massa fresca por folha foi obtido no tratamento de 80% da ETc em ambos os experimentos 1 e 2.

Os valores médios de massa fresca por folha foram maiores nos tratamentos de 140, 120 e 100% da ETc no experimento 2 em relação ao experimento 1. Já os tratamentos de 80 e 60% da ETc apresentaram, no experimento 1, valores superiores daqueles apresentados no experimento 2. Os altos valores de coeficiente de variação (CV%), variando de 35,42 a 78,53%, pode ser devido à alta variabilidade quanto ao número de folhas por planta, como também a alta variabilidade quanto à massa fresca da parte aérea.

Na Tabela 17, estão apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) individual para os dados de massa fresca por folha de cada experimento.

Tabela 17 – Análise de variância individual dos dados de massa fresca em g folha⁻¹ dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	0,974	0,244	0,901	0,4747	NS
Blocos	8	1,145	0,143	0,530	0,8253	NS
Resíduos	32	8,646	0,270			
Total	44	10,764				

Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	16,424	4,106	5,534	0,001675	**
Blocos	8	21,598	2,700	3,639	0,004080	**
Resíduos	32	23,741	0,742			
Total	44	61,763				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

O teste F de probabilidade aplicado na análise de variância individual indica que não houve diferença significativa entre os tratamentos e entre os blocos do experimento 1. E também indica que há diferença significativa entre os tratamentos e entre os blocos do experimento 2.

Como não houve diferença entre os blocos do experimento 1, verifica-se que o alto valor de CV (%) deve-se à variações entre as plantas do mesmo bloco, mas não às variações entre plantas de diferentes blocos.

Observa-se na Tabela 18, que a razão entre os quadrados médios dos resíduos é de aproximadamente 2,75, ou seja, pode-se proceder a análise de

variância conjunta, uma vez que, como citado anteriormente, é inferior a razão máxima de 7:1 abaixo da qual pode-se realizar a análise de variância conjunta. Na Tabela 18 estão apresentados os resultados da análise de variância conjunta dos resultados de massa fresca por folha de ambos os experimentos.

Tabela 18 – Análise de variância conjunta dos dados de massa fresca em g folha⁻¹ dos experimentos 1 e 2

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Blocos dentro dos experimentos	16	22,743				
Tratamento	4	11,151	2,788	1,785	0,2942	NS
Experimento	1	1,281	1,281	0,820	0,4164	NS
Interação (TxE)	4	6,247	1,562	3,086	0,02185	*
Resíduos	64	32,387	0,506			
Total	89	73,808				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Observa-se que, pelo teste de probabilidade de F, os tratamentos apresentaram comportamento diferente em cada um dos experimentos, uma vez que p-valor para o teste de probabilidade de F para interação (TxE) é inferior a 0,05. Portanto, pode-se realizar a análise de regressão dos dois experimentos, mas não a análise de regressão das médias dos dois experimentos. O resultado das análises de regressão linear, quadrática e cúbica dos dois experimentos estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Análise de variância das análises de regressão linear, quadrática e cúbica dos dados de massa fresca (g folha⁻¹) experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	0,266	0,266	1,110	0,298	NS
Quadrática	1	0,662	0,662	2,765	0,104	NS
Cúbica	1	0,0179	0,179	0,0748	0,786	NS
Resíduo	41	9,812	9,812			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	12,973	12,973	11,020	0,00190	**
Quadrática	1	0,250	0,250	0,212	0,647	NS
Cúbica	1	0,366	0,366	0,311	0,580	NS
Resíduo	41	48,267	1,177			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A partir da observação da análise de variância das equações linear, quadrática e cúbica ajustadas para os dados de massa fresca por folha do experimento 1, verifica-se que nenhuma das equações foi capaz de descrever as diferenças entre os tratamentos aplicados no experimento 1, sendo que a representação gráfica mais adequada para este caso é uma reta horizontal de valor igual ao valor médio do experimento 1.

No caso do experimento 2, a análise de variância das equações ajustadas revelou que apenas a equação linear ajustada para os dados de massa fresca por folha do experimento 2 é capaz de descrever a diferença entre os tratamentos aplicados no experimento 2. Sendo que a própria representação da reta definida pela equação linear ajustada é a representação gráfica mais adequada.

A equação linear ajustada para os dados do experimento 2 que se mostrou significativa é definida pelos índices de intercepto e de inclinação da reta, sendo estes índices iguais a 0,744 e 0,0190, respectivamente. Estes índices definem uma reta que apresenta coeficiente de determinação igual a 0,210, ou seja, esta reta é capaz de explicar 21,0% das diferenças existentes entre os tratamentos do experimento 2, diferenças estas já detectadas na análise de variância individual apresentada na Tabela 17.

A representação gráfica dos dados pontuais de massa fresca por folha e a representação gráfica das retas das equações ajustadas para os experimentos 1 e 2 estão apresentadas na Figura 14.

Figura 14 - Representação gráfica dos dados de massa fresca por folha para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados

Como nenhuma das equações ajustadas para os dados de massa fresca por folha do experimento 1 foi capaz de descrever as diferenças entre os tratamentos aplicados neste experimento, representou-se graficamente uma reta horizontal com valor médio geral de todos os tratamentos do experimento 1. Portanto, pode-se dizer que não houve diferença entre os tratamentos aplicados no experimento 1.

Quanto ao experimento 2, a equação linear foi a única capaz de descrever as diferenças entre os tratamentos aplicados no experimento 2, a linha definida por esta equação foi utilizada para a representação gráfica da análise de regressão do experimento 2. Como a linha definida pela equação linear apresenta valores crescentes com o aumento da porcentagem de evapotranspiração, pode-se dizer que o tratamento de 140% da ETc foi o tratamento que apresentou o maior valor de massa fresca por folha.

No experimento 2, o tratamento de 140% de ETc foi o tratamento que resultou maior produção de massa fresca da parte aérea e também maior produção de massa fresca por folha, assim como obteve o maior valor de número de folhas por planta. Portanto, pode-se dizer que, a partir dos resultados do experimento 2, os tratamentos que forneceram irrigações inferiores a 100% influenciaram negativamente tanto a formação de novas folhas, como o crescimento das folhas.

Comparando-se a Figura 17 com a análise de variância individual dos experimentos (Tabela 18), verifica-se que os resultados da análise de regressão corroboram os resultados da análise de variância individual, ou seja, que não há diferença significativa entre os tratamentos do experimento 1, e que há diferença significativa entre os tratamentos do experimento 2, sendo que a análise de regressão no caso do experimento 2 indica uma tendência do comportamento do almeirão quando submetido a irrigações baseadas em diferentes porcentagens da evapotranspiração.

Não foram encontrados estudos com plantas da família Asteraceae que houvessem realizado medições de massa fresca por folha (g folha^{-1}) para identificar respostas das culturas às diferentes lâminas de irrigação ou potenciais da água no solo.

4.6 Massa seca da parte aérea

Os dados de massa seca da parte aérea foram analisados por meio da estatística descritiva, posteriormente por análise de variância individual e conjunta e por fim, por meio da análise de regressão. Os resultados da análise descritiva estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Estatística descritiva dos dados de massa seca da parte aérea (g) dos dados dos experimentos 1 e 2

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	9,52	11,46	9,27	7,06	7,15
Mínimo	0,01	0,27	0,26	0,21	0,16
Média ± σ	1,72 ± 1,73	2,25 ± 2,13	2,63 ± 2,00	2,14 ± 1,70	1,75 ± 1,52
CV (%)	100,82	94,91	76,20	79,11	86,57
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	7,83	7,3	9,80	7,82	5,92
Mínimo	0,69	0,77	0,6	0,09	0,39
Média ± σ	3,06 ± 1,55	2,57 ± 1,35	2,84 ± 1,89	2,00 ± 1,47	2,14 ± 1,27
CV (%)	50,57	52,34	66,68	73,73	59,53

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

Pode-se observar na Tabela 20, que houve uma grande variabilidade entre os dados de massa seca da parte aérea, já que o coeficiente de variação apresentou-se elevado, principalmente no experimento 1, sendo que todos os tratamentos no experimento 1 apresentaram maior CV (%) do que no experimento 2. Vale ressaltar os valores de CV obtidos nos tratamentos de 140 e 120% da ETc no experimento 1, sendo estes próximos a 100%.

Os tratamentos de 140, 120, 100, e 60% da ETc apresentaram maiores médias no experimento 2 comparado aos mesmos tratamentos no experimento 1. Isso não ocorreu no caso do tratamento de 80% da ETc, sendo que tal tratamento apresentou o menor valor médio de massa seca da parte aérea no experimento 2.

Com o objetivo de se avaliar a possibilidade da utilização do método estatístico da análise de variância conjunta dos dois experimentos procedeu-se com a análise de variância individual de cada experimento, cujos resultados estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Análise de variância individual dos dados de massa seca da parte aérea de cada experimento

Experimento1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamento	4	7,122	1,780	2,373	0,0730	NS
Bloco	8	10,289	1,286	1,714	0,1332	NS
Resíduo	32	24,007	0,750			
Total	44	41,418				

Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamento	4	7,850	1,962	3,217	0,02506	*
Bloco	8	9,773	1,222	2,002	0,07832	NS
Resíduo	32	19,523	0,610			
Total	44	37,146				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Por meio do teste F de probabilidade, observa-se que no experimento 1, não houve diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, p-valor pelo teste F foi maior do que 0,05. Já no experimento 2, o p-valor pelo teste F de probabilidade revelou-se inferior a 0,05, porém superior a 0,01, ou seja, houve diferença significativa entre os tratamentos.

Em ambos os tratamentos, não houve diferença significativa entre os blocos de cada tratamento, já que p-valor pelo teste F foi superior a 0,05 (ou 5%). Comparando-se este resultado aos altos valores de CV (%), pode-se dizer que a variação não ocorreu entre os blocos, mas sim entre as plantas de cada bloco.

Comparando-se os valores de QMR (quadrado médio do resíduo) dos dois experimentos, obtêm-se uma razão de aproximadamente 1,23, portanto, pode-se proceder com a análise de variância conjunta dos dados de massa seca da parte aérea, já que a razão máxima entre QMR_{maior} e QMR_{menor} é igual a 7. Os resultados obtidos por meio da análise de variância conjunta estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Análise de variância conjunta para os dados de massa seca da parte aérea de ambos os experimentos

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Blocos dentro dos experimentos	16	20,062				
Tratamento	4	9,109	2,277	1,554	0,3399	NS
Experimento	1	5,629	5,629	3,841	0,1216	NS
Interação (TxE)	4	5,862	1,466	2,155	0,0842	NS
Resíduo	64	43,530	0,680			
Total	89	84,193				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A partir da observação da Tabela 22, verifica-se que o teste F de probabilidade resultou não significativo tanto para os tratamentos, como para os experimentos e para a interação entre tratamentos e experimentos. Em outras palavras, não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados em ambos os experimentos, também não houve diferença significativa entre os experimentos, e entre os tratamentos aplicados nos diferentes experimentos.

Isso indica que é possível proceder-se com a análise de regressão dos dados dos experimentos individualmente, como dos valores médios dos experimentos. Os resultados da análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas por meio da análise de regressão estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Análise de variância das equações linear, quadrática e cúbica ajustadas para os experimentos 1 e 2 e para a média dos experimentos

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	0,0182	0,0182	0,0214	0,884	NS
Quadrática	1	6,465	6,465	7,614	0,00860	**
Cúbica	1	0,131	0,131	0,154	0,697	NS
Resíduo	41	34,815	0,849			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	5,223	5,223	6,726	0,0131	*
Quadrática	1	0,001	0,001	0,00129	0,971	NS
Cúbica	1	0,0490	0,0490	0,0631	0,803	NS
Resíduo	41	31,834	0,776			
Média						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	1,465	1,465	3,682	0,0620	NS
Quadrática	1	1,657	1,657	4,167	0,0477	*
Cúbica	1	0,085	0,085	0,215	0,646	NS
Resíduo	41	16,308	0,398			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A partir da observação da Tabela 23, pode-se verificar que, a análise de variância das equações indica que as equações quadráticas ajustadas para os dados do experimento 1 e para os dados médios se mostraram significativas, ou seja, estas equações são capazes de descrever a resposta do almeirão à diferentes manejos de irrigação em função de uma determinada porcentagem da evapotranspiração.

Já para o experimento 2, a equação linear foi a única equação ajustada capaz de descrever o comportamento que as plantas de almeirão apresentaram em função da irrigação no experimento 2. A representação das próprias retas definidas pelas equações descritas anteriormente é a representação gráfica mais adequada.

Os índices que definem as equações ajustadas e significativas para cada conjunto de dados estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Valores dos índices das equações significativas ajustadas para os dados de massa seca da parte aérea dos experimentos 1 e 2

	Experimento 1	Experimento 2	Média
Intercepto	-3,242	1,335	-0,986
Tratamento	0,114	0,0120	0,0637
Tratamento²	-5,66 10 ⁻⁴		-2,87 10 ⁻⁴
R²	0,157	0,141	0,16

Pode-se verificar, observando-se a Tabela 24, que as equações ajustadas possuem valores baixos de coeficiente de determinação, sendo que estes valores são um pouco maiores nas equações quadráticas e maiores nas equações cúbicas.

Para uma melhor compreensão da qualidade das equações ajustadas para os dados dos experimentos individualmente e também para os dados médios, foi realizada a análise de variância das equações ajustadas na análise de regressão, tanto linear, como quadrática e cúbica.

A representação gráfica dos dados pontuais de massa seca da parte aérea e das retas descritas anteriormente como significativas estão apresentadas na Figura 15.

Figura 15 - Representação gráfica dos dados de massa seca da parte aérea para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados

Por meio da observação da Figura 15, verifica-se que a equação linear ajustada com os dados do experimento 2 indica que o tratamento de 140% de ETC apresentou o maior valor de massa seca da parte aérea. Já a equação quadrática obtida com os dados do experimento 1 indica a porcentagem de 100,63% da ETC como a porcentagem que resultará maior produção em massa seca da parte aérea. Portanto, a equação quadrática ajustada para os dados médios apresenta-se entre as retas dos experimentos 1 e 2, sendo que os tratamentos de 100, 120 e 140% da ETC apresentam produção em massa seca da parte aérea semelhantes, porém a porcentagem de 111,1% da ETC resultará, segundo esta equação, a maior produção de massa fresca da parte aérea.

Vale ressaltar a proximidade das retas dos experimentos 1 e 2 no trecho do gráfico entre os tratamentos de 80 e 100% da ETC. Consequentemente a equação dos valores médios também apresenta-se próxima a essas duas retas mencionadas anteriormente.

Bandeira et al. (2011), obtiveram resultados semelhantes ao do presente estudo, uma vez que a cultura da alface conduzida sob irrigações que forneciam

50% das necessidades hídricas da cultura apresentaram valores de massa seca da parte aérea 31,3% menores do que os valores apresentados pelas plantas de alface conduzidas sem restrição hídrica. Resultado este semelhante ao observado na Figura 15, sendo que, na linha marrom (dados médios dos dois experimentos), as plantas submetidas ao deficit hídrico de 60% da ETc apresentaram redução de aproximadamente 28% com relação ao tratamento de 100% da ETc.

Hamada e Testezlaf (1995), obtiveram maiores valores de massa seca da parte aérea nas plantas submetidas ao tratamento de 100% da ETCA (evaporação do tanque classe A), seguido pelos tratamentos de 120, 60 e 80 % da ETCA. O fato dos tratamentos de deficit terem produzido menores valores de massa seca do que o tratamento de 100% de ETCA também ocorreu nas plantas de almeirão do presente estudo. Da mesma forma o fato de que as plantas produzidas sob irrigação excessiva apresentaram redução de massa seca da parte aérea também pode ser observada na linha marrom da Figura 15 quanto ao tratamento de 140% da ETc, que apresentou menor massa seca da parte aérea do que o tratamento de 100% da ETc.

4.7 Umidade da parte aérea

A partir dos dados de massa fresca e massa seca da parte aérea, obteve-se dados de umidade da parte aérea, os quais foram submetidos à estatística descritiva para uma análise inicial dos dados, posteriormente foi aplicada a análise de variância individual de cada experimento para a verificação da possibilidade de se realizar a análise de variância conjunta dos dois experimentos. E por fim foi realizada a análise de regressão e análise de variância das equações ajustadas. Os resultados da estatística descritiva estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 – Estatística descritiva dos dados de umidade da parte aérea dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	99,93	96,17	97,13	96,50	96,99
Mínimo	89,60	89,49	84,95	90,12	86,42
Média ± σ	93,35 ± 2,27	92,66 ± 1,68	91,88 ± 2,30	92,91 ± 1,62	92,76 ± 2,44
CV (%)	2,43	1,81	2,50	1,75	2,63
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	94,73	94,26	94,21	94,51	93,49
Mínimo	88,52	88,28	85,95	80,12	81,61
Média ± σ	91,07 ± 1,32	91,05 ± 1,67	89,98 ± 2,02	88,84 ± 2,33	88,63 ± 2,16
CV (%)	1,45	1,83	2,24	2,63	2,43

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

Observando-se a Tabela 25, é possível verificar que, diferente das variáveis tratadas até o momento, a umidade da parte aérea apresentou baixos coeficientes de variação (CV %), em ambos os experimentos, sendo que este índice se manteve abaixo de 3%. Em ambos os experimentos 1 e 2, observa-se que o tratamento de 140% da ETc foi o tratamento que apresentou maior umidade da parte aérea.

Observa-se também que, no geral, as plantas do experimento 1 apresentaram valores de umidade da parte aérea mais elevados do que as plantas do experimento 2, isso pode ser explicado pelo fato de que as plantas no experimento 1 foram obtidas por semeadura, método no qual não há rompimento das raízes do almeirão. Tal rompimento do sistema radicular pode ocorrer no método do plantio por mudas, no momento em que as mudas são retiradas manualmente das células das bandejas de isopor. O rompimento do sistema radicular faz com que a raiz do almeirão, e de outras espécies, se divida, bifurcando em duas raízes principais, o que diminui a profundidade de alcance das raízes, diminuindo a possibilidade de se alcançar maior quantidade de água no solo. Vale ressaltar que folhas com maior teor de umidade apresentam-se mais tenras, possivelmente mais atrativas para o consumo da folha crua.

A análise de variância individual de cada experimento foi realizada com o objetivo de se verificar a possibilidade de se realizar a análise de variância conjunta

dos dois experimentos. Os resultados da análise de variância individual dos dados de umidade da parte aérea de cada experimento estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Análise de variância individual dos dados de umidade da parte aérea dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamento	4	47,849	11,962	2,901	0,0372	*
Bloco	8	77,425	9,678	2,347	0,0413	*
Resíduo	32	131,950	4,123			
Total	44	257,224				

Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamento	4	49,634	12,408	7,713	1,81 10 ⁻⁴	**
Bloco	8	46,964	5,871	3,649	0,00401	**
Resíduo	32	51,481	1,609			
Total	44	148,079				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância individual dos dados de umidade da parte aérea de cada experimento (Tabela 26) revela que houve diferença significativa entre os tratamentos e entre os blocos dos dois experimentos, sendo que a diferença no experimento 1 foi ao nível de 5% de significância e no experimento 2 ao nível de 1% de significância. Verifica-se que, apesar dos valores de coeficiente de variação serem baixos, parte desta variação pode ser explicada pela diferença entre os blocos de plantas, já que houve diferença significativa entre os blocos de ambos os experimentos 1 e 2.

A razão entre os quadrados médios dos resíduos dos dois experimentos foi de aproximadamente 2,56, sendo este valor inferior a razão máxima de 7:1, qualificando os dados para se proceder com a análise de variância conjunta de ambos os experimentos. Os resultados da análise de variância conjunta estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Análise de variância conjunta dos dados de umidade da parte aérea de ambos os experimentos 1 e 2

Causas da variação	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Blocos dentro dos experimentos	16	750254,777				
Tratamento	4	48,338	12,084	0,984	0,506	NS
Experimento	1	159,188	159,188	12,957	0,0228	*
Interação (TxE)	4	49,145	12,286	4,287	0,00390	**
Resíduo	64	183,431	2,866			
Total	89	750694,879				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Observa-se na Tabela 27, que a análise de variância conjunta indica como não significativa a diferença entre os tratamentos, porém indica significativa a diferença entre os experimentos (a 5% de significância), e também como significativa a interação entre tratamentos e experimentos (Interação TxE). Quando se obtêm a interação significativa entre tratamentos e experimentos, significa que as plantas submetidas aos mesmos tratamentos se comportaram de maneira diferente em cada um dos experimentos, conseqüentemente, não se pode realizar a análise de regressão dos valores médios entre os dois experimentos, procedendo-se apenas com a análise de regressão linear, quadrática e cúbica dos dados dos experimentos 1 e 2, separadamente. Os resultados da análise de variância das equações ajustadas para os dados dos experimentos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de umidade da parte aérea dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	1,560	1,560	0,278	0,601	NS
Quadrática	1	24,122	24,122	4,296	0,0445	*
Cúbica	1	1,394	1,394	0,248	0,621	NS
Resíduo	41	230,194	5,614			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	45,128	45,128	18,708	9,52 10 ⁻⁵	**
Quadrática	1	0,627	0,627	0,260	0,613	NS
Cúbica	1	3,524	3,524	1,461	0,234	NS
Resíduo	41	98,903	2,412			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas com os dados de umidade da parte aérea dos experimentos 1 e 2 revelaram como significativas as equações quadrática e linear para os experimentos 1 e 2, respectivamente. Isto significa que a equação quadrática ajustada para os dados do experimento 1 é capaz de descrever as diferenças entre os resultados obtidos para cada tratamento aplicado neste experimento. O mesmo acontece no que se diz respeito à equação linear ajustada com os dados do experimento 2. Os índices que definem as equações mencionadas estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Valores dos índices das equações que se mostraram significativas ajustadas com os dados de umidade dos experimentos 1 e 2

	Experimento 1	Experimento 2
Intercepto	102,030	86,424
Tratamento	-0,212	0,0354
Tratamento²	0,00109	
R²	0,0998	0,309

Observa-se na Tabela 29, que as equações ajustadas apresentam coeficientes de determinação igual a 0,0998 e 0,309, respectivamente. Ou seja, as equações mencionadas acima descrevem 9,98 e 30,9% da variação que ocorreu

entre os valores obtidos em cada tratamento aplicado nos experimentos 1 e 2, respectivamente.

A representação gráfica dos dados pontuais de umidade da parte aérea e a representação gráfica das retas das equações ajustadas estão apresentadas na Figura 16.

Figura 16 - Representação gráfica dos dados de umidade da parte aérea para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados

Observando-se a Figura 16, verifica-se que, no experimento 1, a porcentagem de 140% da ETc resultará, segundo a equação ajustada, maiores valores de umidade da parte aérea, com valores próximos aos do tratamento de 60% da ETc. Portanto, pode-se dizer que, no experimento 1, os valores de umidade da parte aérea diminuem conforme a porcentagem de evapotranspiração aplicada por irrigação se aproxima de 97%.

Já no experimento 2, a reta da equação linear ajustada revela que o tratamento de 140% de ETc foi o que apresentou maior valor de umidade da parte aérea. Pode-se verificar que a umidade da parte aérea aumenta proporcionalmente à porcentagem de evapotranspiração aplicada por irrigação.

Santos e Pereira (2004) observaram que a medida que as plantas de alface americana eram submetidas ao déficit hídrico, menor era a umidade da parte comercializada, ou seja, quando as plantas eram submetidas a potenciais de água no solo próximos à umidade na capacidade de campo, os valores de umidade da parte comercializada eram maiores, o que também ocorreu no experimento 2, como pode ser verificado observando-se a linha azul na Figura 16.

4.8 Área foliar

Os valores de área foliar obtidos por meio de fotografia digital foram avaliados por meio dos seguintes métodos estatísticos: estatística descritiva, análise de variância individual, análise de variância conjunta, análise de regressão e análise de variância das equações ajustadas na análise de regressão. Os resultados da estatística descritiva estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Estatística descritiva dos dados de área foliar dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	162,89	161,78	227,49	192,68	175,81
Mínimo	10,59	15,53	8,30	9,25	13,30
Média ± σ	75,96 ± 33,11	87,40 ± 36,07	86,64 ± 49,10	95,95 ± 37,84	88,39 ± 38,86
CV (%)	43,59	41,28	56,68	39,44	43,97
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	139,17	146,99	112,44	89,88	104,50
Mínimo	23,93	20,37	13,03	28,05	12,56
Média ± σ	74,48 ± 26,98	81,33 ± 31,07	70,26 ± 24,70	58,67 ± 12,34	61,73 ± 22,78
CV (%)	36,23	38,20	35,15	21,03	36,90

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

Observa-se na Tabela 30 que os valores do coeficiente de variação apresentam-se elevados (superiores a 20%) em ambos os experimentos, o que é positivo, considerando-se que o principal objetivo da medição da área foliar é a obtenção de um fator de forma para a estimativa da área foliar do almeirão por meio de medições lineares como o comprimento e a largura das folhas. Portanto, os altos

valores de CV (%) são positivos porque demonstram que folhas de diferentes tamanhos foram medidas para que o fator de forma seja representativo tanto de folhas grandes como de folhas pequenas.

Os valores médios e o desvio padrão dos tratamentos aplicados no experimento 1 são maiores do que os valores médios e o desvio padrão obtidos no experimento 2, ou seja, a média foi maior no experimento 1, porém os valores de área foliar variaram mais dentro dos tratamentos.

A análise de variância individual dos valores de área foliar dos experimentos 1 e 2 separadamente foi realizada com o objetivo de se saber se a análise de variância conjunta pode ser realizada. Os resultados da análise de variância individual estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Análise de variância individual dos dados de área foliar dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	2384,398	596,099	2,107	0,127	NS
Blocos	4	688,779	172,195	0,609	0,662	NS
Resíduos	16	4526,129	282,883			
Total	24	7599,306				
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	2276,414	569,103	2,511	0,0829	NS
Blocos	4	663,854	165,963	0,732	0,583	NS
Resíduos	16	3626,556	226,660			
Total	24	6566,824				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância individual dos dados de área foliar dos experimentos 1 e 2 revelou que não há diferença significativa entre os tratamentos e entre os blocos de ambos os experimentos 1 e 2. A ausência de diferença entre os blocos de ambos os experimentos demonstra que os elevados valores de coeficiente de variação devem-se principalmente às diferenças entre as folhas medidas dentro de cada bloco, e não às diferenças entre os blocos.

A razão entre os quadrados médios dos resíduos dos experimentos 1 e 2 é de aproximadamente 1,25, sendo que este valor é inferior ao limite máximo de 7 para

que se possa realizar a análise conjunta dos experimentos. Os resultados de tal análise estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Análise de variância conjunta dos dados de área foliar de ambos os experimentos 1 e 2

	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Blocos dentro dos experimentos	8	1352,632				
Tratamento	4	1106,946	276,736	0,311	0,858	NS
Experimento	1	2628,562	2628,562	2,959	0,161	NS
Interação (TxE)	4	3553,866	888,466	3,487	0,0179	*
Resíduo	32	8152,685	254,771			
Total	49	16794,691				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância conjunta (Tabela 34) indica que não há diferença entre os tratamentos, e que também não há diferença significativa entre os experimentos. Porém, a interação entre tratamentos e experimentos (Interação (TxE)) apresentou-se significativa, ou seja, as plantas submetidas aos mesmos tratamentos nos dois experimentos apresentaram valores diferentes de área foliar, portanto, a análise de regressão fica limitada aos dados de área foliar de cada experimento, separadamente.

Os resultados da análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas com os dados de área foliar dos experimentos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de área foliar dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	13164	13164	8,366	0,00396	*
Quadrática	1	3413	3413	2,169	0,141	NS
Cúbica	1	448	448	0,285	0,594	NS
Resíduo	601	945629	1573,426			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	12550	12550	20,995	7,044 10^{-6}	**
Quadrática	1	321	321	0,537	0,463	NS
Cúbica	1	5815	5815	9,728	0,00201	**
Resíduo	270	161398	597,770			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas com os dados dos dois experimentos revelou que, para o experimento 1, apenas a equação linear apresentou-se significativa, ou seja, foi capaz de descrever as diferenças entre os tratamentos.

Já para o experimento 2, as equações linear e cúbica apresentaram-se significativas, capazes de descrever as diferenças entre os tratamentos. Porém, por causa da dificuldade em se trabalhar e descrever equações cúbicas, ou polinomiais do terceiro grau, optou-se por utilizar a equação linear para o experimento 2.

Os índices que definem as equações significativas ajustadas aos dados dos experimentos 1 e 2 estão apresentados na Tabela 34, juntamente com o coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 34 – Valores dos índices das equações significativas ajustadas para os dados de área foliar dos experimentos 1 e 2

	Experimento 1	Experimento 2
Intercepto	102,484	45,208
Tratamento	-0,166	0,241
R^2	0,0137	0,0697

As equações significativas ajustadas para os dados de área foliar dos dois experimentos apresentaram coeficientes de determinação baixos, iguais a 0,0137 para o experimento 1 e 0,0697 para o experimento 2, ou seja, estas equações são capazes de descrever 1,37 e 6,97% das diferenças entre os tratamentos dos experimentos 1 e 2, respectivamente. O fato das equações apresentarem baixos coeficientes de determinação pode ser explicado pela amplitude das medições, sendo que os valores de área foliar variaram de 8,30 a 227,49 cm² no experimento 1 e de 13,03 a 146,99 cm² no experimento 2, o que já foi discutido anteriormente quanto aos elevados coeficientes de variação.

A representação gráfica dos dados pontuais de área foliar e também das retas definidas pelas equações lineares estão apresentadas na Figura 17.

Figura 17 - Representação gráfica dos dados de área foliar para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados

Observando-se a Figura 17, verifica-se que as equações ajustadas apresentaram-se com declividades inversas, mais especificamente a equação do experimento 1 apresentou valor de inclinação da reta negativo, já a equação do experimento 2 apresentou valor de inclinação da reta positivo. Em outras palavras,

segundo as equações ajustadas, os valores de área foliar das plantas do experimento 1 apresentaram-se inversamente proporcionais ao aumento da porcentagem de evapotranspiração aplicada por irrigação, e os valores de área foliar das plantas do experimento 2 apresentaram-se diretamente proporcionais ao aumento da porcentagem de evapotranspiração aplicada por irrigação.

Os tratamentos que apresentaram maior área foliar foram os tratamentos de 100% no experimento 1 e de 140% no experimento 2, sendo que os valores de área foliar dos dois experimentos foram semelhantes quando se aplicou 140% da evapotranspiração por irrigação.

Vale lembrar que as equações lineares escolhidas para os experimentos 1 e 2 apresentam coeficientes de determinação de 0,0137 e 0,0697, respectivamente. Portanto, estas equações foram capazes de descrever, respectivamente, apenas 1,37 e 6,97% das diferenças entre os tratamentos de cada experimento.

Hamada e Testezlaf (1995) analisaram a área foliar como resposta da cultura da alface a diferentes manejos de irrigação, utilizando-se um tanque classe A no interior da casa de vegetação. Os maiores valores de área foliar foram obtidos pelo tratamento de 120% da ETCA (evaporação do tanque classe A), seguido pelo tratamento de 100, 80 e 60% da ETCA. Estes resultados condizem com os resultados obtidos no experimento 2, representado pela linha vermelha na Figura 17, no qual os valores de área foliar aumentam linearmente com o aumento da porcentagem de ETc aplicada por irrigação.

4.9 Comprimento das folhas

Os dados de comprimento de folha obtidos juntamente com os dados de área foliar foram submetidos às mesmas técnicas estatísticas que foram utilizadas com os dados de área foliar, ou seja: estatística descritiva, análise de variância individual, análise de variância conjunta, análise de regressão linear, quadrática e cúbica, análise de variância das equações ajustadas e representação gráfica das retas definidas pelas equações ajustadas na análise de regressão. A estatística descritiva está apresentada na Tabela 35.

Tabela 35 – Estatística descritiva dos dados de comprimento das folhas dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	30,11	33,16	36,23	33,70	34,14
Mínimo	6,22	7,33	5,41	6,72	6,94
Média ± σ	18,78 ± 4,74	20,74 ± 5,21	19,86 ± 6,41	21,97 ± 5,04	20,83 ± 5,39
CV (%)	25,26	25,10	32,27	22,92	25,87
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	37,03	32,72	35,92	32,06	28,73
Mínimo	15,30	13,55	11,50	14,63	10,31
Média ± σ	27,39 ± 5,20	25,71 ± 4,04	26,29 ± 5,25	24,74 ± 3,80	22,37 ± 3,69
CV (%)	18,97	15,70	19,96	15,36	16,49

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

Observando-se os resultados da análise descritiva, verifica-se que os valores médios do experimento 1 são inferiores aos valores médios do experimento 2, em todos os tratamentos. Por outro lado, os valores do coeficiente de variação CV (%) são maiores no experimento 1 do que no experimento 2, ou seja, as folhas do experimento 2 apresentaram valores de comprimento das folhas próximos ao valor médio de cada tratamento.

Os resultados obtidos por meio da análise de variância individual de cada experimento estão apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 – Análise de variância individual dos dados de comprimento de folhas dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	67,522	16,881	3,663	0,0266	*
Blocos	4	17,536	4,384	0,951	0,460	NS
Resíduos	16	73,734	4,608			
Total	24	158,792				

Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	88,090	22,023	3,721	0,0252	*
Blocos	4	55,827	13,957	2,358	0,0973	NS
Resíduos	16	94,691	5,918			
Total	24	238,609				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância individual revelou que em ambos os experimentos 1 e 2 houve diferença significativa entre os tratamentos, porém, também em ambos os experimentos, não houve diferença significativa entre os blocos. Pelo fato de não haver diferença significativa entre os blocos em ambos os experimentos 1 e 2, pode-se dizer que o elevado valor do coeficiente de variação é explicado em grande parte pela diferença obtida entre as folhas dos mesmos blocos, e não pelas diferenças entre os blocos.

A razão entre os quadrados médios dos resíduos é de aproximadamente 1,28, ou seja, segundo Banzatto e Kronka (2013), pode-se proceder com a análise de variância conjunta, uma vez que esta razão é inferior à razão máxima estabelecida por eles. Os resultados da análise de variância conjunta estão apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 – Análise de variância conjunta dos dados de comprimento das folhas de ambos os experimentos 1 e 2

	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Blocos dentro dos experimentos	8	73,363				
Tratamento	4	24,570	6,142	0,187	0,933	NS
Experimento	1	352,313	352,313	10,754	0,0305	*
Interação (TxE)	4	131,043	32,761	6,224	8,02 10 ⁻⁴	**
Resíduo	32	168,426	5,263			
Total	49	749,715				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância conjunta dos dados de ambos os experimentos 1 e 2 revelou não haver diferenças entre os tratamentos de porcentagem de evapotranspiração aplicada por irrigação. Porém, a análise de variância conjunta dos dados detectou diferença significativa entre os experimentos (a 5% de significância), ou seja, o conjunto de dados do experimento 1 foi significativamente diferente do conjunto de dados do experimento 2.

Também foi detectado, ao nível de 1% de significância, que a interação entre tratamentos e experimentos foi significativa, ou seja, que as folhas de um determinado tratamento do experimento 1 apresentaram diferentes valores de comprimento das folhas das folhas deste mesmo tratamento no experimento 2.

Pelo fato de a interação entre tratamentos e experimentos ter resultado significativa, a análise de regressão somente poderá ser aplicada com os dados de ambos os experimentos 1 e 2, porém não com os valores médios dos dois experimentos. Os resultados da análise de variância das equações ajustadas por meio da análise de regressão linear, quadrática e cúbica estão apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de comprimento das folhas dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	346,9	346,9	11,779	6,40 10 ⁻⁴	**
Quadrática	1	60	60	2,037	0,154	NS
Cúbica	1	4,9	4,9	0,166	0,683	NS
Resíduo	601	17699,7	29,450			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	641,6	641,6	32,112	3,728 10 ⁻⁸	**
Quadrática	1	46,1	46,1	2,307	0,130	NS
Cúbica	1	53	53	2,653	0,105	NS
Resíduo	270	5394,6	19,98			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas com os dados de comprimento das folhas dos experimentos 1 e 2 revelou que apenas as equações lineares apresentaram-se significativas, ou seja, são capazes de descrever suficientemente bem as diferenças entre os tratamentos em ambos os experimentos 1 e 2. Os índices que definem estas equações lineares estão apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 – Valores dos índices das equações lineares ajustadas para os dados de comprimento das folhas dos experimentos 1 e 2

	Experimento 1	Experimento 2
Intercepto	23,058	19,868
Tratamento	-0,0270	0,0544
R²	0,0192	0,105

Observa-se, entretanto, que as equações apresentam coeficientes de determinação baixos, significando que estas equações são capazes de descrever 1,92 e 10,5% das diferenças entre os tratamentos dos experimentos 1 e 2, respectivamente.

A representação gráfica dos dados pontuais relativos ao comprimento de folhas dos dois experimentos e também a representação gráfica destas equações lineares estão apresentadas na Figura 18.

Figura 18 - Representação gráfica dos dados de comprimento das folhas para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados

Pela representação gráfica exibida na Figura 18, pode-se verificar que o comprimento das folhas do experimento 1 apresentou-se inversamente proporcional à porcentagem de evapotranspiração aplicada em irrigação. Já as folhas do experimento 2 apresentam comprimento das folhas diretamente proporcional à porcentagem de Etc aplicada por irrigação. Portanto, os tratamentos de 60 e 140% de ETC foram os que apresentaram, segundo as equações ajustadas, maiores valores de comprimento das folhas, respectivamente para o experimento 1 e 2.

O aumento da folha em comprimento pode indicar que as plantas possuem pouco espaço entre as plantas, criando a necessidade de crescer em altura para que possam absorver mais energia, o que explicaria os altos valores de

comprimento das folhas no tratamento de 140% obtido no experimento 2. Por outro lado, uma possível explicação para os valores altos de comprimento de folhas no tratamento de 60% da ETc no experimento 1 é que, por causa do lento crescimento inicial, o trato cultural de desbaste foi adiado, deixando-se uma maior densidade populacional por cova de semeadura, sendo que as plantas podem ter direcionado o crescimento vertical ao aumentarem o comprimento das folhas.

Não foram encontrados estudos com plantas da família Asteraceae que houvessem realizado medições de comprimento das folhas para identificar respostas das culturas às diferentes lâminas de irrigação ou potenciais da água no solo.

4.10 Largura das folhas

Os dados de largura das folhas obtidos juntamente com os dados de área foliar e de comprimento das folhas foram submetidos às mesmas técnicas estatísticas que foram utilizadas com os dados de área foliar, ou seja: estatística descritiva, análise de variância individual, análise de variância conjunta, análise de regressão linear, quadrática e cúbica, análise de variância das equações ajustadas e representação gráfica das retas definidas pelas equações ajustadas na análise de regressão. A estatística descritiva destes dados está apresentada na Tabela 40.

Tabela 40 – Estatística descritiva dos dados de largura foliar dos experimentos 1 e 2 de cada um dos tratamentos

Experimento 1					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	11,36	11,33	13,81	12,64	12,79
Mínimo	2,75	2,78	2,42	1,98	2,81
Média ± σ	7,40 ± 1,90	7,68 ± 1,92	7,79 ± 2,65	8,12 ± 2,03	7,72 ± 2,22
CV (%)	25,70	25,00	34,02	25,02	28,71
Experimento 2					
	140% ETc	120% ETc	100% ETc	80% ETc	60% ETc
Máximo	8,82	10,39	10,55	7,87	8,36
Mínimo	3,04	3,01	2,54	3,23	2,49
Média ± σ	6,25 ± 1,39	6,78 ± 1,71	6,41 ± 1,56	5,65 ± 1,00	5,78 ± 1,38
CV (%)	22,26	25,18	24,31	17,67	23,87

CV (%) – coeficiente de variação; e σ – desvio padrão.

A partir da análise da estatística descritiva dos dados de largura de folhas, verifica-se elevados coeficientes de variação em todos os tratamentos de ambos os experimentos 1 e 2, o que é positivo neste caso, porque estes dados, assim como os dados de comprimento das folhas, serão utilizados tanto para a obtenção do fator de forma, dados do experimento 1, como para a averiguação da qualidade dos modelos ajustados, dados do experimento 2.

Observa-se também que os valores médios de largura das folhas foram, em geral, maiores no experimento 1 do que no experimento 2, sendo que os tratamentos de 60 e 80% foram os que apresentaram maior diferença entre as médias dos dados dos experimentos 1 e 2.

A análise de variância individual de cada um dos experimentos foi realizada com o objetivo de se averiguar a possibilidade de se aplicar a análise de variância conjunta dos dois experimentos. Portanto, os resultados da análise de variância individual estão apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 – Análise de variância individual dos dados de largura das folhas dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	3,641	0,910	1,121	0,381	NS
Blocos	4	2,324	0,581	0,715	0,594	NS
Resíduos	16	12,996	0,812			
Total	24	18,961				
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Tratamentos	4	5,758	1,439	3,388	0,0345	*
Blocos	4	2,191	0,548	1,289	0,316	NS
Resíduos	16	6,798	0,425			
Total	24	14,747				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Obteve-se como resultado da análise de variância individual que não houve diferença significativa entre os tratamentos do experimento 1, porém, houve diferença significativa entre os tratamentos do experimento 2, a 5% de significância. Em ambos os experimentos 1 e 2, não houve diferença significativa entre os blocos, o que indica que a variação detectada pelo coeficiente de variação está

principalmente associada às diferenças entre as folhas dos mesmos blocos, e não devido às diferenças entre as folhas de diferentes blocos.

Comparando-se os quadrados médios dos resíduos (QMR), obtêm-se uma razão de aproximadamente 1,91, sendo que, segundo o limite máximo de 7 mencionado por Banzatto e Kronka (2013), pode-se proceder com a análise de variância conjunta de ambos os experimentos 1 e 2, cujos dados estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 – Análise de variância conjunta dos dados de largura das folhas de ambos os experimentos 1 e 2

	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Bloco dentro dos experimentos	8	4,515				
Tratamento	4	2,020	0,505	0,274	0,881	NS
Experimento	1	24,802	24,802	13,446	0,0215	*
Interação (TxE)	4	7,378	1,845	2,982	0,034	*
Resíduo	32	19,794	0,619			
Total	49	15657502,03				

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

A análise de variância conjunta dos dados dos experimentos 1 e 2 revelou que não houve diferença significativa entre os tratamentos, porém, houve diferença significativa (a 5% de significância) entre os experimentos, assim como a interação entre tratamentos e experimentos foi significativa, Interação (TxE), ou seja, as respostas das plantas aos tratamentos foi diferente em cada um dos experimentos.

O fato de a interação entre tratamentos e experimentos ter se mostrado significativa limita o uso da análise de regressão aos dados individuais de cada experimento, não sendo adequado aplicar a análise de regressão aos dados médios dos experimentos. A análise de variância das equações ajustadas por meio da análise de regressão está apresentada na Tabela 43.

Tabela 43 – Análise de variância das equações lineares, quadráticas e cúbicas ajustadas para os dados de largura das folhas dos experimentos 1 e 2

Experimento 1						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	13,36	13,36	2,825	0,0933	NS
Quadrática	1	4,74	4,74	1,002	0,317	NS
Cúbica	1	4,4	4,4	0,930	0,335	NS
Resíduo	601	2842,21	4,729			
Experimento 2						
	GL	SQ	QM	F	p-valor	
Linear	1	22,45	22,45	11,008	$1,03 \cdot 10^{-3}$	**
Quadrática	1	5,95	5,95	2,918	0,0888	NS
Cúbica	1	17,24	17,24	8,454	$3,95 \cdot 10^{-5}$	**
Resíduo	270	550,63	2,039			

GL – Graus de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado médio. Nível de significância:

** – p-valor <0,01; * – p-valor <0,05; NS – p-valor >0,05.

Observa-se, portanto, a partir dos resultados da análise de variância das equações ajustadas que as equações ajustadas com os dados do experimento 1 não são significativas, ou seja, não foram capazes de descrever as diferenças entre os dados de largura de folha obtidos nos tratamentos aplicados neste experimento.

Já no experimento 2, as equações linear e cúbica apresentaram-se significativas (a 1% de significância), ou seja, ambas as equações linear e cúbica ajustadas com os dados do experimento 2 foram capazes de descrever as diferenças entre os tratamentos. Porém, dá-se preferência à equação linear, devido à dificuldade para interpretar biologicamente a equações polinomiais de terceiro grau.

A equação linear obtida para os dados do experimento 2 é definida pelos índices de intercepto igual a 5,156 e de inclinação da reta igual a 0,0102. Estes índices resultam em uma reta linear de coeficiente de determinação igual a 0,0377, ou seja, a equação é capaz de descrever 3,77% das diferenças entre os tratamentos.

A representação gráfica da equação linear ajustada para o experimento 2 é a própria reta definida pela Equação 12. Já para o experimento 1, como nenhuma das equações foram significativas, representa-se graficamente uma reta horizontal de

valor igual a média geral deste experimento, neste caso, 7,696 cm. Estas representações gráficas e os dados pontuais de largura das folhas estão apresentadas na Figura 19.

Figura 19 - Representação gráfica dos dados de largura das folhas para cada tratamento nos dois experimentos e representação das equações ajustadas aos dados

A partir da observação da Figura 19, verifica-se que, no experimento 2, a largura das folhas aumento diretamente proporcional ao aumento na porcentagem de evapotranspiração aplicada por irrigação, verificando então que o tratamento de 140% da ETc foi o que apresentou o maior valor de largura das folhas.

Considerando que o tratamento de 140% da ETc foi o que obteve maior valor de largura das folhas, aliado ao fato de que este mesmo tratamento, também no experimento 2, foi o que apresentou maior comprimento das folhas, pode-se dizer que o estresse por excesso de umidade no solo não limita o crescimento das folhas, e também que o estresse hídrico causado pela seca diminui o crescimento das folhas, tanto em comprimento como em largura das folhas.

Não foram encontrados os estudos com plantas da família Asteraceae que houvessem realizado medições de largura das folhas para identificar respostas das culturas às diferentes lâminas de irrigação ou potenciais da água no solo.

4.11 Fator de forma para estimativa da área foliar

Para que se pudesse obter uma estimativa de área foliar do almeirão “Folha-Larga”, algumas equações foram ajustadas, equações estas que envolvem medidas lineares como comprimento e largura como variáveis independentes. As equações ajustadas e seus respectivos coeficientes de determinação, de determinação ajustados, de correlação por Pearson, índice de exatidão de Wilmott e índice de desempenho de Camargo e Sentelhas são apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 – Equações para a estimativa da área foliar por meio de medidas lineares das folhas

Equação		R ²	R ² ajust.	r	d	c
$AF = 0,5096 \cdot Aret$	(11)	0,9877	0,9876	0,9672	0,9347	0,904
$AF = 0,6489 \cdot Aelipse$	(12)	0,9877	0,9876	0,9672	0,9347	0,904
$AF = 4,365 \cdot C$	(13)	0,9444	0,9443	0,8772	0,1385	0,1215
$AF = 11,61 \cdot L$	(14)	0,9607	0,9606	0,9366	0,4568	0,4279
$AF = 0,1852 \cdot C^2$	(15)	0,9497	0,9496	0,8689	0,7418	0,6446
$AF = 1,29 \cdot L^2$	(16)	0,9712	0,9711	0,9334	0,8654	0,8078
$AF = 1,9441 \cdot C + 0,1048 \cdot C^2$	(17)	0,9582	0,9581	0,8695	0,6777	0,5892
$AF = 4,599 \cdot L + 0,7944 \cdot L^2$	(18)	0,9785	0,9784	0,9345	0,8572	0,8011
$AF = 0,4554 \cdot C + 3,3331 \cdot L + 0,4193 \cdot Aret$	(19)	0,9899	0,9898	0,9351	0,9387	0,8778
$AF = 2,4406 \cdot L + 0,4406 \cdot Aret$	(20)	0,9896	0,9896	0,968	0,9349	0,905

R² – coeficiente de determinação; R² ajust. – coeficiente de determinação ajustado; r – coeficiente de correlação pelo método de Pearson; d – índice de exatidão de Wilmott; c – índice de desempenho de Camargo e Sentelhas.

A partir da observação da Tabela 44, pode-se verificar que as quatro melhores equações são as que envolvem as medidas de área do retângulo e área da elipse, são as que apresentam os maiores valores de coeficiente de determinação (R²) e coeficiente de determinação ajustado (R² ajust.), assim como os demais coeficientes e índices, equações 11, 12, 19 e 20. Consequentemente essas quatro equações

foram escolhidas para serem submetidas a testes de normalidade de resíduos e de homocedasticidade.

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado aos resíduos das equações, com o objetivo de se verificar se os resíduos apresentam tendência de distribuição normal, e o teste de Goldfeld-Quandt, juntamente com o gráfico dos dados dos resíduos pelos valores estimados pela equação, foi utilizado para a verificação da homocedasticidade dos resíduos.

Na Tabela 45 estão apresentados os valores dos testes de Shapiro-Wilk e Goldfeld-Quandt das equações 11, 12, 19 e 20.

Tabela 45 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk e Goldfeld-Quandt das equações com melhores coeficientes de determinação

Equação	Shapiro-Wilk	Goldfeld-Quandt
Equação 11	$1,33 \cdot 10^{-8}$	$4,76 \cdot 10^{-6}$
Equação 12	$1,33 \cdot 10^{-8}$	$4,76 \cdot 10^{-6}$
Equação 19	$1,77 \cdot 10^{-8}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$
Equação 20	$5,088 \cdot 10^{-4}$	$5,02 \cdot 10^{-5}$

A partir da Tabela 45, pode-se verificar que as equações obtidas com os dados brutos, ou seja, dados sem transformação e com outliers, não respeitam as condições de resíduos tendendo à normalidade e de homocedasticidade dos dados. Portanto, a família de transformações Box-Cox foi utilizada para se obter o melhor valor de lambda (λ) para ser utilizado na transformação dos dados.

O método de Boxplot foi utilizado para a remoção de dados discrepantes após a transformação dos dados. Na Tabela 46 estão apresentados os valores de lambda obtidos para a equação 11, 12, 19 e 20, assim como os novos valores dos testes de Shapiro-Wilk e Goldfeld-Quandt após a transformação, antes e depois da retirada de outliers.

Na Tabela 46 estão apresentados os valores de lambda (λ – Box-Cox), para a melhor transformação dos dados, as equações obtidas com os dados transformados, os resultados dos testes de Shapiro-Wilk, aplicado ao resíduo, e Goldfeld-Quandt, além do número de dados discrepantes removidos pela técnica de Boxplot, as equações reajustadas após a remoção de dados discrepantes e os

resultados dos testes estatísticos mencionados anteriormente, para ambas as equações originais 11, 12, 19 e 20.

Tabela 46 – Transformações de dados e retiradas de outliers das equações 14, 15, 22 e 23

AF=b Aret (Equação 14)		
Boxcox (λ)	1 – Não precisa transformar dados	
Boxplot (coeficiente=1,3)	25 outliers	
Equação (sem outliers)	$AF = 0,5714 \cdot Aret$	(21)
Shapiro-Wilk (sem outliers)	0,02681	
Goldfeld-Quandt (sem outliers)	0,0153	
AF=b Aelipse (Equação 15)		
Boxcox (λ)	1 – Não precisa transformar dados	
Boxplot (coeficiente=1,3)	25 outliers	
Equação (sem outliers)	$AF = 0,6587 \cdot Aelipse$	(22)
Shapiro-Wilk (sem outliers)	0,02681	
Goldfeld-Quandt (sem outliers)	0,0153	
AF=bC+cL+dAret (Equação 22)		
Boxcox (λ)	0 – Transformação por log()	
Equação após transformação	$\log(AF) = 0,6739 \cdot \log(C) + 1,1613 \cdot \log(L)$	(23)
Shapiro-Wilk (com outliers)	$1,94 \cdot 10^{-5}$	
Goldfeld-Quandt (com outliers)	0,2506	
Boxplot (coeficiente = 1,5)	9 outliers	
Equação (sem outliers)	$\log(AF) = 0,6907 \cdot \log(C) + 1,1389 \cdot \log(L)$	(24)
Shapiro-Wilk (sem outliers)	0,0665	
Goldfeld-Quandt (sem outliers)	0,09123	
AF=bL + cAret (Equação 23)		
Boxcox (λ)	0 – Transformação por log()	
Equação após transformação	$\log(AF) = 0,4874 \cdot \log(L) + 0,6739 \cdot \log(Aret)$	(25)
Shapiro-Wilk (com outliers)	$1,94 \cdot 10^{-5}$	
Goldfeld-Quandt (com outliers)	0,2502	
Boxplot (coeficiente=1,5)	9 outliers	
Equação (sem outliers)	$\log(AF) = 0,4482 \cdot \log(L) + 0,6907 \cdot \log(Aret)$	(26)
Shapiro-Wilk (sem outliers)	0,0665	
Goldfeld-Quandt (sem outliers)	0,09085	

A partir da observação da Tabela 46, pode-se verificar que os dados utilizados para o ajuste das equações 11 e 12 não necessitaram de transformação, uma vez que o valor de λ foi igual a um. Porém, o método de Boxplot selecionou 25 dados

como sendo dados discrepantes, sendo que após a remoção destes dados, foram obtidas novas equações que cumprem as condições de homocedasticidade e de resíduos que apresentem tendência à normalidade (Shapiro-Wilk e Goldfeld-Quandt, p-valor >0,01), especificamente as equações 21 e 22.

Verifica-se também que os dados utilizados para o ajuste das equações 19 e 20 necessitavam ser transformados, uma vez que λ foi igual a zero, sendo necessária a transformação por logaritmo. Após a transformação dos dados e um novo ajuste, as equações 23 e 25 ainda não cumpriam com as condições de homocedasticidade e tendência normal dos resíduos. Portanto foi aplicado o método de Boxplot para a identificação de dados discrepantes, o qual identificou nove dados discrepantes nos conjuntos de dados utilizados para cada uma das equações. Enfim, após a transformação e remoção de dados discrepantes, foi possível obter-se as equações 24 e 26, que cumprem as condições de homocedasticidade e tendência normal dos resíduos (Shapiro-Wilk e Goldfeld-Quandt p-valor >0,05).

Como as equações 21, 22, 24 e 26 apresentaram-se homocedástica e com resíduos tendendo à normalidade, foram aplicados coeficientes e índices estatísticos para a melhor avaliação individual de cada equação. Na Tabela 47 estão apresentado os coeficientes e índices aplicados anteriormente às equações originais, como apresentado na Tabela 44.

Tabela 47 – Equações finais e respectivos coeficientes e índices estatísticos

Equação	R²	R² ajustado	r	d	c
Equação 21	0,991	0,991	0,9754	0,9510	0,9277
Equação 22	0,991	0,991	0,9754	0,9510	0,9277
Equação 24	0,9993	0,9993	0,9771	0,9572	0,9352
Equação 26	0,9993	0,9993	0,979	0,9572	0,9371

R² – coeficiente de determinação; R² ajust. – coeficiente de determinação ajustado; r – coeficiente de correlação pelo método de Pearson; d – índice de exatidão de Wilmott; c – índice de desempenho de Camargo e Sentelhas.

Na Figura 20 estão apresentados os gráficos de dispersão entre a área foliar real e a área do retângulo (Figura 20A) e a área da elipse (Figura 20C), como também os gráficos de dispersão entre o resíduo e a área foliar estimada pela equação 21 (Figura 20B) e 22 (Figura 20D).

Figura 20 - Representação gráfica dos conjuntos de dados e da reta das equações 21 e 22 (A e C, respectivamente); Relação entre área foliar estimada e resíduos das equações 21 e 22 (B e D, respectivamente)

Os gráficos da Figura 20A e 20C, revelam que tanto os dados de área do retângulo e quanto de área da elipse apresentam linearidade com os dados de área foliar, isso é possível de verificar uma vez que o gráfico de dispersão entre estas variáveis se aproxima da linha 1:1.

A partir da observação dos gráficos da Figura 20B e 20D, verifica-se que os gráficos de dispersão entre os dados de resíduo e os dados de área foliar estimada apresentam, em ambos os casos das equações 21 e 22, distribuição irregular e sem apresentar tendências, confirmando os resultados do teste de Goldfeld-Quandt, mostrando que os resíduos são homocedásticos (Goldfeld-Quandt > 0,01).

Para simplificar o uso das equações 24 e 26, as quais apresentam o logarítmo da área foliar, pode-se utilizar de regras de potenciação para obter-se equações das quais se obtêm diretamente o valor da área foliar. Isto foi feito, e está apresentado nas equações 27 e 28, respectivamente.

$$10^{(\log(AF))} = 10^{(0,6907 \cdot \log(C) + 1,1389 \cdot \log(L))} \rightarrow AF = 10^{(0,6907 \cdot \log(C) + 1,1389 \cdot \log(L))} \quad (27)$$

$$10^{(\log(AF))} = 10^{(0,4482 \cdot \log(L) + 0,6907 \cdot \log(Aret))} \rightarrow AF = 10^{(0,4482 \cdot \log(L) + 0,6907 \cdot \log(Aret))} \quad (28)$$

Na Figura 21 estão apresentados os gráficos de dispersão entre a área folia real e a área folia estimada pelas equações 24 (21A) e 26 (21C), assim como os gráficos de dispersão entre o resíduo e a área foliar estimada pelas equações 24 (21B) e 26 (21D).

Figura 21 - Gráficos de dispersão entre a área foliar real e a área foliar estimada pelas equações 24 (A) e 26 (C); Gráficos de dispersão entre os resíduos e a área foliar estimada pelas equações 24 (B) e 26 (D)

Observando-se os gráficos das Figuras 21A e 21C, verifica-se que a área foliar estimada pelas equações 24 e 26 apresenta dados próximos aos da área foliar real. Já as Figuras 21B e 21D apresentam os gráficos de dispersão entre os dados dos resíduos das equações 24 e 26 e os dados de área foliar estimada por estas mesmas equações, sendo que, em ambos os casos, os dados estão distribuídos irregularmente e não apresentam tendência, corroborando os resultados do teste de Goldfeld-Quandt (ambos superiores a 0,05) de que os dados de resíduo destas equações são homocedásticos.

Na Figura 22 estão apresentados os gráficos obtidos pelo método de Bland-Altman a partir dos dados de área foliar real e área foliar estimada pelas equações 21 e 22.

A

B

Figura 22 - Gráficos de Bland-Altman para as equações 21 (Figura 22A) e 22 (Figura 22B)

Na Figura 23 estão apresentados os gráficos obtidos pelo método de Bland-Altman a partir dos dados de área foliar real e área foliar estimada pelas equações 24 e 26.

A

B

Figura 23 - Gráficos de Bland-Altman para as equações 24 (Figura 23A) e 26 (Figura 23B)

Observando as Figuras 22 A e B, verifica-se que os modelos representados pelas equações 21 e 22 apresentam o viés estatisticamente significativo, portanto, para estas medidas são correlacionadas, por apresentarem elevados coeficientes de correlação (Tabela 47), e não-concordantes, por apresentarem viés estatisticamente significativo. Portanto, os dados de área foliar estimados pelos modelos definidos pelas equações 21 e 22 podem ser utilizados, porém, adicionando-se os respectivos valores de viés (22,561 e 13,849, respectivamente).

Ao se observar as Figuras 23 A e B, verifica-se que os modelos definidos pelas equações 24 e 26 apresentam viés estatisticamente significativo, portanto, pode-se dizer que as medidas são correlacionadas, por apresentarem elevados coeficientes de correlação (Tabela 47), e não-concordantes, por apresentarem viés distante de zero e estatisticamente significativo. Portanto, pode-se utilizar os modelos definidos pelas equações 24 e 26 podem ser utilizados, porém, adicionando-se os respectivos valores de viés (6,468 para ambos os modelos) aos valores estimados de área foliar.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o experimento foi conduzido e os resultados obtidos, foi possível chegar às seguintes conclusões:

Houve acréscimo de 0,125 g na massa fresca da parte aérea para cada incremento unitário em % de ETc, e a irrigação com lâmina equivalente a 140% da ETc resultou maior produção em massa fresca da parte aérea (31,6 g). Também houve acréscimo de 0,11 cm na altura das plantas para o incremento unitário em % de ETc, sendo que a lâmina de irrigação definida por 140% da ETc também propiciou plantas mais altas (33,6 cm).

A porcentagem de 111,1% de ETc foi a que resultou maior massa seca da parte aérea (2,55 g). Já a porcentagem de 97% de ETc foi a que proporcionou menor umidade da parte aérea (91,7%) no experimento 1. Porém a porcentagem de 140% da ETc foi a que resultou maiores valores de umidade da parte aérea nos experimentos 1 e 2 (93,7 e 91,4 %, respectivamente).

No experimento 2 o acréscimo unitário em % de ETc resultou aumento de 0,241 cm² na área foliar, 0,054 cm no comprimento das folhas e, 0,0102 cm na largura das folhas. Sendo que a porcentagem de 140% de ETc resultou maiores valores de área foliar, comprimento e largura das folhas (78,95 cm², 27,5 cm e, 6,6 cm, respectivamente).

Por outro lado, no experimento 1, o acréscimo unitário em % de ETc reduziu em 0,166 cm² a área foliar e, 0,027 cm o comprimento foliar, sendo que a lâmina de irrigação baseada na porcentagem de 60% da ETc proporcionou maior produção de área foliar (92,5 cm²) e de comprimento foliar (21,4 cm).

Foi possível ajustar quatro modelos para a estimativa da área foliar do almeirão a partir de medidas lineares de comprimento e largura das folhas, sendo possível a utilização dos valores estimados, havendo-se apenas a necessidade de se somar os valores de viés obtidos por Bland-Altman aos valores estimados de área foliar.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 301 p. (FAO. Irrigation Paper, 56).
- ANTUNES, W.C.; POMPELLI, M.F.; CARRETERO, D.M.; MATTA, F.M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *C. Canephora*). **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 153, n. 5, p. 33-40, 2008.
- BANDEIRA, G.R.L.; PINTO, H.C.S.; MAGALHÃES, P.S.; ARAGÃO, C.A.; QUEIROZ, S.O.P.; SOUZA, E.R.; SEIDO, S.L. Manejo de irrigação para cultivo de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p.237-241, 2011.
- BEIRIGO, J.D.C.; SANTANA, M.J. de; VIEIRA, T.A. Função de produção da cultura da cenoura para diferentes lâminas de irrigação. In: II Seminário de Iniciação Científica – IFTM, 2009, Uberaba. **Anais eletrônicos...** Uberaba: IFTM, 2009. Disponível em: <http://www.iftm.edu.br/SITES/proreitorias/pesquisa/revista_2/resumo/irrigacao/resumo7.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2014.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 305-309, 2005.
- BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **The Lancet**, London, v. 327, n. 8476, p. 307-310, 1986.
- CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARDOSO, G.G. de G.; KLAR, A.E. Potenciais de água no solo na produção de alface. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 170-179, 2009.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A.L.; CASAROTTO, G. Estimativa da área foliar do nabo forrageiro em função de dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 47-51, 2012.
- CHAVES, S.W.P. **Efeito da alta frequência de irrigação e do “mulching” plástico na produção da pimenta ‘Tabasco’ fertirrigada por gotejamento**. 2009. 153 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2009.

CHO, Y.Y.; OH, S.; OH, M.M.; SON, J.E. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf area length, width and SPAD value. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 11, p. 330-334, 2007.

DE ROOVER, J.; VANDENBRANDEN, K.; VAN LAERE, A.; VAN DEN ENDE, W. Drought induces fructan synthesis and 1-SST (sucrose:sucrose fructosyltransferase) in roots and leaves of chicory seedlings (*Cichorium intybus* L.). **Planta**, Berlin, v. 210, p. 808–14, 2000.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. Efeito dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. de (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010. cap. 9, p. 129-141.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO. 1994. 306 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

FAVERI, L.A.; CHARLO, H.C. de; CASTOLDI, R.; SOUZA, J. de O.; BRAZ, L.T. Características produtivas do almeirão em função do espaçamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2 (Suplemento – CD Rom), 2009.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402 p.

GAVA, Ricardo. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine Max, (L.) Merrill.)**. 2014. 123 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

HAMADA, E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento e produtividade de alface submetida a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 9, p. 1201-1209, 1995

HIRAKATA, V.N.; CAMEY, S.A. Análise de concordância entre métodos de Bland-Altman. **Clinical and Biomedical Research**, Porto Alegre, v. 29, n. 3, p. 261-268, 2009.

KANDIANNAN, K.U.; PARTHASARATHY, K.S.; KRISHNAMURTHY, C.K.; THANKAMANI, V.S. Modelling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 120, n. 4, p. 532-537, 2009.

JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; PRATT, B.J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 14, n. 4, p. 954-959, 1971.

JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineering, 1973. 215 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

MARTIM, S.A.; SANTOS, M.P.; PEÇANHA, A.L.; POMMER, C.; CAMPOSTRINI, E.; VIANA, A.P.; FAÇANHA, A.R.; BRESSAN-SMITH, R. Photosynthesis and cell respiration modulated by water déficit in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon. **Brasilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 21, n. 2, p. 95-102, 2009.

MEDEIROS, P.R.F. de; SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N. Salinidade em ambiente protegido. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. de (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010. cap. 6, p. 83-92.

MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p.15-24, 2005.

NASCIMENTO, S.P. do; BASTOS, E.A.; ARAÚJO, E.C.E.; FREIRE FILHO, F.R.; SILVA, E.M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

NOVO, M.C.S.S.; TRANI, P.E.; MINAMI, K. Desempenho de três cultivares de almeirão sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n.1, p. 84-87, 2003.

PATEL, J.R.; PATEL, J.B.; UPADHYAY, P.N.; USADADIA, V.P. The effect of various agronomic practices on the yield of chicory (*Cichorium intybus*). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 135, p. 271–278, 2000.

PEREIRA, A.R.; SEDIYAMA, G.C.; VILLA NOVA, N.A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013. 323 p.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

RITSEMA, T.; SMEEKENS, S. Fructans: beneficial for plants and humans. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 6, n. 3, p. 223–230, 2003.

ROSENBERG, N.J.; MCKENNEY, M.S.; MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and a simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 47, p. 303–320, 1989.

ROUPHAEL, Y.; MOUNEIMNE, A.H.; ISMAIL, A.; MENDOZA-DE GYVES, E.; RIVERA, C.M. COLLA, G. Modeling individual leaf area of rose (*Rosa hybrida* L.) based on leaf length and width measurement. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 48, n. 1, p. 9-15, 2010.

SALVADOR, D.J.; ZÁRATE, N.A.H.; VIEIRA, M.C. Produção e renda bruta de cebolinha e almeirão, em cultivo solteiro e consorciado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 491-496, 2004.

SAMPAIO, A.H.R.; COELHO-FILHO, M.A.; COELHO, E.F.; DANIEL, R.; MACHADO, V.V.; CARVALHO, G.C.; SANTANA JÚNIOR, E.B. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1141-1148, 2010.

SANTOS, S.R. dos; PEREIRA, G.M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, 2004.

SILVA, A.R.A. da; BEZERRA, F.M.L.; FREITAS, C.A.S. de; PEREIRA FILHO, J.V.; ANDRADE, R.R. de; FEITOSA, D.R.C. Morfologia e fitomassa do girassol cultivado com déficits hídricos em diferentes estádios do desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 959-968, 2012.

SPAGNHOL, M.; NETO, E.L.; PERES, J.G. Determinação dos coeficientes de cultura do almeirão pão de açúcar (*Cichorium intybus*) cultivado em estufa de polietileno de baixa densidade. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UFSCar, 20., 2013, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2013. p. 11-11.

THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

VANDOORNE, B.; MATHIEU, A.S.; VAN DEN ENDE, W.; VERGAUWEN, R.; PÉRILLEUX, C.; JAUVAX, M.; LUTTS, S. Water stress drastically reduces root growth and inulin yield in *Cichorium intybus* (var. *sativum*) independently of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n. 12, p. 4359-4373, 2012.

ZÁRATE, N.A.H.; VIEIRA, M.C.; GRACIANO, J.D.; PEZZONI FILHO, J.C. Produção de almeirão em cultivo solteiro e consorciado com cenoura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 55-61, 2006.

WILLIAM III, L.; MARTINSON, T.E. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 98, p. 493-498, 2003.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625 p.

FRIZZONE, J.A; FREITAS, P.S.L. de; REZENDE, R.; FARIA, M.A. de. **Microirrigação**: gotejamento e microaspersão. Maringá: EDUEM, 2012. 356 p.

SEDIYAMA, M.A.N.; RIBEIRO, J.M.O.; ALBANEZ, A.C. Almeirão (*Cichorium intybus* L.) e chicória (*Cichorium endivia* L.). In: PAULA JÚNIOR, T.J. de; VENZON, M. (Coord.). **101 culturas**: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. cap. 9, p. 85-88.

ANEXOS

Anexo A – Lâminas de irrigação

Tabela 48 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 1 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (continua)

Dias Julianos	DAP	Tratamentos				
		60% ETc	80% ETc	100% ETc	120% ETc	140% ETc
217	1	0,92	1,21	1,52	1,82	2,12
218	2	1,02	1,36	1,70	2,04	2,38
219	3	1,05	1,40	1,74	2,09	2,44
220	4	0,99	1,33	1,66	1,99	2,32
221	5	0,98	1,31	1,64	1,97	2,30
222	6	1,00	1,33	1,66	1,99	2,32
223	7	1,09	1,45	1,82	2,18	2,54
224	8	1,12	1,49	1,87	2,24	2,62
225	9	0,78	1,04	1,30	1,56	1,82
226	10	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47
227	11	1,04	1,38	1,73	2,08	2,42
228	12	0,98	1,31	1,64	1,97	2,30
229	13	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10
230	14	1,08	1,44	1,80	2,17	2,53
231	15	1,07	1,42	1,78	2,13	2,49
232	16	1,11	1,48	1,85	2,22	2,59
233	17	1,13	1,51	1,88	2,26	2,64
234	18	1,16	1,54	1,93	2,31	2,70
235	19	1,18	1,57	1,96	2,35	2,74
236	20	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80
237	21	1,20	1,61	2,01	2,41	2,81
238	22	1,10	1,47	1,83	2,20	2,57
239	23	1,10	1,47	1,84	2,21	2,57
240	24	1,03	1,37	1,71	2,06	2,40
241	25	1,05	1,40	1,74	2,09	2,44
242	26	1,16	1,55	1,93	2,32	2,71
243	27	1,25	1,67	2,09	2,50	2,92
244	28	1,02	1,37	1,71	2,05	2,39
245	29	1,23	1,64	2,05	2,45	2,86
246	30	1,05	1,40	1,75	2,10	2,44
247	31	0,99	1,32	1,66	1,99	2,32

Tabela 48 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 1 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (conclusão)

Dias Julianos	DAP	Tratamentos				
		60% ETc	80% ETc	100% ETc	120% ETc	140% ETc
248	32	1,15	1,53	1,92	2,30	2,68
249	33	1,19	1,59	1,99	2,38	2,78
250	34	1,17	1,56	1,95	2,34	2,74
251	35	1,23	1,64	2,05	2,46	2,87
252	36	1,25	1,66	2,08	2,50	2,91
253	37	1,31	1,75	2,19	2,62	3,06
254	38	1,35	1,80	2,26	2,71	3,16
255	39	1,31	1,74	2,18	2,61	3,05
256	40	1,26	1,68	2,10	2,52	2,94
257	41	1,33	1,77	2,21	2,66	3,10
258	42	1,28	1,70	2,13	2,55	2,98
259	43	1,24	1,65	2,06	2,47	2,88
260	44	1,26	1,68	2,10	2,51	2,93
261	45	1,24	1,65	2,07	2,48	2,89
262	46	1,02	1,37	1,71	2,05	2,39
263	47	0,81	1,08	1,35	1,62	1,89
264	48	1,16	1,55	1,93	2,32	2,70
265	49	1,20	1,61	2,01	2,41	2,81
266	50	1,36	1,81	2,26	2,72	3,17
267	51	1,28	1,71	2,14	2,57	3,00
268	52	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45
269	53	0,93	1,24	1,55	1,86	2,16
270	54	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10
271	55	1,26	1,68	2,10	2,52	2,94
272	56	1,34	1,79	2,24	2,68	3,13
273	57	1,24	1,66	2,07	2,48	2,90
274	58	1,14	1,53	1,91	2,29	2,67
275	59	1,14	1,53	1,91	2,29	2,67
276	60	1,21	1,61	2,01	2,41	2,82
277	61	1,18	1,58	1,97	2,37	2,76
278	62	1,24	1,65	2,06	2,47	2,88
279	63	1,27	1,70	2,12	2,55	2,97
280	64	1,17	1,56	1,96	2,35	2,74

DAP – Dias após o plantio

Tabela 49 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 2 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (continua)

Dias Julianos	DAP	Tratamentos				
		60% ETc	80% ETc	100% ETc	120% ETc	140% ETc
283	1	1,47	1,96	2,45	2,93	3,42
284	2	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
285	3	1,50	2,00	2,50	3,01	3,51
286	4	1,51	2,02	2,52	3,03	3,53
287	5	1,52	2,03	2,53	3,04	3,55
288	6	1,46	1,95	2,43	2,92	3,40
289	7	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43
290	8	1,51	2,02	2,52	3,03	3,53
291	9	1,45	1,94	2,42	2,91	3,39
292	10	1,48	1,97	2,46	2,95	3,44
293	11	1,04	1,38	1,73	2,08	2,42
294	12	1,20	1,60	2,00	2,40	2,79
295	13	1,38	1,84	2,30	2,76	3,21
296	14	1,40	1,87	2,34	2,81	3,28
297	15	1,41	1,88	2,35	2,82	3,29
298	16	0,95	1,27	1,59	1,90	2,22
299	17	1,38	1,84	2,30	2,76	3,23
300	18	1,43	1,90	2,38	2,85	3,33
301	19	1,46	1,95	2,44	2,92	3,41
302	20	1,52	2,03	2,53	3,04	3,55
303	21	1,53	2,04	2,56	3,07	3,58
304	22	1,44	1,92	2,40	2,88	3,36
305	23	1,32	1,76	2,20	2,64	3,07
306	24	1,43	1,90	2,38	2,86	3,33
307	25	1,44	1,93	2,41	2,89	3,37
308	26	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45
309	27	1,03	1,38	1,72	2,07	2,41
310	28	1,55	2,07	2,59	3,10	3,62
311	29	1,28	1,71	2,13	2,56	2,99
312	30	1,13	1,51	1,89	2,27	2,65
313	31	1,31	1,75	2,18	2,62	3,06
314	32	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
315	33	1,53	2,04	2,55	3,06	3,57
316	34	1,10	1,47	1,84	2,20	2,57

Tabela 49 - Lâminas de irrigação (mm) dos tratamentos do experimento 2 correspondentes a 60, 80, 100, 120 e, 140% da evapotranspiração da cultura (conclusão)

Dias Julianos	DAP	Tratamentos				
		60% ETc	80% ETc	100% ETc	120% ETc	140% ETc
317	35	1,30	1,74	2,17	2,61	3,04
318	36	1,25	1,67	2,08	2,50	2,92
319	37	1,43	1,91	2,39	2,87	3,35
320	38	1,46	1,95	2,44	2,92	3,41
321	39	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43
322	40	1,50	2,01	2,51	3,01	3,51
323	41	1,51	2,00	2,50	3,00	3,50
324	42	1,03	1,38	1,72	2,06	2,41
325	43	1,57	2,09	2,61	3,13	3,66
326	44	1,01	1,34	1,68	2,02	2,35
327	45	1,16	1,55	1,94	2,32	2,71
328	46	1,30	1,74	2,17	2,61	3,04
329	47	1,24	1,65	2,07	2,48	2,89
330	48	1,11	1,49	1,86	2,23	2,60
331	49	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80
332	50	1,29	1,72	2,15	2,58	3,01
333	51	1,22	1,63	2,04	2,45	2,86
334	52	1,28	1,70	2,13	2,56	2,98
335	53	1,32	1,76	2,19	2,63	3,07
336	54	1,36	1,81	2,26	2,71	3,17
337	55	1,32	1,76	2,20	2,64	3,08
338	56	1,27	1,69	2,11	2,54	2,96
339	57	1,23	1,64	2,05	2,46	2,87
340	58	1,47	1,96	2,46	2,95	3,44
341	59	1,49	1,98	2,48	2,97	3,47
342	60	1,36	1,81	2,27	2,72	3,18
343	61	1,33	1,78	2,22	2,66	3,11
344	62	0,96	1,28	1,60	1,92	2,24

DAP – Dias após o plantio