UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MÉTODOS DE MANUTENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO NO CULTIVO DO GIRASSOL E CÁRTAMO EM CONDIÇÕES CONTROLADAS

JULYANE VIEIRA FONTENELLI

RONDONÓPOLIS – MT
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MÉTODOS DE MANUTENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO NO CULTIVO DO GIRASSOL E CÁRTAMO EM CONDIÇÕES CONTROLADAS

JULYANE VIEIRA FONTENELLI

Engenheira Agrícola e Ambiental

Orientador: Prof°. Dr. Tonny José Araújo da Silva

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

RONDONÓPOLIS – MT

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

V658m Vieira Fontenelli, Julyane.
Métodos de manutenção de umidade do solo no cultivo do girassol e cártamo em condições controladas / Julyane Vieira Fontenelli. -- 2014
85 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Tonny José Araújo da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Método gravimétrico. 2. Tensiômetro. 3. Irrigas. 4. Sistema autoirrigante. 5. Casa de vegetação. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: MÉTODOS DE MANUTENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO NO CULTIVO DO GIRASSOL E CÁRTAMO EM CONDIÇÕES CONTROLADAS

Autora: JULYANE VIEIRA FONTENELLI
Orientador: Profº. Dr. TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA

Aprovada em 04 de dezembro de 2014.

Comissão Examinadora:

Profº. Dr. Tonny José Araújo da Silva
UFMT (orientador)

Profº. Dr. Osvaldo Guedes Filho
UFMT (membro interno)

Profº. Dr. Cláudio Ricardo da Silva
UFU (membro externo)

“Se não houver frutos, valeu a beleza das flores;
Se não houver flores, valeu a sombra das folhas;
Se não houver folhas, valeu a intenção da semente.”

Henfil

Às minhas fortalezas, avó Jandira (*in memoriam*) e minha rainha Cleide Vieira, fonte de amor, carinho e inspiração, sempre acreditando em mim, durante todos os momentos da minha vida,

DEDICO

Aos meus pais José Benício e Cleide, e à minha tia Clélia, pelo imenso amor e confiança, não medindo esforços para concretização dos meus sonhos;

Ao meu afilhado Anthoni Murilo, para que esta conquista o inspire na realização de seus sonhos,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por iluminar-me sempre pelos melhores caminhos, me dando saúde, proteção e força para superar os momentos difíceis.

À minha família, em especial ao meu avô Clóvis e aos meus primos Glaucya Tays, Urânia Kênya e Kleclistone Vieira Martins e meu irmão de coração Flávio Henrique, pelo amor, paciência, compreensão e apoio em todas as minhas decisões.

Ao meu orientador Prof°. Dr. Tonny José Araújo da Silva, pela sabedoria, oportunidade, tolerância, dedicação e pelas críticas construtivas e sempre disposição em ajudar-me.

À Profª Drª. Edna Maria Bonfim da Silva, exemplo de dedicação e por ter despertado em mim, o interesse pela pesquisa, fazendo- me acreditar na realização dos meus sonhos.

A todos os Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e contribuição na minha formação acadêmica.

Ao Prof°. Dr. André Marcondes Andrade Toledo, pela amizade, aprendizados e confiança demonstrada durante todos esses anos de vida acadêmica.

Aos alunos do Programa de Pós-Gradução em Engenharia Agrícola, em especial às minhas amigas Christiane Kamila Bosa, Samara Lorâine Soares da Silva e meu amigo João Angelo Silva Nunes, que de uma maneira muito especial foram meus amigos e companheiros, sempre me ajudando nas longas e difíceis avaliações dos experimentos e pelas boas risadas que demos juntos.

Ao Marcel Thomas Job Pereira, Ellen Cristina Alves de Anicésio e Jakeline Rosa de Oliveira pela contribuição na minha formação pessoal e acadêmica.

Ao Wilson Kanashiro, Renato Bassini e Marcio Venzon, pelo companheirismo, grandes conselhos e pelas boas risadas que demos juntos.

Às meninas da limpeza do bloco das Engenharias, em especial a minha amiga Dona Maria, que me acolheu como filha, fazendo com que meus momentos na faculdade fossem melhores.

À Cristiane Pereira Martins, pelo amor, cuidado, apoio, estímulo, compreensão e por deixar meus dias mais felizes.

Aos alunos do Grupo de Práticas em Água e Solo – GPAS pela ajuda ao longo do experimento.

À Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis, pela oportunidade em realizar o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

OBRIGADA!

MÉTODOS DE MANUTENÇÃO DA UMIDADE DO SOLO NO CULTIVO DO GIRASSOL E CÁRTAMO EM CONDIÇÕES CONTROLADAS

Autora: Julyane Vieira Fontenelli

Orientador: Prof°. Dr. Tonny José Araújo da Silva

RESUMO: O conteúdo de água no solo, constitui um dos fatores mais importantes à limitação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, a uniformização da umidade do solo, em experimentação agrícola, é fundamental para atenuar a variabilidade dentro dos tratamentos, diminuindo os erros experimentais advindos do manejo da irrigação. Objetivou-se avaliar métodos de manutenção de umidade do solo, utilizando-se como plantas indicadoras o girassol (*Helianthus annuus* L.) e o cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) sob cultivo em condições controladas. Realizou-se simultaneamente os experimentos, um cultivando o girassol e o outro o cártamo, no período compreendido entre os meses de agosto a outubro de 2014, em casa de vegetação da Universidade Federal de Mato Grosso, utilizando-se um Latossolo Vermelho distrófico. Os tratamentos experimentais constituíram- se de quatro métodos de manutenção de umidade do solo (tensiômetro, Irrigas, método gravimétrico e sistema autoirrigante) em oito repetições. As variáveis analisadas foram: número de folhas, altura de plantas, índice relativo de clorofila, diâmetro de caule, condutância estomática, número e diâmetro de capítulos, número de ramos, massa seca dos capítulos, das folhas, do caule, da raiz, da parte aérea e total. O consumo de água e eficiência do uso da água para a produção de massa seca de capítulos, também foram avaliados para ambas as culturas. O desenvolvimento e produção das plantas indicadoras, girassol e cártamo, foram influenciados pelos métodos de manutenção de umidade do solo, em cultivo, sob condições controladas. O sistema autoirrigante é indicado tecnicamente para efetuar o manejo da irrigação durante o período de desenvolvimento vegetativo das plantas indicadoras. As maiores lâminas são aplicadas quando se emprega o método gravimétrico. Os menores valores dos parâmetros morfológicos e produtivos foram encontrados quando a manutenção da umidade do solo foi realizada com o sensor Irrigas. O manejo das irrigações do girassol e cártamo com base no método gravimétrico é suficiente para proporcionar o maior acúmulo na parte aérea e raiz, e consequentemente, aumento no consumo de água das culturas.

Palavras-chave: conteúdo de água no solo, método gravimétrico, tensiômetro, Irrigas, sistema autoirrigante, casa de vegetação.

METHODS OF MAINTAINING SOIL MOISTURE IN THE CULTIVATION OF SUNFLOWER AND SAFFLOWER UNDER CONTROLLED CONDITIONS

Authoress: Julyane Vieira Fontenelli

Adviser: Prof°. Dr. Tonny José Araújo da Silva

ABSTRACT: The water content of the soil is one of the most important factors limiting the growth and development of plants. Thus, the uniformity of soil moisture, in agricultural experimentation, is essential for reduce variability within treatments, reducing the experimental errors arising from the management of irrigation. The objective was to evaluate methods of maintaining soil moisture, using as indicator plants sunflower (*Helianthus annuus* L.) and safflower (*Carthamus tinctorius* L.), grown under controlled conditions. Was performed experiments simultaneously, one sunflower cultivating and another safflower, in the period between the months from August to October 2014, in a greenhouse of the Federal University of Mato Grosso, using an Oxisol. The experimental treatments consisted of the four methods of maintaining soil moisture (tensiometer, Irrigas, gravimetric method and autoirrigante system) in eight replicates. The variables analyzed were: number of leaves, plant height, relative chlorophyll index, stem diameter, stomatal conductance, diameter and number of chapters, number of branches, dry mass of the chapters, leaves, stem, root, aerial part and total. The water consumption and water use efficiency for dry mass of chapters, were also evaluated for both cultures. The development and production of indicator plants, sunflower and safflower were influenced by the methods of soil moisture maintenance in cultivation under controlled conditions. The autoirrigante system is technically indicated for making water management during the vegetative growth period of indicator plants. The larger blades were applied when employed the gravimetric method. The lowest values of morphological and productive parameters were found when the maintenance of soil moisture was performed with the Irrigas sensor. The management of irrigation of sunflower and safflower based on the gravimetric method is sufficient to provide the highest accumulation in shoot and root and consequently increase in water consumption of crops.

Key words: soil water content, gravimetric method, tensiometer, Irrigas, autoirrigante system, greenhouse.

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Adubação fosfatada e potássica (A), incorporação dos adubos a 10 cm de profundidade nas unidades experimentais (B). 23
2. Germinação das plântulas de girassol (A) e cártamo (B). 24
3. Desbaste das plantas de girassol (A) e cártamo (B). 24
4. Temperatura do ensaio da cultura do girassol (A), cártamo (B) e umidade relativa do ar (C), no interior da casa de vegetação no período experimental de 25/08 a 13/10/2014. 25
5. Curva de Van Genuchten - Retenção de água no solo, gerada pelo programa Soil Water Retention Curve (versão 3.0) e a equação da umidade do solo com os dados obtidos. 27
6. Pesagem dos vasos do girassol (A) e cártamo (B) para manejo da irrigação das parcelas experimentais. 29
7. Constituição do sistema Irrigas. 30
8. Imersão do sinalizador (seringa transparente) no recipiente com água (A), queda da água do sinalizador, sistema aberto. (B). 31
9. Tensiômetro instalado na parcela (A), leitura da tensão de água no solo com tensímetro digital (B). 32
10. Constituição do sistema autoirrigante. 33
11. Altura de coluna de água do sistema autoirrigante. 34
12. Altura de plantas (A), índice relativo de clorofila (B) e diâmetro de caule (C). 34
13. Leituras de condutância estomática em plantas de cártamo (A) e girassol (B). 35
14. Florescimento de plantas de girassol (A) e cártamo (B). 35
15. Sistema radicular das plantas de girassol no sistema autoirrigante (A); tensiômetro (B); Irrigas (C) e método gravimétrico (D). 48
16. Altura de plantas de cártamo submetidas a métodos de manutenção de umidade do solo aos 69 DAE. 54

LISTA DE TABELAS

Página

1. Caracterização química e granulométrica do solo 22
2. Número de folhas de plantas do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 37
3. Altura de plantas (cm) do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 38
4. Índice relativo de clorofila das plantas de girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 40
5. Diâmetro de caule (mm) das plantas do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 41
6. Condutância estomática (mmol m^{-2} s^{-1}) das plantas do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo 42
7. Diâmetro de capítulo (DCAP) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 43
8. Massa seca dos capítulos (MSCAP) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 44
9. Massa seca das folhas (MSF) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 45
10. Massa seca do caule (MSC) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 46
11. Massa seca da raiz (MSR) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 47
12. Massa seca parte aérea (MSPA) e total (MST) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 48
13. Consumo de água (CA) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 50
14. Eficiência do uso da água da massa seca dos capítulos das plantas de girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 50
15. Número de folhas de cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 52
16. Altura de plantas do cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 54

17. Índice relativo de clorofila de plantas do cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 56
18. Diâmetro de caule (mm) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 57
19. Condutância estomática (mmol m^{-2} s^{-1}) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 58
20. Número de capítulos das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 60
21. Diâmetro de capítulo (DCAP) e número de brácteas (NB) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 61
22. Números de ramos primário (NRP), secundário (NRS) e total (NRT) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo. 62
23. Massa seca dos capítulos (MSCAP) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 63
24. Massa seca das folhas (MSF) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 64
25. Massa seca do caule (MSC) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 65
26. Massa seca da raiz (MSR) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 66
27. Massa seca parte aérea (MSPA) e total (MST) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 67
28. Consumo de água (CA) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 68
29. Eficiência do uso da água na massa seca de capítulos das plantas de cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE. 69

SUMÁRIO

Página

1 INTRODUÇÃO 13
2 REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1 Métodos de manutenção de umidade do solo 15
2.1.1 Método gravimétrico 15
2.1.2 Tensiômetro 16
2.1.3 Irrigas 17
2.1.4 Sistema autoirrigante 18
2.2 Plantas indicadoras 19
2.2.1 A cultura do girassol 19
2.2.2 A cultura do cártamo 21
3 MATERIAL E MÉTODOS 22
3.1 Local do experimento e delineamento estatístico 22
3.2 Instalação e condução dos ensaios 22
3.3 Curva de retenção de água no solo 26
3.4 Método gravimétrico 27
3.5 Irrigas 30
3.6 Tensiômetro 31
3.7 Sistema autoirrigante 33
3.8 Variáveis analisadas e análise estatística 34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37
4.1 Girassol 37
4.1.1 Número de folhas 37
4.1.2 Altura de plantas 38
4.1.3 Índice relativo de clorofila 39
4.1.4 Diâmetro de caule 41
4.1.5 Condutância estomática 42
4.1.6 Diâmetro de capítulo 43
4.1.7 Massa seca dos capítulos 44
4.1.8 Massa seca das folhas 45
4.1.9 Massa seca do caule 46
4.1.10 Massa seca da raiz 47
4.1.11 Massa seca da parte aérea e total 48

4.1.12 Consumo de água 49
4.1.13 Eficiência do uso da água 50
4.2 Cártamo 52
4.2.1 Número de folhas 52
4.2.2 Altura de plantas 53
4.2.3 Índice relativo de clorofila 55
4.2.4 Diâmetro de caule 56
4.2.5 Condutância estomática 58
4.2.6 Número de capítulos 59
4.2.7 Diâmetro de capítulo 60
4.2.8 Número de ramos 61
4.2.9 Massa seca dos capítulos 63
4.2.10 Massa seca das folhas 64
4.2.11 Massa seca do caule 65
4.2.12 Massa seca da raiz 66
4.2.13 Massa seca da parte aérea e total 67
4.2.14 Consumo de água 68
4.2.15 Eficiência do uso da água 69
4.3 Métodos de manutenção de umidade do solo 71
5 CONCLUSÕES 73
6 REFERÊNCIAS 74
APÊNDICE 84

1 INTRODUÇÃO

A manutenção da umidade do solo nos experimentos agrícolas, em particular os conduzidos em casa de vegetação, vem sendo realizada, de maneira geral, sem adoção de critérios para uniformização do volume de água reposto às unidades experimentais. Isso ocorre, pois o estudo da variação do conteúdo de água no solo, requer a utilização de metodologias apropriadas ao monitoramento da disponibilidade de água às plantas, de modo a evitar condições de excesso ou déficit hídrico (SILVA, 2014).

Além disso, nos ensaios sob condições controladas, a disponibilidade de água no solo, é um fator limitante ao crescimento e desenvolvimentos das plantas, o que implica na utilização de métodos de manutenção de umidade do solo, a fim de reduzir os erros experimentais e a variabilidade dentro dos tratamentos (BELTRÃO et al., 2002).

Um dos métodos mais utilizados para a manutenção da umidade do solo nos experimentos científicos em vasos, é o uso do método gravimétrico, onde por meio da caracterização da capacidade de vaso (ou pote), mantém-se o volume de água no solo, através da diferença de pesagem das unidades experimentais, em um dado intervalo de tempo (BONFIM-SILVA et al., 2011).

Levando-se em consideração, as prováveis variações nos conteúdos de água no solo, outras metodologias foram propostas para o manejo da irrigação na condução experimental, dentre elas destacam-se o sensor Irrigas (CALBO; SILVA, 2001), o tensiômetro (REICHARDT, 1987) e o sistema autoirrigante (SILVA et al., 1999).

A pesquisa tem comprovado que o girassol é uma das culturas mais sensíveis à variação da umidade do solo, podendo ser utilizada como planta indicadora do nível de disponibilidade de água e, dentre eles, Silva et al. (2007), Nazarli et al. (2010) e Dutra et al. (2012), comprovaram a estreita relação entre umidade do solo e a produtividade da cultura. Por outro lado, salienta-se que a cultura do cártamo, possui como característica, elevada resistência ao déficit hídrico (BAGHERI; SAM-DAILIRI, 2011).

Efeitos significativos da disponibilidade de água no solo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de cártamo, foram relatados por Istanbulluoglu et al. (2009). Os autores ainda verificaram, que a maior produtividade foi observada no tratamento sem omissão de irrigação ao longo do ciclo vegetativo da cultura e concluíram que déficit de irrigação nos períodos de formação dos capítulos e enchimento dos grãos, devem ser evitados.

Levando-se em consideração os diferentes tratamentos experimentais com plantas conduzidas em vasos, é fundamental a uniformização da umidade do solo para todas as parcelas experimentais, com vistas à obtenção das reais diferenças entre os tratamentos aplicados e a minimização dos erros durante o período experimental.

Neste contexto, tem-se como hipótese que determinados métodos de manutenção de umidade do solo, não afetam a produtividade das plantas sob experimentação agrícola a ponto de resultar na uniformização da umidade do solo, garantindo maior confiabilidade aos resultados obtidos. Assim, objetivou-se avaliar métodos de manutenção de umidade do solo utilizando-se como plantas indicadoras o girassol (*Helianthus annus* L.) e o cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) em cultivo sob condições controladas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Métodos de manutenção de umidade do solo

2.1.1 Método gravimétrico

A umidade do solo influencia diretamente o volume de água nele armazenado, bem como sua resistência, disponibilidade de água as plantas, entre outros fatores. Assim é fundamental o monitoramento do conteúdo de água no solo para estudos de manejo de irrigação (BERNARDO et al., 2006).

O método gravimétrico é o mais utilizado para manutenção de umidade do solo em experimentação agrícola sob cultivo protegido. Para a implantação deste método é necessário a caracterização da capacidade de retenção de água no solo do vaso ou capacidade de pote (BONFIM-SILVA et al., 2011). De acordo com esses autores, para se determinar a capacidade máxima de retenção de água, em experimentação sob condições controladas, é necessário a utilização de vasos de mesmo de volume de solo, igual àqueles a serem utilizados no experimento e, no mínimo, em três repetições.

Desta maneira, preenche-se os vasos com terra fina seca ao ar, pesa-se a massa de solo, colocando-os posteriormente em bandejas plásticas. Adiciona-se água até dois terços da altura dos vasos, para que a mesma sature o solo por capilaridade, de modo a retirar todo o ar contido em seus poros. Após a saturação os vasos são retirados da bandeja e colocados sobre um suporte para se observar a drenagem da água não retida. Ao cessar a drenagem, os vasos são novamente pesados e por diferença entre as massas de solo úmido e do solo seco, obtêm-se a capacidade de pote.

Em condições de cultivo em ambiente protegido, a manutenção da umidade do solo é realizada através da pesagem dos vasos em balança analógica, sendo reposto a água evapotranspirada da unidade experimental. A principal desvantagem do método gravimétrico é a não contabilização da fitomassa da planta, no volume de água a ser reposto no momento da irrigação (BELTRÃO et al., 2002).

Dutra et al. (2012) utilizando o método gravimétrico no estudo do crescimento de plantas de girassol, em diferentes capacidades de retenção de água, observaram que as condições de disponibilidades hídricas de 80 a 100% da capacidade de retenção de água no solo obtiveram o melhor desempenho dos parâmetros fisiológicos da cultura.

Souza et al. (2000) avaliando método gravimétrico e de laboratório para determinação da faixa de água disponível e manejo da irrigação sob o cultivo de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), relataram que o método gravimétrico proporcionou os maiores resultados de evapotranspiração, área foliar e acumulação de fitomassa na parte aérea da cultura.

2.1.2 Tensiômetro

O tensiômetro, instrumento inventado por Burton e Livingston em torno de 1908 (OR, 2001), é um dos métodos mais difundidos para a determinação da disponibilidade de água no solo, que auxilia a agricultura irrigada. Este equipamento mede diretamente o potencial matricial de água no solo e indiretamente a disponibilidade de água às plantas, possibilitando assim, determinar o momento da irrigação. Este instrumento, consiste de uma cápsula porosa de cerâmica conectada a um tubo, preenchido com água onde a tensão com a qual a água está retida pela matriz do solo é lida (BERNARDO et al., 2006).

O princípio de funcionamento do tensiômetro está baseado no equilíbrio entre a água no interior do tubo do tensiômetro e a solução do solo. À medida em que há uma redução da umidade do solo, a água do interior do tensiômetro atravessa a capsula porosa, até que ocorra o equilíbrio entre as partes internas e externas a cápsula. Isto se dá devido à redução do potencial de água no solo em comparação com o potencial da cápsula. Em virtude do instrumento ser hermeticamente fechado, passa a ocorrer uma pressão negativa no interior do tensiômetro, a qual é tanto maior quanto mais seco estiver o solo (COELHO, 2003).

Além da determinação direta da tensão de água no solo, a utilização do tensiômetro para medida indireta da umidade é realizada a partir da determinação da curva de retenção de água no solo. Esta relaciona o conteúdo de água no solo (a base de massa ou volume) com a tensão ou potencial matricial do solo, ou ainda, relaciona a quantidade de solução no solo em equilíbrio com a tensão aplicada (LIBARDI, 2005; COSTA, 2014).

Uma das vantagens do uso do tensiômetro, em relação aos outros métodos é a possibilidade de determinação da energia com que a água está retida pela matriz do solo, possibilitando uma medida *in situ*, com precisão e sensibilidade (BRITO et al., 2009). Por outro lado, o tensiômetro apresenta a desvantagem da limitação de medidas do potencial matricial, cuja funcionalidade está geralmente limitada a potenciais matriciais entre 0 e 85 kPa (DURIGON; LIER, 2011), além de manutenções frequentes.

Santos et al. (2014), em estudo com o cultivo do girassol sob irrigação com o método do tensiômetro observaram efeitos significativos nos componentes morfológicos: alturas de plantas e circunferência do colmo e produtividade de grãos.

2.1.3 Irrigas

O monitoramento do conteúdo de água no solo ao nível do sistema radicular é a estratégia mais eficaz do manejo de irrigação nos cultivos agrícolas. Esse monitoramento pode ser realizado utilizando-se sensores de sistema tensiométricos para aplicações científicas como o Irrigas. Esse instrumento é utilizado para avaliar a tensão matricial de água no solo, o que afeta indiretamente a disponibilidade de água as plantas.

O sistema Irrigas consiste de uma cápsula porosa, conectada através de um tubo flexível a uma pequena cuba transparente, que é imersa em um frasco com água no momento da medição da tensão de água no solo. Em solo úmido, a passagem de ar através dos poros fica bloqueada, assim, a água não entra na cuba de leitura, no momento em que a mesma é imersa no frasco com água. A medida que o solo seca, a maior parte da água presente nos poros da cápsula se desloca para o solo, tornando-a permeável ao ar, fazendo com que na ocasião da leitura a água do frasco suba dentro da cuba até se igualar com o nível de água do frasco (MAROUELLI; CALBO, 2009), sendo então o momento de irrigação da cultura.

Para que o ar possa permear na cápsula é necessário que a tensão de água no solo seja maior que a pressão de borbulhamento ou valor crítico da cápsula porosa (CALBO; SILVA, 2001). Por meio do teste de pressão de borbulhamento é possível determinar a tensão crítica na qual a cápsula porosa instalada no solo se torna permeável a passagem do ar.

Algumas vantagens na utilização deste método são o custo reduzido, baixa manutenção e fácil utilização. Por outro lado, a desvantagem é que o sensor não indica, de forma quantitativa, a tensão atual de água no solo, mas somente se está abaixo ou acima dos valores de referência (MAROUELLI, et al., 2005).

Koetz et al. (2013), avaliando o cultivo do rabanete submetido a níveis de reposição de água com o sensor Irrigas, observaram que o conteúdo de água no solo, promoveu diferença significativa no desenvolvimento da cultura.

Dourado et al. (2014), em estudo de reposição de água no cultivo da alface lisa com a utilização de Irrigas, observaram que o número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea

das plantas, apresentaram diferença significativa à umidade do solo sob experimentação em condições controladas.

Silva et al. (2014), utilizando o sensor Irrigas para o controle da umidade do solo em experimentação com o melão rendilhado e fertilidade do solo verificaram influência quadrática nas características produtivas e qualitativas da cultura.

Santana et al. (2004) comparando métodos de manutenção de umidade do solo no cultivo de cafeeiro (*coffea arábica*), não relataram diferença significativa entre a utilização do tensiômetro e o sistema Irrigas nas características morfológicas e estruturais da cultura, sugerindo a utilização Irrigas para o manejo da irrigação tendo em vista à praticidade de manuseio e a inexistência de manutenção do sistema.

2.1.4 Sistema autoirrigante

Define-se sistema autoirrigante, como sendo um sistema de irrigação por sucção controlada, utilizando-se cápsulas porosas conectada a uma coluna de água pendente (ABOUKHALED et al., 1982). Esse sistema é composto por um emissor (cápsula de cerâmica porosa), inserida ao solo na porção superior do vaso, conectado através de um microtubo flexível a um frasco de Mariotte com nível de água abaixo do ponto médio do comprimento do emissor (SILVA et al., 2004).

Em vista desses atributos este instrumento, permite a reposição contínua de água a nível subsuperficial, de acordo coma necessidade da planta. O potencial de água no solo é estabelecido pela altura da coluna de água entre o reservatório e o vaso. Dessa forma, a evapotranspiração da cultura garante a reposição automática da água para o solo, tornando o sistema autoirrigante (BONFIM-SILVA et al., 2007).

Esse sistema de irrigação é um aprimoramento do modelo proposto inicialmente por Montanheiro et al. (1979) no controle de tensões de água no solo em vasos de feijoeiro, o qual foi utilizado por Bataglia (1989) em um sistema de irrigação em vasos para experimentos de adubação e adaptado por Silva et al. (1999).

Trabalhos desenvolvidos por Bonfim-Silva e Monteiro (2010) na cultura do capim-braquiária (*Brachiaria decumbes*) em estado de degradação e Artur et al. (2014), com a *Brachiaria brizantha* cv. comprovam a eficiência deste método na manutenção da umidade de solo em condições controladas.

Assim como, o estudo desenvolvido por Trautmann et al. (2014), no cultivo da soja (*Glycine max*), onde os autores verificaram diferença significativa na umidade gravimétrica do solo, em razão dos níveis de tensão de água no solo impostos pelo sistema autoirrigante.

Uma das vantagens deste sistema em relação aos outros métodos, é a possibilidade de irrigação automática das parcelas experimentais, garantindo a reposição contínua de água, conforme a evapotranspiração das plantas. Por outro lado, uma das limitações deste método consiste na necessidade de técnicos qualificados para operar o sistema, tendo em vista a manutenção da coluna de água entre o reservatório Mariotte e a cápsula porosa, a qual está sujeita a entrada de ar, causando diminuição do volume de água de irrigação e até mesmo a quebra da coluna de água e a interrupção do fornecimento hídrico às plantas.

2.2 Plantas indicadoras

2.2.1 A cultura do girassol

O girassol é uma importante fonte de óleo e proteína vegetal, pertencente à família Asteraceae, gênero *Helianthus* espécie *Helianthus annus*, originária da América do Norte que foi levada para o continente europeu em meados do século XVI, devido aos interesses como planta ornamental (VIANNA, 2008). Conforme à etimologia da palavra e a sua intrigante rotação sempre voltada para o Sol (heliotropismo), está espécie também é conhecido como "flor do sol" (MELO, 2012).

Atualmente, o girassol é cultivado em todos os continentes, com produção mundial na ordem de 43,8 milhões de toneladas para a safra de 2013/2014. O maior produtor e consumidor de grãos da cultura é a Ucrânia, seguida da Rússia e União Européia (USDA, 2014).

No Brasil é notável o crescimento do cultivo do girassol. Dados da CONAB (2014) apontam um relativo aumento na produção de girassol no Brasil, a qual passou de 110,0 a 247 mil toneladas, com destaque para a produção no Estado de Mato Grosso.

A importância da cultura pode ser atribuída a sua múltipla utilização, podendo ser empregado na forma de óleo para alimentação e a indústria de biodiesel, farelo ou silagem para a alimentação animal, além de ser utilizado como planta ornamental (VIEIRA, 2005).

Além disso, a planta apresenta porte alto, raízes profundas e uma grande diversificação de suas características fenotípicas. A inflorescência do girassol é do tipo capítulo, com flores do disco dando origem aos frutos, denominados aquênios (grãos). Os capítulos têm diâmetros

de 6 a 50 cm, contendo de 100 a 8000 flores. O caule e o capítulo são os componentes de maior participação na produção de massa do girassol (ACOSTA, 2009).

Devido a sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, no Brasil o seu cultivo pode ser realizado durante o ano todo. Em função das condições hídricas e da temperatura de cada região, pode ser cultivado como primeira cultura, aproveitando o início das chuvas (inverno-primavera), ou como segunda cultura (verão – outono), aproveitando o final das chuvas (LEITE et al., 2007).

O consumo de água pela cultura do girassol varia principalmente em função das condições meteorológicas e da duração do ciclo, aumentando com o crescimento da cultura. Cronologicamente, a duração do ciclo da cultura varia de 65 a 165 dias (SCHNEITER; MILLER 1981). Durante a fase de semeadura à emergência a planta consome de 0,5 a 0,7 mm dia^{-1}, aumentando para 6 a 8 mm dia^{-1}, na floração e enchimento de grãos, reduzindo posteriormente até alcançar um mínimo na maturação fisiológica. As fases de desenvolvimento da planta mais sensíveis ao déficit hídrico são do início da formação do capítulo ao começo da floração e período imediatamente após a floração durante o enchimento de aquênios (VRÂNCEANU, 1977).

Acosta (2009) avaliando o consumo hídrico da cultura do girassol irrigado nas condições climáticas da região da Chapada do Apodi – RN, observou que uma faixa entre 500 e 700 mm de água, bem distribuídos ao longo das fases de desenvolvimento fenológico da cultura tem resultado em rendimentos próximos ao máximo.

Silva et al. (2011), estudaram a influência de diferentes lâminas de irrigação no desempenho produtivo de duas cultivares de girassol, na Vale do Curu – CE, e concluíram que a lâmina de 553,70 mm de água proporcionou a maior produção de aquênios e de óleos para ambas as espécies analisadas.

Trabalhos pioneiros desenvolvidos por Briggs e Shantz (1912) estabelecem a cultura do girassol, como planta indicadora do ponto de murcha permanente, o qual é alcançado quando a tensão no solo é, de aproximadamente, 1.500 kPa. Evidenciando a importância de se utilizar tal cultura, na condução de experimentos que avaliem a manutenção da umidade do solo em condições controladas.

2.2.2 A cultura do cártamo

O cártamo, planta da família Asteraceae, é uma cultura anual, originária da Ásia. Esta espécie já era cultivada antes da Era Cristã, com o objetivo de extrair de suas flores os corantes vermelho e amarelo, utilizados para culinária e tintura de tecidos. Com o avanço da tecnologia, a cultura passou a ser explorada devido ao seu potencial para produção de óleo, farelo, alpiste para os mercados de alimentos e produtos industriais (OELKE et al., 1992).

Atualmente, o cártamo está sendo cultivado como oleaginosa, sendo o México, Cazaquistão, Índia, Estados Unidos e Argentina seus principais produtores. No Brasil ainda não encontrou-se informações disponíveis para seu cultivo e utilização (FAOSTAT, 2014). As sementes desta espécie possuem elevados teores de óleos (35 a 40%) de ótima qualidade, tanto para consumo humano, como para uso industrial. O óleo de cártamo possui altos teores de ácidos oleico e linoleico (OELKE, et al., 1992).

A cultura apresenta um ciclo que varia em média de 110 a 150 dias podendo ser antecedido ou prolongado este intervalo, dependendo do genótipo e das condições ambientais. O crescimento da planta varia de 30 a 150 cm, com raiz extremamente forte, o caule produz ramificações primárias, secundárias e terciárias, nas quais surge uma inflorescência que é denominada capítulo. Cada ramificação produz de 1 a 5 capítulos de coloração branca, amarela, laranja ou vermelha (BURKART, 1974).

Em relação às condições edafoclimáticas de cultivo, o cártamo se desenvolve bem em regiões com precipitações de 300 a 600 mm anuais e em altitudes que variam do nível do mar até 2000 m. Suporta grande amplitude de temperaturas que podem variar de -7 a 40°C, além de possuir elevada resistência ao déficit hídrico (BAGHERI; SAM-DAILIRI, 2011).

O estresse hídrico é considerado o fator mais limitante para a produção das plantas nas regiões áridas e semiáridas do mundo (MUNNS, 2002). Mirshekari et al. (2013), estudando a resposta do cultivo do cártamo sob déficit hídrico durante o período vegetativo, floração e maturação observou que a temperatura e a umidade são os fatores que mais afetam a produção agrícola, sendo a qualidade das sementes severamente afetada pelo déficit hídrico no período de maturação fisiológica dos grãos.

Segundo Gecgel et al. (2007), a proporção de óleo em sementes de cártamo é em grande parte dependente das condições ambientais em particular da temperatura e da umidade do solo durante os períodos de enchimento e maturação dos grãos. Landau et al. (2004), obtiveram uma produção de biomassa de 10 t/ha de matéria seca de cártamo irrigado e colhido aos 90 dias de crescimento vegetativo para a confecção de silagem e feno.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento e delineamento estatístico

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis, com coordenadas geográficas de 16º 27'49" S e 50º 34'47" W, no período compreendido entre os meses de agosto a outubro de 2014.

Os ensaios foram esquematizados sob delineamento inteiramente casualizado, com quatro métodos de manutenção de umidade do solo (método gravimétrico, tensiômetro, irrigas e sistema autoirrigante), em oito repetições. Para se testar o efeito dos tratamentos utilizou-se as culturas do girassol e cártamo. A casa de vegetação onde o experimento foi conduzido possui uma estrutura metálica, coberta com filme de polietileno e com sistema de resfriamento adiabático.

O solo utilizado foi proveniente da camada de 0-0,20 m de profundidade de um Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013), de textura média, coletado em área de Cerrado. Para a implantação dos experimentos, as amostras de solo foram peneiradas em malha de 4 mm, para remover os fragmentos de raízes (SILVA et al. 2006) e malha de 2 mm para análises químicas e granulométricas (EMBRAPA, 1997). As características químicas e granulométricas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo

pH	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**H**	**Al**	**SB**	**CTC**	**V**	**M.O.**	**Areia**	**Silte**	**Argila**
$CaCl_2$	(mg dm^{-3})	---------	$cmol_c\ dm^{-3}$				----------		%	g dm^{-3}	----------	g kg^{-1}	----------
4,1	2,4	28	0,3	0,2	4,2	1,1	0,6	5,9	9,8	22,7	549	84	367

3.2 Instalação e condução dos ensaios

As unidades experimentais foram representadas por vasos plásticos com capacidade de 3,18 dm^{-3}. A saturação por bases foi elevada para 60% com incorporação de calcário dolomítico (PRNT = 80,3%), sendo mantido por 30 dias para que houvesse a diminuição da acidez do solo.

Após a incubação com calcário, para correção da acidez do solo, foi realizada a adubação de estabelecimento com fósforo e potássio nas doses de 150, 100 mg dm^{-3}, respectivamente, utilizando-se como fontes, superfosfato simples e cloreto de potássio, a 10 cm da camada superficial do solo (Figura 1).

Figura 1. Adubação fosfatada e potássica (A), incorporação dos adubos a 10 cm de profundidade nas unidades experimentais (B).

A adubação nitrogenada (200 mg dm^{-3}) foi parcelada em três aplicações aos 10, 20 e 40 DAE (dias após a emergência). A adubação com micronutrientes foi realizada utilizando uma solução contendo 1 mg dm^{-3} de B e Cu 3 mg dm^{-3} de Mn e Zn e 0,2 mg dm^{-3} de Mo, com as seguintes fontes: ácido bórico, cloreto de cobre, cloreto de manganês, sulfato de zinco e molibdato de sódio, respectivamente.

As cultivares de girassol e cártamo utilizadas foram Hélio 250 e Ima 0213, respectivamente. Realizou-se o tratamento de sementes com o fungicida sistêmico e de contato Vitavax – Thiran 200 SC. A semeadura foi realizada no dia 02 de agosto de 2014, semeando-se dez sementes por vaso e a germinação ocorreu quatro dias após a semeadura (Figura 2). Aos 11 dias após a emergência (DAE) foi realizado o desbaste deixando três plantas por vaso e aos 18 DAE ocorreu o segundo desbaste deixando duas plantas por vaso (Figura 3).

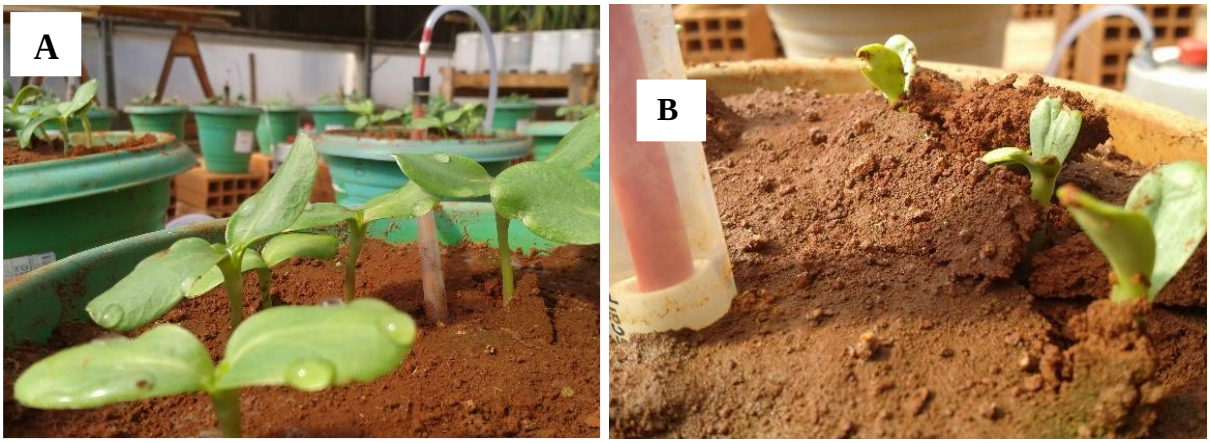

Figura 2. Germinação das plântulas de girassol (A) e cártamo (B).

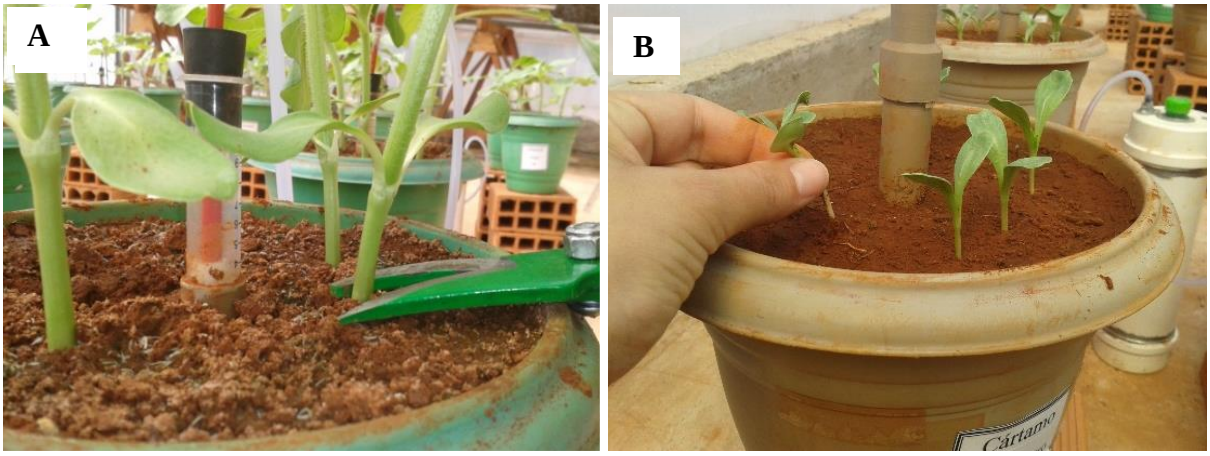

Figura 3. Desbaste das plantas de girassol (A) e cártamo (B).

Para o monitoramento dos elementos meteorológicos durante a condução dos experimentos foi instalado um termohigrômetro no interior da casa de vegetação, onde eram realizadas leituras diárias de temperatura dos ensaios do girassol (Figura 4A) e cártamo (Figura 4B) e umidade relativa do ar (Figura 4C). A temperatura do ar no cultivo do girassol apresentou máxima de 36,7°C, sendo superior a temperatura máxima de desenvolvimento da cultura que segundo EMBRAPA (2002) é na ordem de 34°C. Durante o período experimental da cultura do cártamo foram observadas temperaturas médias de 32,2°C, a qual favoreceu o crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que a temperatura ideal está entre 28 e 38°C (BALASHAHRI et al., 2013).

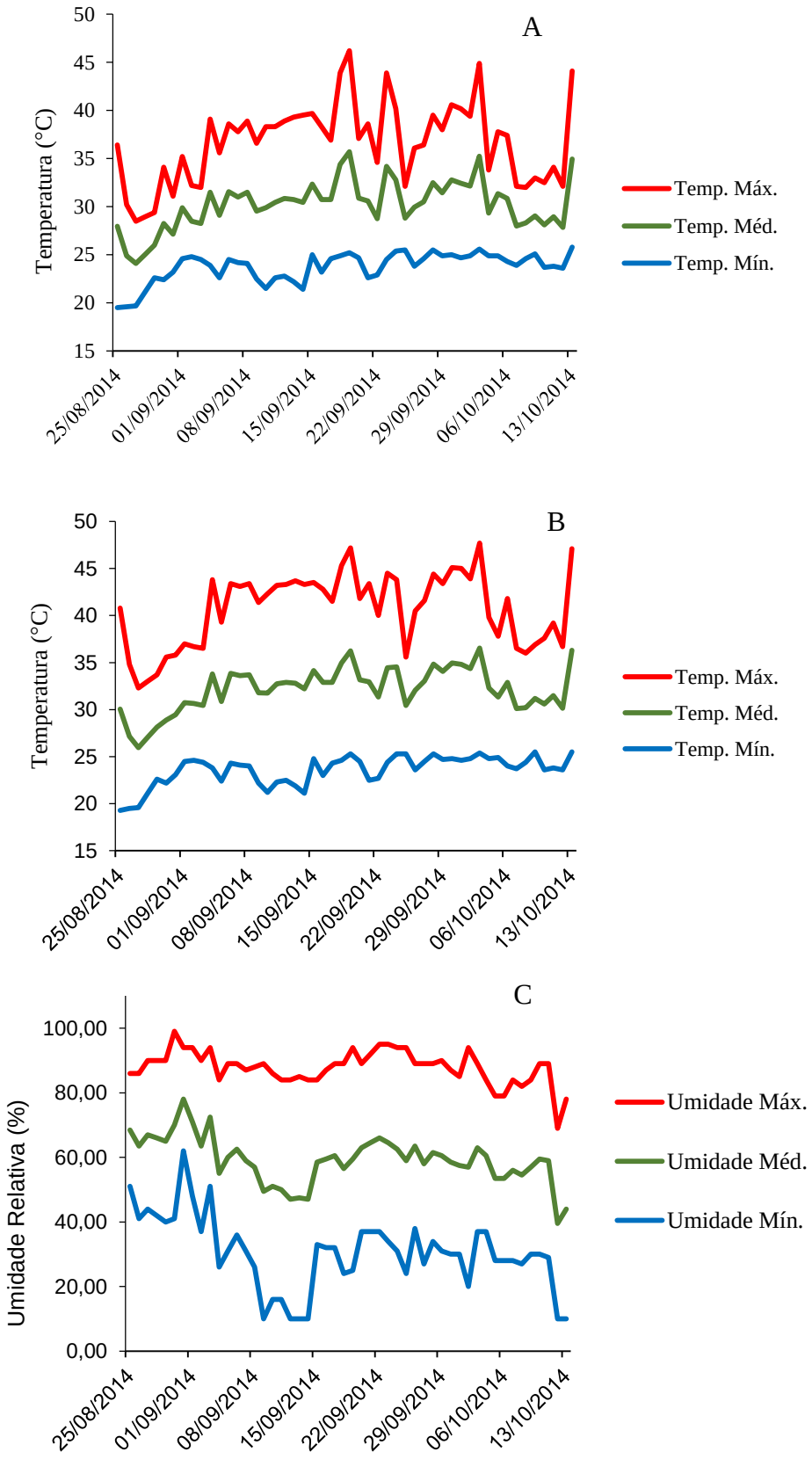

Figura 4. Temperatura do ensaio da cultura do girassol (A), cártamo (B) e umidade relativa do ar (C), no interior da casa de vegetação no período experimental de 25/08 a 13/10/2014.

3.3 Curva de retenção de água no solo

Para o manejo da irrigação dos métodos de manutenção de água do solo fez-se necessário a utilização da curva de retenção de água do solo para correlacionar o potencial de água com a umidade do solo.

A determinação da curva de retenção de água no solo foi obtida nas tensões 0,1; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 5; 10 e 20 kPa a partir do funil de placa porosa (funil de Haines). Nas maiores tensões 300; 500; 1000 e 1500 kPa, utilizou-se a câmara de Richards, conforme procedimentos descritos por Libardi (2005).

Com os valores de umidade do solo associados às suas respectivas tensões, obteve-se o ajuste da curva de retenção de água no solo (Figura 5) com o auxílio do software Soil Water Retention Curves (SWRC, versão 3.0), desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000), que descreve a variação da umidade do solo em função da tensão (Equação 1), baseada na equação de van Genuchten (1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1+(\alpha|\psi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

em que:

θ – umidade do solo ($cm^3\ cm^{-3}$);

θ_r – umidade residual ($cm^3\ cm^{-3}$);

θ_s – umidade de saturação (kPa);

ψ – potencial mátrico (kPa);

α, m, n – parâmetros do modelo.

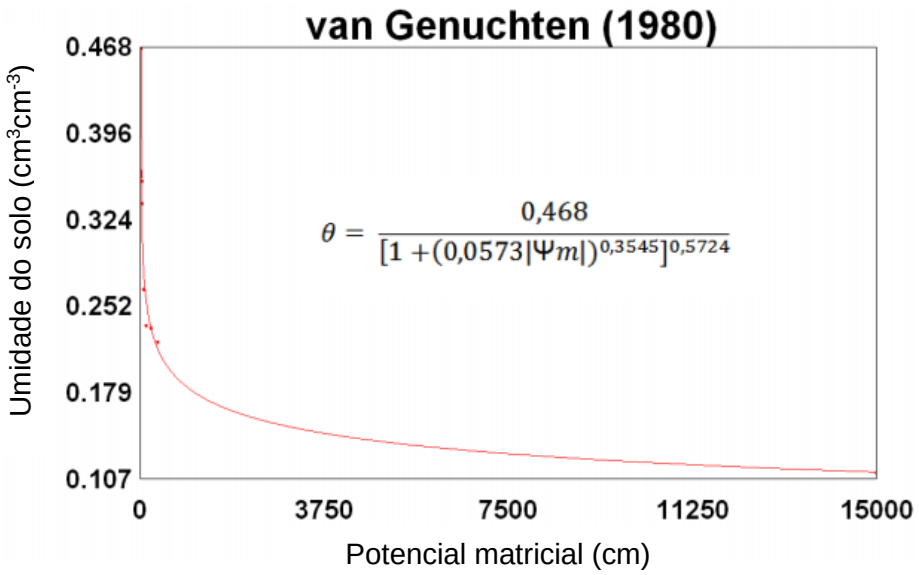

Figura 5. Curva de Van Genuchten - Retenção de água no solo, gerada pelo programa Soil Water Retention Curve (versão 3.0) e a equação da umidade do solo com os dados obtidos.

Durante a condução do experimento, devido as constantes observações de murchamento das plantas, realizou-se um cálculo de correção do volume de água da irrigação, aos métodos do tensiômetro, Irrigas e gravimétrico, aumentando em 10% o volume de água, para que as plantas não sofressem com estresse hídrico nos horários de maior demanda atmosférica dentro da casa de vegetação. Em razão do sistema autoirrigante prover água de maneira constante as plantas, não foi necessário a correção do volume de água de sua irrigação.

3.4 Método gravimétrico

O método direto para manutenção da capacidade máxima de retenção de água do solo, ou capacidade de campo foi determinado em laboratório em vasos de 3,18 dm^3, contendo o equivalente a 3,620 kg de solo a 3% de umidade a base de massa, em dez repetições. Desse modo, os vasos foram colocados sobre um suporte em bandejas plásticas. Adicionou-se água até dois terços da altura dos vasos, para que a mesma saturasse o solo por capilaridade, de modo a retirar todo o ar contido em seus poros. Após a saturação do solo os vasos foram retirados da bandeja e colocados sobre um suporte para permitir a drenagem da água não retida (BONFIM-SILVA et al., 2011). Ao cessar a drenagem dos vasos foram retiradas amostras deformadas de solo para a determinação de umidade a base de massa (θ_m). Após a retirada das amostras, pesou-

se imediatamente o solo para obtenção do peso úmido, levando-as em seguida a estufa de circulação forçada de ar a 105°C por um período de 24 horas. Decorrido este período as amostras foram novamente pesadas e por diferença obteve-se a umidade referente a capacidade de campo (CC) (Equação 2).

$$\theta_m = \left[\left(\frac{MSU-MSS}{MSS}\right) * 100\right] \quad (2)$$

em que:

θ_m – Umidade a base de massa (g g^{-1});

MSU – Massa do solo úmido (g);

MSS – Massa do solo seco (g).

Quatro dias após o início do escoamento da água presente no solo, cessou-se a drenagem dos vasos, com média da umidade a base de massa igual a 34,63%. Sabendo-se o volume do vaso (3180 cm^3) e o peso do solo seco (3511,4 g), calculou-se a densidade do solo, obtendo o valor de 1,10 g cm^{-3} (Equação 3).

$$D_s = \frac{MSS}{VT} \quad (3)$$

em que:

Ds – densidade do solo (g cm^{-3})

MSS – massa do solo seco (g)

VT – volume do vaso (cm^3)

Como os valores da umidade da curva de retenção de água no solo, encontravam-se a base de volume foi preciso a transformação dos dados de umidade gravimétrica para umidade volumétrica (θ_v), obtendo o valor de 38,10% (Equação 4).

$$\theta_v = \theta_m * Ds \quad (4)$$

em que:

θ_v – Umidade a base de volume (cm^3 cm^{-3})

θ_m – Umidade a base de massa (g g^{-1})

Ds – Densidade do solo (g cm^{-3})

Para o manejo da irrigação durante o ciclo da cultura, calculou-se o volume de água para manutenção da umidade do solo a 80 % da CC, ou seja, θ_v= 30,47% (Equação 5).

$$\theta_v = \frac{V_A}{V_T} \quad (5)$$

em que:

θ_v – Umidade a base de volume (cm^3 cm^{-3});

V_A – Volume de água (cm^3);

V_T – Volume de sólidos (cm^3).

De forma, a obter o valor total para pesagem das parcelas experimentais somou-se o peso do solo seco (3511,4 g) e volume de água a 80% da CC (968,946 g) ao peso do vaso (105 g), resultando em 4585,346 g, aproximando para 4,600 kg, devido a precisão da balança analógica. As irrigações foram realizadas duas vezes ao dia as 7 e às 14:00 horas, pesando as unidades experimentais das culturas de cártamo e girassol, a fim de manter o solo a 80% da capacidade de campo (Figura 6).

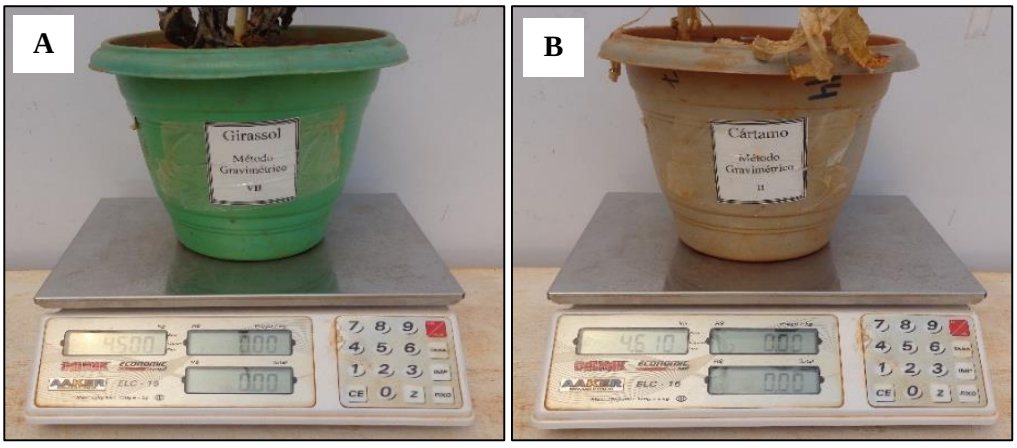

Figura 6. Pesagem dos vasos do girassol (A) e cártamo (B) para manejo irrigação das parcelas experimentais.

3.5 Irrigas

Utilizou-se em cada unidade experimental um sistema sinalizador para controle de irrigação, tipo Irrigas (CALBO; SILVA, 2001). Esses sistemas foram manufaturados com uma ampla faixa de tensão crítica, sendo compostos por um sensor (cápsula porosa) com medidas de 4 cm de comprimento por 1,5 cm de altura e 1 cm de altura, conectado através de um microcubo flexível a uma seringa transparente (3 ml), a qual servia como dispositivo indicador da tensão de água no solo (Figura 7).

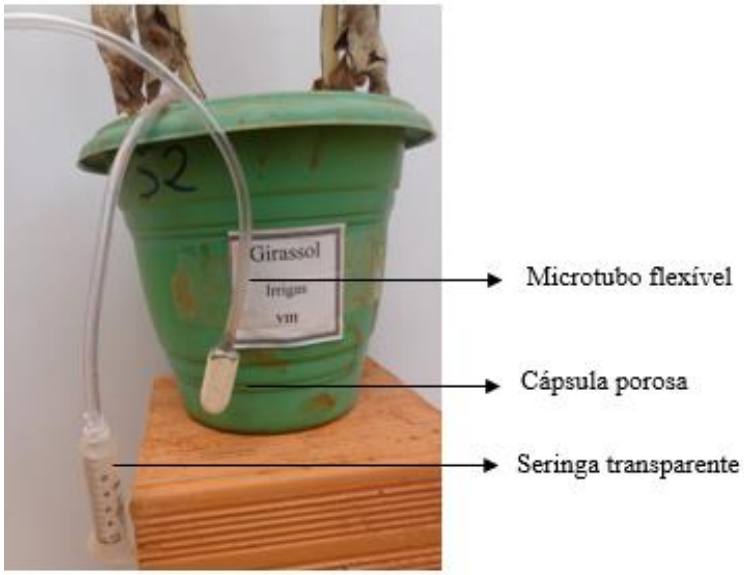

Figura 7. Constituição do sistema Irrigas.

Em seguida, realizou-se o teste de pressão de borbulhamento com o intuito de agrupar as cápsulas porosas de mesma tensão crítica, além de verificar se havia borbulhamento e vazamento de ar nas emendas do sensor Irrigas. A realização do ensaio de borbulhamento consistiu na saturação das capsulas porosas, pela imersão em água por um período de 24 h e aplicação de ar a incrementos de pressão de 10 kPa até o ponto de surgimento da primeira bolha de ar através da cápsula porosa, estabelecendo então a pressão de borbulhamento (LIBARDI, 2005). Utilizou-se as cápsulas porosas com pressão de borbulhamento a partir de 20 kPa, instalando o sensor nos vasos a 15 cm de profundidade, na região de maior abrangência do sistema radicular.

A manutenção da umidade do solo foi realizada diariamente, as 7:00 e as 14:00 horas, imergindo-se o sinalizador transparente (seringa) no recipiente com água. Se o solo estiver a

tensões inferiores a 20 kPa, a passagem de ar através da cápsula porosa fica bloqueada impedindo a ascensão da água no interior da seringa (sistema fechado). Por outro lado, quando o solo está a uma tensão igual ou superior ao valor crítico (20 kPa) a cápsula porosa torna-se permeável a passagem do ar e a pequena pressão gerada pela imersão da seringa em água já é suficiente para forçar a passagem de ar através dos poros da cápsula, fazendo com que na ocasião da leitura, a água do frasco suba dentro da seringa até se igualar com o nível de água do frasco (sistema aberto). Quando retira-se a seringa do recipiente com água observa-se a queda da água, sendo então o momento de irrigar a cultura (Figura 8).

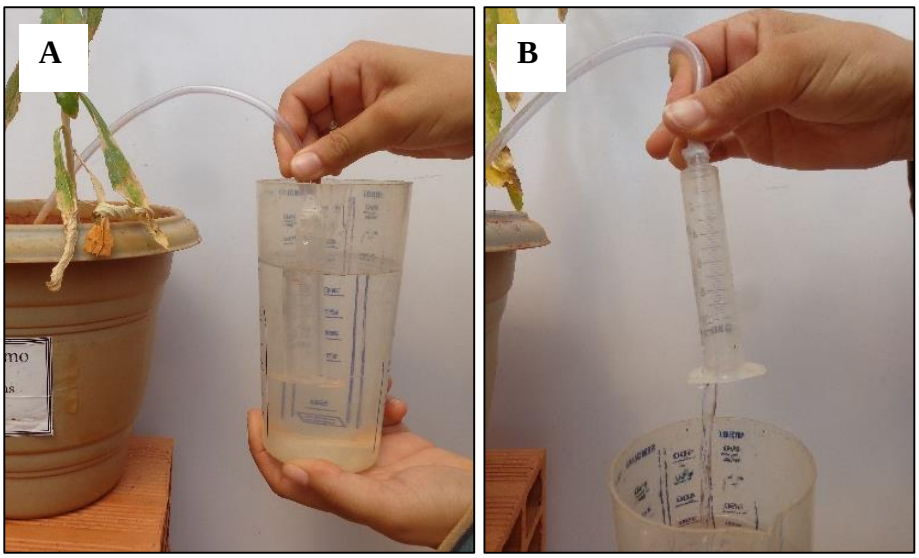

Figura 8. Imersão do sinalizador (seringa transparente) no recipiente com água (A), queda da água do sinalizador, sistema aberto.

Conforme a equação de van Genuchten (1980) com uma tensão de 20 kPa o solo se encontra com uma umidade volumétrica correspondente a 23,33%. Assim, para a manutenção da umidade do solo a 80% CC (θ_v= 30,47%), realizava-se a irrigação manual aplicando um volume de 227,052 cm³ de água (Equação 5).

3.6 Tensiômetro

O manejo da irrigação por tensiometria foi realizado com base na avaliação da tensão de água no solo. Para isso, foram realizadas duas leituras diárias, às 7 e as 14 horas utilizando-se um tensímetro digital (Figura 9). O volume de água a ser aplicada por irrigação foi calculado com base na curva de retenção de água no solo (Equação 1). A tensão de água no solo para

manutenção da umidade foi definida como sendo de 5 kPa. Segundo Bernardo et al. (2006) é comum encontrar a capacidade de campo com valores de até 5 kPa em solos de textura média na região do Cerrado.

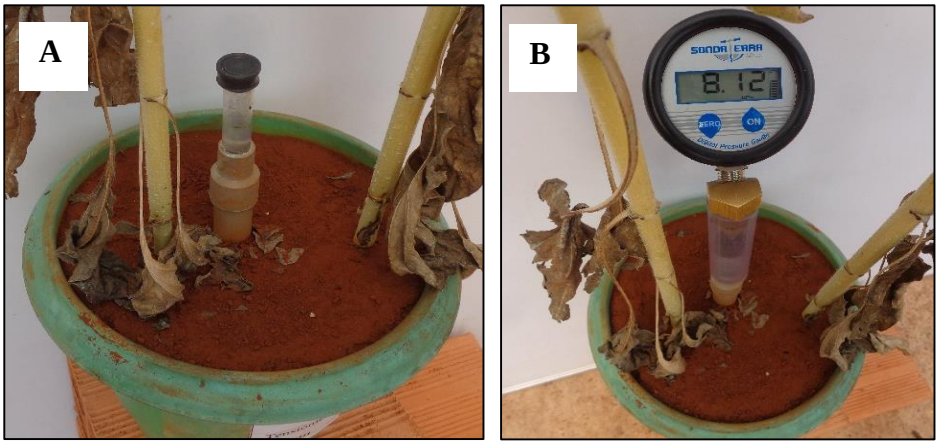

Figura 9. Tensiômetro instalado na parcela (A), leitura da tensão de água no solo com tensímetro digital (B).

Com as tensões observadas, eram calculadas as umidades correspondentes a partir da equação de van Genuchten. Sabendo-se a umidade atual do solo e a umidade volumétrica a 80% da capacidade de campo era calculado o volume de reposição de água (Equação 6). A aplicação de água foi realizada manualmente por meio da aferição do volume de água, em uma balança semi-analítica.

$$V = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) * 3180 \quad (6)$$

em que:

V - volume de água (cm³);

θ_{cc} - Umidade a 80% da capacidade de campo

θ_{atual} - Umidade na tensão de cada tratamento, (cm³ cm^{-3});

3180 – volume de solo no vaso, em cm³.

3.7 Sistema autoirrigante

A umidade do solo no tratamento com sistema autoirrigante subsuperficial, foi mantida com a reposição contínua de água de acordo com a necessidade da planta. Esse sistema foi constituído por uma cápsula de cerâmica porosa (vela de filtro com diâmetro de 0,05 m e altura de 0,07 m), inserida no solo na porção superior do vaso. Um microtubo flexível (diâmetro interno 0,005m e parede com espessura de 0,001 m) conectava a cápsula de cerâmica ao reservatório de nível constante (frasco Mariotte) situado abaixo do vaso (Figura 10).

Figura 10. Constituição do sistema autoirrigante.

O potencial de água no solo foi estabelecido pela altura da coluna de água entre o vaso e o reservatório (30 cm), correspondendo a uma tensão controlada de 3 kPa (Figura 11). Dessa forma, a evapotranspiração contínua da cultura garantia a reposição automática da água para o solo, tornando o sistema autoirrigante (BONFIM-SILVA et al., 2007). Uma escala de nível presa ao reservatório possibilitava a quantificação do consumo de água, por meio de leituras diárias, as 7 e as 14 h, em cada unidade experimental.

Figura 11. Altura de coluna de água do sistema autoirrigante.

3.8 Variáveis analisadas e análise estatística

As avaliações de crescimento e desenvolvimento das plantas de girassol e cártamo ocorreram aos 15, 22, 29, 43, 50, 57 dias após a emergência (DAE), ocasião em que foram avaliadas: altura das plantas, número de folhas, número de ramos, índice de clorofila foliar e diâmetro do caule. A altura de plantas foi determinada com o auxílio de uma trena graduada. Para a obtenção do índice relativo de clorofila foi utilizado o medidor eletrônico de índice de clorofila (ClorofiLOG CFL 1030 Falker, Porto Alegre, RS, Brasil), onde realizou-se uma leitura por folha em cinco folhas do terço médio localizadas na haste principal das plantas de girassol e cártamo, obtendo uma média do índice relativo de clorofila por unidade experimental. Para o diâmetro do caule das plantas de girassol e cártamo fez-se uso de um paquímetro digital, onde as medidas foram realizadas logo acima das folhas cotilédones (Figura 12).

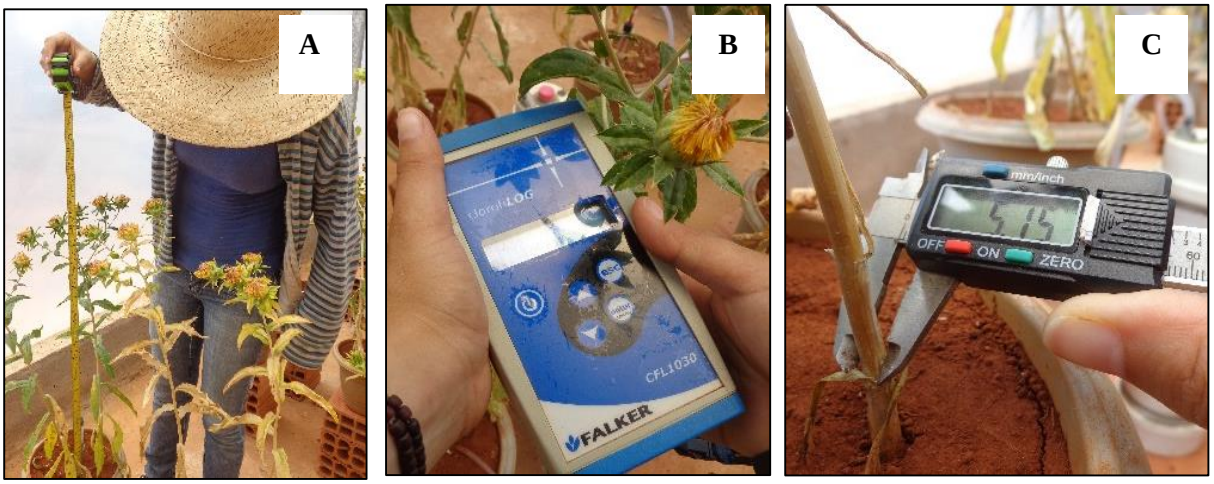

Figura 12. Altura de plantas (A), índice relativo de clorofila (B) e diâmetro de caule (C).

As leituras de condutância estomática foram realizadas no horário das 6:00 às 7:15 da manhã, nas folhas completamente expandidas do terço superior das plantas de girassol e cártamo, com o auxílio de um porômetro digital, modelo LI 1600, (Decagon Devices, Pullman, WA, USA), Figura 13.

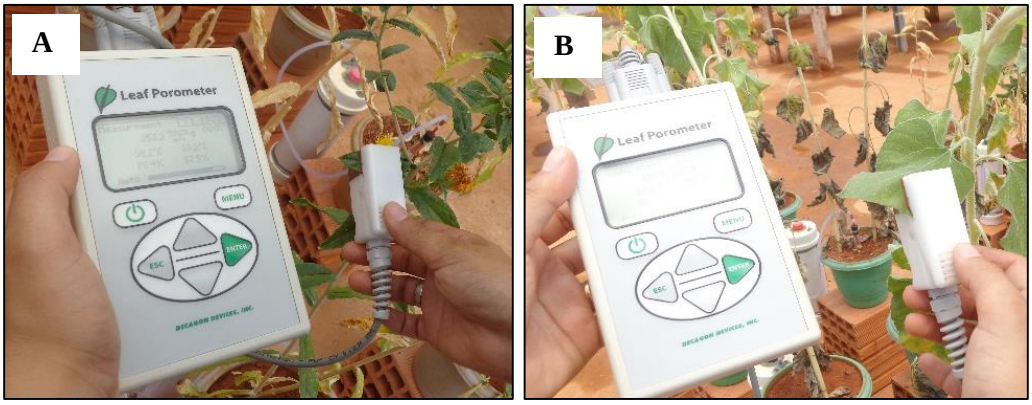

Figura 13. Leituras de condutância estomática em plantas de cártamo (A) e girassol (B).

A coleta do experimento foi realizada aos 69 dias após a emergência, ocasião em que as plantas de girassol (Figura 14 A) e cártamo (Figura 14 B) estavam em pleno florescimento, avaliando-se as seguintes variáveis: altura de plantas, número de folhas, diâmetro do caule e do capítulo, número de ramos primário, secundário e total (primário + secundário), índice relativo de clorofila, condutância estomática, massa seca das folhas, caule e capítulo, parte aérea (caule+folha+capítulo), raízes, total (caule+folha+capítulo+raízes). Para a obtenção da massa seca, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel em estufa de circulação de ar forçada por 72 horas a 65ºC, até a obtenção de massa constante.

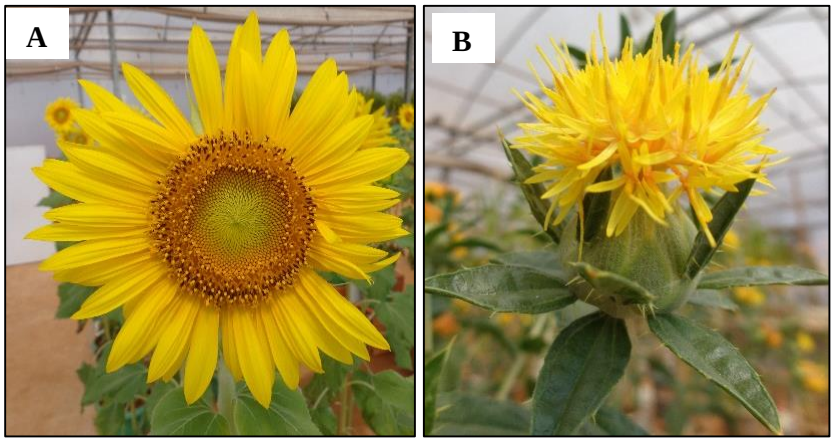

Figura 14. Florescimento de plantas de girassol (A) e cártamo (B).

Além destes fatores também foram avaliados o volume de água consumido ao longo do período experimental e a eficiência do uso da água em função da produtividade (Equação 7).

$$EUA = \frac{Y}{CA} \quad (7)$$

em que:

EUA - eficiência do uso da água (g L^{-1})

Y - produtividade, g $planta^{-1}$

CA - consumo de água (L $planta^{-1}$)

Os dados das análises foram submetidos a análise de variância e quando significativos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Girassol

4.1.1 Número de folhas

O número de folhas, ao longo do período avaliado, apresentou efeitos significativos aos métodos de manutenção de umidade do solo (Tabela 2). Observou-se ainda, que em todos os tratamentos houve um aumento exponencial do número de folhas no estádio vegetativo até início do reprodutivo e a partir desse período ocorreu uma estabilização na formação de novas folhas, com potencial destaque ao sistema autoirrigante, o qual apresentou os maiores valores em todas avaliações. Na ocasião da colheita do experimento aos 69 DAE as maiores produções foram observadas no sistema autoirrigante (55,63) e método gravimétrico (51,13).

Tabela 2. Número de folhas de plantas do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	----------Vegetativo----------			----------Reprodutivo----------		
Métodos	15 DAE	22 DAE	29 DAE	43 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	13,38b	25,25a	29,50b	38,13b	49,50ab	51,13ab
Tensiômetro	17,88b	25,00a	29,38b	38,75b	45,38bc	47,38b
Irrigas	17,50b	20,38b	26,88c	39,88ab	44,00c	46,88b
Autoirrigante	19,63a	25,63a	32,13a	42,13a	53,25a	55,63a
CV (%)	4,97	7,58	4,70	6,21	6,70	8,64
MÉDIA	18,09	24,06	29,47	39,72	48,78	50,25*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Tal resultado revela, que nesta característica morfológica, a manutenção constante do conteúdo de água no solo (sistema autoirrigante) foi favorável ao aumento da produção de folhas do girassol, quando comparado aos demais tratamentos em que o volume de água só era adicionado no momento da irrigação.

Referidos resultados são condizentes com os observados por Paiva Sobrinho et al. (2011), que analisando o desenvolvimento inicial de plantas de girassol, verificaram acréscimo na produção de folhas por planta onde a disponibilidade de água no solo foi maior.

Além disso, Silva et al. (2012) avaliando o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do girassol cultivado sob déficit hídrico, também verificaram maior número de folhas no tratamento em que a cultura não sofreu nenhum déficit hídrico ao longo do seu desenvolvimento.

Tais resultados ainda corroboram com as informações de Nezami et al. (2008), que mensuraram o número de folhas do girassol, após o período de crescimento vegetativo e constataram decréscimo do número de folhas onde a disponibilidade de água no solo foi menor Segundo Nazarli et al. (2010) as folhas são fontes primárias de produção de substâncias fotossintéticas necessárias ao enchimento dos aquênios, sendo assim, situações de menor conteúdo de água no solo irão resultar em diminuição do desempenho produtivo desta espécie..

4.1.2 Altura de plantas

As alturas de plantas de girassol apresentaram efeito significativo aos métodos de manutenção de umidade do solo no estádio vegetativo, não sendo observado significância no estádio reprodutivo (Tabela 3).

Tabela 3. Altura de plantas (cm) do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	----------Vegetativo----------			----------Reprodutivo----------			
Métodos	15 DAE	22 DAE	29 DAE	43 DAE	50 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	12,94c	26,08b	39,36b	83,25a	92,59a	96,90a	96,97a
Tensiômetro	14,62b	27,58ab	41,24ab	79,06a	87,97a	90,59a	90,91a
Irrigas	13,56bc	25,53b	39,14b	82,44a	89,56a	92,81a	92,78a
Autoirrigante	16,19a	30,23a	44,69a	79,56a	87,63a	91,66a	91,65a
CV (%)	7,65	8,56	8,47	9,66	6,31	5,65	5,75
MÉDIA	14,33*	27,35*	41,10*	81,08^{ns}	89,44^{ns}	92,99^{ns}	93,08^{ns}

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Atribui-se ao crescimento e desenvolvimento da inflorescência, em detrimento da altura, a não detecção de diferenças significativas nas taxas de crescimento das plantas. Portanto, a altura de plantas não foi uma variável muito sensível aos efeitos dos métodos de manutenção

da umidade do solo a partir do momento que a cultura passou a mobilizar energia para formação dos capítulos.

Diferindo dessas constatações Saensee et al. (2012) relataram que o parâmetro altura de plantas é um índice adequado, para estimar a sensibilidade das plantas de girassol ao estresse hídrico, ao longo do desenvolvimento da cultura.

Dos métodos analisados, o sistema autoirrigante destacou-se obtendo os maiores valores 44,69 cm aos 29 DAE, que diferiu estatisticamente daquele verificado nos demais, com exceção do tensiômetro, o qual se assemelhou ao tensiômetro e o Irrigas.

Provavelmente, a variação da disponibilidade de água no solo, provida ao método gravimétrico e sensor Irrigas, levou a redução do potencial de água nas células do caule, fazendo com que ocorresse um menor alongamento celular e dos entrenós, culminando em menor crescimento das plantas (NEZAMI et al., 2008).

Esses resultados corroboram com a pesquisa de Ahmad et al. (2009), que estudando a resposta de seis híbridos de girassol ao estresse hídrico, relataram que a altura de plantas e matéria seca em todos os híbridos avaliados diminui com o aumento do estresse hídrico.

Assim como, Silva et al. (2007) que estudando o crescimento e produtividade do girassol cultivado com diferentes lâminas de água, notaram que o aumento do suprimento de água incrementava o parâmetro altura de plantas, com valores médios de 151 cm na cultivar Hélio 251, deve-se ressaltar que os autores avaliaram o desenvolvimento do girassol em condições de campo, o que pode justificar respostas diferenciadas entre os estudos.

4.1.3 Índice relativo de clorofila

Em relação ao índice relativo de clorofila, foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os métodos analisados, notando-se entre as épocas de avaliação os valores máximos de 39,44 obtidos aos 22 DAE, diminuindo durante os períodos de avaliação, até atingir o valor mínimo de 28,68 aos 69 DAE (Tabela 4). A diminuição do índice relativo de clorofila, pode ser explicada por ocasião da planta aos 34 DAE, se encontrar em estádio reprodutivo, onde os fotoassimilados foram transportados para a formação das inflorescências, fazendo com que o teor de clorofila das folhas diminuísse.

Corroborando com estes relatos, Dordas e Sioulas (2008) verificaram diminuição do teor de clorofila do estádio de antese (65,50) ao estádio de maturação fisiológica das plantas

(49,94). Referidos autores atribuem essa diminuição à realocação do nitrogênio nas plantas, sendo este nutriente remobilizado para formação e desenvolvimento dos aquênios.

Tabela 4. Índice relativo de clorofila das plantas de girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	---------Vegetativo---------		----------Reprodutivo----------		
Métodos	15 DAE	22 DAE	50 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	35,63b	39,34a	32,04b	35,05ab	32,53ab
Tensiômetro	36,49b	39,44a	33,35ab	35,30ab	34,20a
Irrigas	38,94a	39,43a	34,41a	35,74a	36,10a
Autoirrigante	36,24b	36,34b	31,81b	32,59b	28,68b
CV (%)	4,54	3,43	3,65	6,33	9,88
MÉDIA	36,82	38,63	32,90	34,67	32,88*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Estudando o efeito dos tratamentos aos 69 DAE (ocasião da colheita) constatou-se que o índice relativo de clorofila no método Irrigas superou em 20,55% o valor obtido no sistema autoirrigante, o qual proporcionava a manutenção constante da umidade do solo.

Os maiores índices relativo de clorofila observados no sistema Irrigas, método de menor conteúdo de água no solo, corroboram com Oraki et al. (2012), os quais relataram que em condições de menor disponibilidade de água notou-se aumento do teor de clorofila em todos os híbridos de girassol analisados, com média de 49,02 no tratamento mantido a menor conteúdo de água no solo.

Em adição, Dutra et al. (2012) também observaram diminuição do índice relativo de clorofila em plantas de girassol, nos tratamentos de maior disponibilidade de água no solo, assemelhando-se ao sistema autoirrigante. Segundo os autores, possivelmente, o maior conteúdo de água no solo provocou o aumento da senescência foliar, por elevar a concentração de ABA e etileno, induzindo o aumento da clorose devido à degradação da clorofila.

Babaeian et al. (2011), em pesquisa do efeito do estresse hídrico e micronutrientes no conteúdo de clorofila total em plantas de girassol, verificaram aumento do conteúdo de clorofila em plantas de girassol sob condições de baixa umidade do solo.

Em contrapartida, essas observações discordam dos relatos de Ghobadi et al. (2013), que pesquisando o efeito das condições hídricas nas características fotossintéticas de plantas de

girassol, observaram que a eficiência fotoquímica foi reduzida significativamente, em resposta ao estresse hídrico.

Salienta-se ainda, que o teor de clorofila nas folhas, medido indiretamente pelo índice relativo de clorofila apresenta correlação significativa com o teor de N nas plantas (ROCHA et al., 2005; FERREIRA et al., 2006).

4.1.4 Diâmetro de caule

Quanto ao diâmetro de caule, a aplicação contínua de água do sistema autoirrigante propiciou os melhores resultados ao longo das épocas de avaliação. Aos 43 DAE notou-se os maiores valores 10,93 mm no sistema autoirrigante, o qual não diferiu estatisticamente do método gravimétrico e tensiômetro. Podendo-se inferir que menores conteúdo de água no solo, método Irrigas, promovem menores desenvolvimento do caule (Tabela 5).

Tabela 5. Diâmetro de caule (mm) das plantas do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	-------Vegetativo-------		----------Reprodutivo----------			
Métodos	22 DAE	29 DAE	43 DAE	50 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	8,21b	9,28ab	10,50a	10,27a	10,21a	9,87ab
Tensiômetro	8,01bc	9,02bc	10,25a	10,00a	10,00a	9,78ab
Irrigas	7,20c	8,32c	9,36b	9,16b	9,16b	9,09b
Autoirrigante	9,19a	9,86a	10,93a	10,73a	10,62a	10,51a
CV (%)	7,82	6,46	5,56	5,55	5,61	6,95
MÉDIA	8,15	9,12	10,26	10,01	9,99	9,81*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Os maiores resultados de diâmetro de caule observados no sistema autoirrigante, podem estar relacionados com a produção de etileno, pois quando há excesso de água, este hormônio é produzido em maior quantidade, o que leva o aumento do desenvolvimento do caule (DUTRA et al., 2012).

Em concordância com estes resultados, Paiva Sobrinho et al. (2011), analisando o efeito do estresse hídrico em duas cultivares de girassol, observaram que a redução dos níveis de água no solo induz a um menor desenvolvimento do diâmetro de caule.

Farahvash et al. (2011) relataram que a redução dos níveis de água no solo promove a diminuição do diâmetro do caule em plantas de girassol, provavelmente devido, à diminuição da divisão celular.

Resultados semelhantes obtiveram Gomes et al. (2012), trabalhando com lâminas de irrigação sob o desenvolvimento do girassol, que averiguaram incrementos no diâmetro do caule com o aumento dos níveis de água no solo.

Iqbal et al. (2009), analisando a influência do conteúdo de água no solo, em diferentes caracteres agronômicos de plantas de girassol, relataram que o parâmetro diâmetro do caule, foi significativamente influenciado pela disponibilidade de água ás plantas, sendo este um critério eficiente para seleção de plantas de girassol.

4.1.5 Condutância estomática

A variável condutância estomática não apresentou diferença significativa aos métodos de manutenção de umidade do solo, ao decorrer dos períodos de avaliação, com média geral de 180,18; 242,78 e 264,81 aos 29, 50 e 69 DAE, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Condutância estomática (mmol m^{-2} s^{-1}) das plantas do girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	Vegetativo	----------Reprodutivo----------	
Métodos	29 DAE	50 DAE	69 DAE
Gravimétrico	184,09a*	235,78a	271,84a
Tensiômetro	179,83a	238,03a	305,46a
Irrigas	170,33a	251,55a	241,39a
Autoirrigante	186,50a	245,75a	240,55a
CV (%)	11,28	19,69	28,18
MÉDIA	180,18^{ns}	242,78^{ns}	264,81^{ns}

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Em conformidade, Silva et al. (2013a) em estudo das trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica, não observaram diferenças significativas na condutância estomática entre os 52 e 68 dias após a semeadura.

Por outro lado, Orta et al. (2002) pesquisando o efeito do déficit de água em plantas de girassol relataram que a resistência estomática apresentou efeito significativo ao conteúdo de água no solo.

A mensuração desta variável é importante, pois reduções na condutância estomática limitam a perda de água e, geralmente reduz as trocas gasosas como forma de resposta das plantas a diversos fatores, sendo comumente utilizado com indicador da disponibilidade de água no solo (PAIVA et al., 2005).

4.1.6 Diâmetro de capítulo

No que se refere ao diâmetro de capítulo, não houve influência significativa dos métodos de manutenção de água no solo, com média geral do experimento na ordem de 43,74 mm aos 69 DAE (Tabela 7).

Tabela 7. Diâmetro de capítulo (DCAP) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variáveis	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
DCAP (mm)	45,35a*	43,99a	44,40a	41,23a	8,21	43,74^{ns}

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Pivetta et al. (2012) aferiram os parâmetros produtivos e qualitativos entre seis híbridos de girassol e verificaram aos 108 dias após emergência, que os híbridos apresentaram diâmetro de capítulo, em média de 15,76 cm, valor este inferior aos relatados no presente trabalho.

Em adição, Ghaffari et al. (2012) verificaram as características morfológicas e fisiológicas entre dezesseis genótipos de girassol sob condições de estresse hídrico e relataram efeito significativo das disponibilidades de água no solo no diâmetro de capítulo das plantas de girassol.

Silva et al. (2007) compararam o crescimento e produtividade do girassol sob lâminas de água, observando diferença significativa no diâmetro interno e externo dos capítulos do girassol, em função dos níveis de água aplicados. Os autores ainda relataram a possibilidade de obtenção de maior produção de grãos em função de maiores tamanhos médios de capítulos.

4.1.7 Massa seca dos capítulos

Os métodos de manutenção da umidade do solo influenciaram significativamente a massa seca de capítulos, com maiores valores médios observados no método gravimétrico, apesar de não diferir estatisticamente do tensiômetro e Irrigas, ressalta-se ainda que a menor média foi verificado no sistema autoirrigante (12,43 g), inferior em 36,35% quando comparado ao valor obtido no método gravimétrico (19,53 g), Tabela 8.

Tabela 8. Massa seca dos capítulos (MSCAP) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSCAP (g vaso^{-1})	19,53a	18,97a	19,11a	12,43b	11,13	17,51*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Esses resultados são condizentes com o índice relativo de clorofila, onde as menores médias foram também observadas no sistema autoirrigante, sinalizando que o teor de clorofila, influenciou na formação e desenvolvimento dos capítulos das plantas de girassol. Em concordância com essas informações Biscaro et al. (2008), conduzindo experimento na cultura do girassol irrigado, relataram que o nitrogênio, constituinte da molécula da clorofila, é fundamental nas funções do metabolismo das plantas de girassol, sendo o nutriente que mais limita a produção da cultura. Os autores ainda verificaram, efeito positivo nas características produtivas, diâmetro do capítulo e na massa de 100 aquênios, em decorrência da aplicação de nitrogênio.

Tal constatação, ainda corrobora com os relatos de Zobiole et al. (2010) ao mencionarem que a formação capítulos e por conseguinte de aquênios, consisti na translocação de fotoassimilados, provenientes de reservas acumuladas, principalmente nas folhas e caule das plantas de girassol.

Oliveira et al. (2012) pesquisando a fitomassa de girassol cultivado sob níveis de água disponível no solo (50, 60, 70, 80, 90 e 100%) e adubação nitrogenada, averiguaram que os níveis de água disponível no solo, monitorados pela sonda Diviner, influenciaram o comportamento da fitomassa seca das plantas, verificando que cada elevação no nível de água disponível em 10% proporcionou incremento na ordem de 1,68g na massa seca de capítulos.

4.1.8 Massa seca das folhas

Em relação à variável massa seca das folhas, nota-se na Tabela 9, que a mesma foi influenciada pelos métodos de manutenção de umidade do solo aos 69 dias após a emergência. O sistema autoirrigante e o método gravimétrico estatisticamente obtiveram as maiores médias de massa seca das folhas em relação aos métodos tensiômetro e Irrigas.

Tabela 9. Massa seca das folhas (MSF) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSF (g vaso^{-1})	13,48a	11,92b	10,80b	13,85a	8,34	12,51*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Admite-se que conforme ocorreu com o número de folhas, as plantas de girassol apresentaram para esta variável, resposta positiva à manutenção da umidade do solo pelo sistema autoirrigante. Esses resultados podem significar que, a irrigação constante do sistema autoirrigante proporcionou que os estômatos permanecessem abertos, por um período maior de tempo, fixando maior quantidade de CO_2, responsável pelo aumento da matéria seca das folhas nas plantas submetidas a este tratamento (NAZARLI et al., 2010).

Essas informações condizem com os relatos de Silva et al. (2012), ao discorrerem que o maior número e massa seca das folhas de girassol foram observadas nos tratamentos que não foram submetidos à deficiência hídrica durante o estádio vegetativo.

Ebrahimi et al. (2014) investigando as respostas fisiológicas de girassol ao estresse hídrico sob diferentes doses de zinco, também relataram efeito significativo da massa seca das folhas à disponibilidade de água no solo.

Os resultados da massa seca de folhas também são condizentes com Canavar et al. (2014a), que reportaram influência significativa da manutenção de água no solo (30 e 60% da capacidade de campo) pelo método gravimétrico, em experimento com quatro genótipos de girassol sob condições controladas, aos 50 dias após a semeadura.

4.1.9 Massa seca do caule

As plantas de girassol apresentaram maior massa seca do caule, quando submetidas ao método gravimétrico, observa-se também que os demais métodos, tensiômetro, sistema autoirrigante e Irrigas, não apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 10). Possivelmente, o menor consumo de água verificados nos tratamentos tensiômetro, sistema autoirrigante e sensor Irrigas, induziu a redução da fotossíntese das plantas, seguido de diminuição da área fotossintética (HEMMATI; SOLEYMANI, 2014) afetando a produção de biomassa do caule.

Tabela 10. Massa seca do caule (MSC) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSC (g vaso^{-1})	19,09a	15,67b	14,60b	15,58b	11,96	16,53*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Em conformidade, Boareto et al. (2012) reportaram efeito significativo do conteúdo de água no solo sobre a fitomassa do caule. Os autores atribuíram esse comportamento a diminuição da evapotranspiração da cultura, em condições de solo com baixa umidade, o que foi positivamente relacionada ao acumulo de fitomassa do caule.

Tendência similar também foi constatada por Canavar et al. (2014a), utilizando o método gravimétrico para manutenção da umidade do solo no cultivo do girassol, em condições controladas. Os pesquisadores notaram influência significativa dos níveis de água na produção de massa seca de caule, com incremento de 49,50% no nível de 60% da capacidade de campo, quando comparado ao tratamento com estresse hídrico.

Oliveira et al. (2012) também observaram, efeitos diferenciados sobre a produção de massa seca do caule de girassol em decorrência de níveis de aplicação de água, verificando que menores conteúdo de água no solo resultaram em menor fitomassa do caule. Além disso, os autores mencionam que a fitomassa do caule funciona como um compartimento de armazenamento temporário para fotossintatos, portanto, imposição de déficit hídrico, irão resultar em menor fitomassa seca das plantas.

4.1.10 Massa seca da raiz

Os métodos de manutenção de água no solo influenciaram de maneira significativa a massa seca da raiz do girassol, haja vista a maior produção observada no método gravimétrico (11,76 g vaso^{-1}) superior estatisticamente ao sistema autoirrigante (8,79 g vaso^{-1}), o qual não diferiu do tensiômetro e Irrigas (Tabela 11).

Tabela 11. Massa seca da raiz (MSR) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSR	11,76a	7,87b	7,70b	8,79b	20,56	9,03*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Esse fato, é evidenciado pela distribuição do sistema radicular nos vasos, uma vez que as plantas submetidas ao sistema autoirrigante concentraram a massa de raiz próximo a capsula porosa (Figura 15A), ao contrário do método gravimétrico, onde o volume de água era distribuído por gravidade de maneira uniforme em todo vaso, fazendo com que o sistema radicular explorasse maior volume de solo, consequentemente maior fitomassa de raiz (Figura 15).

Corroborando com os referidos resultados, Meo (2000) ao desenvolver experimentos em vasos para monitorar o impacto do estresse hídrico e adubação nitrogenada no desenvolvimento de plantas de girassol, constatou efeito significativo do estresse hídrico no sistema radicular das plantas, evidenciando que a diminuição da disponibilidade de água no solo promove o menor crescimento e desenvolvimento das raízes.

Paiva Sobrinho et al. (2011) encontraram efeito significativo do desenvolvimento do sistema radicular das plantas de girassol, quando submetidas aos níveis de água no solo. Além disso, o maior valor de massa seca de raiz foi obtido no tratamento equivalente a 75,17% da capacidade de campo, o que confirma os resultados do presente estudo, onde o método gravimétrico, melhor desenvolvimento do sistema radicular, também foi mantido a umidade de 80% da capacidade de campo.

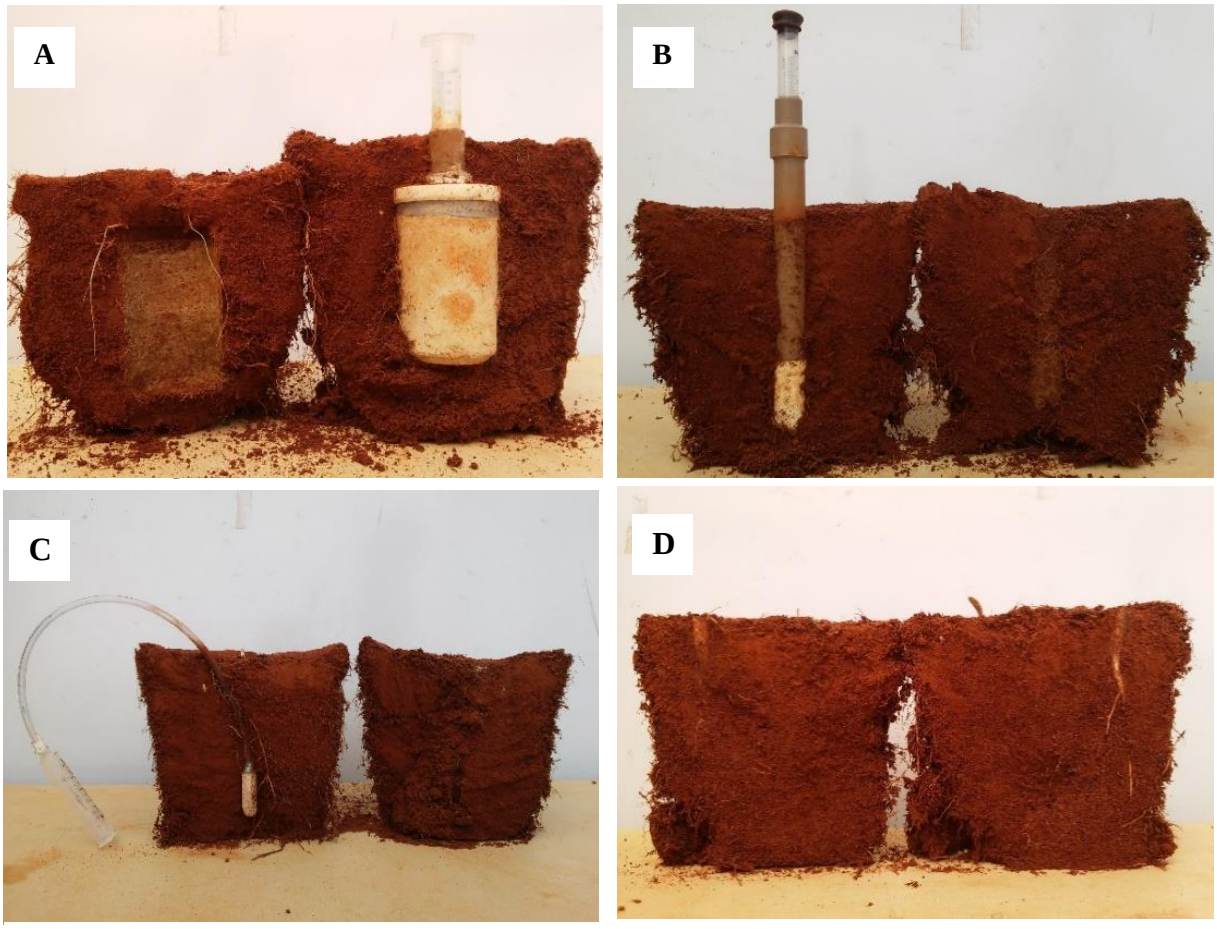

Figura 15. Sistema radicular das plantas de girassol no sistema autoirrigante (A); tensiômetro (B); Irrigas (C) e método gravimétrico (D).

4.1.11 Massa seca da parte aérea e total

No que se refere a massa seca da parte aérea e total das plantas de girassol, nota-se resultado semelhante da influência dos métodos de manutenção de água no solo, haja vista, as maiores produções observadas no método gravimétrico, superior em 19,65 e 20,68% ao sistema irrigante, nos parâmetros massa seca da parte e total, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12. Massa seca parte aérea (MSPA) e total (MST) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSPA	52,10a	46,56b	44,51b	41,86b	7,77	46,26*
MST	63,86a	54,43b	52,21b	50,65b	8,56	55,29*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Tendência similar também foi detectada por Gomes et al. (2012) em pesquisa sobre a produtividade de grãos, óleo e massa seca de girassol em função de diferentes lâminas de irrigação. Os autores registraram incrementos na massa seca, na ordem de 29,62%, quando comparados a maior e menor disponibilidade hídrica no solo.

Farahvash et al. (2011) reportaram que a diminuição da massa seca total de plantas de girassol, é resultado do déficit hídrico durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas, havendo a diminuição da área foliar e do processo fotossintético, o que faz com que ocorra menor produção de fotoassimilados e menor desenvolvimento das folhas, caule e capítulos.

Esses relatos, estão em conformidade com as informações de Castro et al. (2006), que analisando o controle da umidade do solo ao logo do desenvolvimento da cultura do girassol, em ambiente controlado, encontraram redução da massa seca total das plantas em todas as fases de aplicação do déficit hídrico.

Nobre et al. (2010) também averiguaram efeito significativo do conteúdo de água no solo sobre a fitomassa seca da parte aérea de plantas de girassol. Os autores observaram ajuste a modelo linear de regressão e acréscimo de 140% da fitomassa seca da parte área das plantas quando comparado a condição de hipóxia com a reposição de 80% da necessidade hídrica da cultura. Corroborando com os resultados do presente trabalho, onde as maiores produções de fitomassa foram verificadas no método gravimétrico, o qual mantinha o solo a 80% da capacidade de campo.

4.1.12 Consumo de água

Observou-se variação expressiva no consumo de água pelas plantas de girassol, em função da metodologia empregada para a manutenção da umidade do solo. Entre os métodos, o maior consumo de água foi de 27,39 L no método gravimétrico, que diferiu estatisticamente dos valores verificados nos demais, com exceção do tensiômetro, o qual se assemelhou ao sistema autoirrigante (Tabela 13).

Deve-se referenciar, que entre os tratamentos, somente a irrigação realizada no método gravimétrico, não era baseada na tensão de água no solo, mas sim no teor de água em massa, o que subsidiou o acréscimo do conteúdo de água em capacidade de campo (CC). Souza et al. (2000) atribuem a superioridade da faixa de água disponível no solo pelo método gravimétrico, em função da determinação da CC, uma vez que o solo, após saturado apenas sofre ação do

potencial gravitacional, força esta, certamente menos expressiva que a tensão de 5 kPa (PORTO et al., 2014) preestabelecida para os demais métodos baseados na tensão de água no solo, o que proporcionou aumento do volume de água no solo em CC e por conseguinte maior consumo hídrico.

Tabela 13. Consumo de água (CA) das plantas de girassol submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
CA (L)	27,39a	25,55ab	22,96c	24,73bc	6,75	25,16*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Flénet e Saraiva (1996) investigando a resposta da cultura do girassol a diferentes teores de água do solo, também observaram efeito significativo do consumo de água pelas plantas, relatando maiores consumos no tratamento que mantinha o solo sob capacidade de campo.

Acosta (2009), desenvolvendo experimentos em campo, na região da Chapada do Apodi – RN, verificou consumo hídrico na cultura do girassol referente a 554,1 mm para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, sendo consumidos 35,6 e 35,3% durante o período de desenvolvimento vegetativo e floração, respectivamente.

4.1.13 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água para a massa seca dos capítulos apresentou efeito significativo quando submetida aos métodos de manutenção de água no solo. Notou-se que o Irrigas apresentou a maior média (0,83 g L^{-1}) com incremento de 39,76% em relação ao sistema autoirrigante (0,50 g L^{-1}), Tabela 14.

Tabela 14. Eficiência do uso da água da massa seca dos capítulos das plantas de girassol, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSCAP (g L^{-1})	0,71b	0,74b	0,83a	0,50c	9,31	0,69*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Esse efeito pode estar relacionado ao acúmulo de nutrientes pelas plantas, influenciando a produção de massa seca de capítulos, onde para ambas as características o Irrigas apresentou as maiores médias. Assim, as maiores concentrações de clorofila, proporcionaram maior desenvolvimento dos capítulos. Esses resultados aliados ao menor consumo de água indicado pelo sensor Irrigas, fizeram com que este método obtivesse a maior eficiência do uso da água, propiciando uma produção de 0,83 g de massa seca de capítulos para cada 1 L de água consumido.

Steduto e Albrizio (2005) investigando a eficiência do uso da água em plantas de metabolismo C3 e C4, observaram influência significativa da variação do conteúdo de água no solo sobre a eficiência do uso da água em plantas de girassol. Referidos pesquisadores também definem a eficiência do uso da água, como um parâmetro que relaciona a assimilação de carbono pelas plantas, com a evapotranspiração acumulada ao final do ciclo, constituindo uma característica de grande importância na avaliação do ganho de biomassa nas culturas.

Diferindo dos resultados obtidos no presente trabalho, Göksoy et al. (2004) pesquisando as respostas do girassol sob níveis de água no solo em diferentes estádios de crescimento da cultura, não verificaram diferença significativa da eficiência do uso da água para a produção de sementes, acrescentando que a floração é a etapa mais sensível ao déficit hídrico.

Em adição, Naim e Ahmed (2010) relataram efeito significativo na eficiência do uso da água para produção de aquênios de girassol em função de diferentes disponibilidades hídricas no solo, onde o tratamento de menor consumo de água pelas plantas, obteve a maior eficiência do uso da água.

4.2 Cártamo

4.2.1 Número de folhas

A análise de variância para o fator número de folhas revelou efeito significativo aos métodos de manutenção de umidade do solo. Observa-se ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (15 a 29 DAE) um aumento gradativo na formação de novas folhas, com potencial destaque ao sistema autoirrigante. Na ocasião da colheita (69 DAE) o método gravimétrico sobressaiu aos demais, apresentando um acumulado de 188,88 folhas, valor este, superior estatisticamente ao tensiômetro, que por sua vez não diferiu do Irrigas e do sistema autoirrigante (Tabela 15).

Tabela 15. Número de folhas de cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	-------Vegetativo-------		----------Reprodutivo----------	
Método	15 DAE	22 DAE	29 DAE	69 DAE
Gravimétrico	20,50b	42,75c	52,13c	188,88a
Tensiômetro	22,00ab	49,50b	62,63ab	128,12b
Irrigas	22,75ab	44,00bc	56,88bc	123,25b
Autoirrigante	24,38a	57,50a	66,75a	97,25b
CV (%)	8,32	9,18	9,83	21,90
Média	22,41	48,53	59,59	134,38*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Atribui-se a estes resultados, as diferenças no volume e frequência de irrigação dos métodos de manutenção de umidade do solo. Onde nos períodos de desenvolvimento inicial da cultura (15 a 29 DAE) o cártamo foi significativamente influenciado pela manutenção constante do potencial de água no solo (sistema autoirrigante), favorecendo a formação de novas folhas. Com o avanço dos estados fenológicas, em virtude das características intrínsecas da cultura de apresentar tolerância ao déficit hídrico, a manutenção de água no solo, não foi mais benéfica ao seu desenvolvimento, fazendo com que o tratamento que alternasse a disponibilidade de água no solo (método gravimétrico) favorecesse o desenvolvimento e formação de novas folhas.

Por outro lado, a redução do número de folhas no método Irrigas, pode ser entendido como uma tentativa da planta, em mitigar a perda de água no solo. Onde reduzindo a formação de novas folhas, diminui consequentemente a superfície transpirante, consumindo desse modo menor volume de água.

Em conformidade, Bahrami et al. (2013) avaliando o efeito de diferentes níveis de umidade do solo nas características foliares, em 20 cultivares de cártamo, relataram que a expansão foliar é sensivelmente influenciado pelo déficit hídrico, sugerindo que a espessura da folha, largura e diâmetro do xilema, podem fornecer um critério eficaz de resistência à seca, para uso em programas de melhoramento genético de plantas.

Esses resultados, diferem dos reportados por Göksoy et al. (2004), que avaliando as respostas do girassol a níveis de disponibilidade de água no solo, pelo método gravimétrico em condições controladas, não reportaram diferença significativa da umidade do solo na produção de folhas.

Em adição, Orange e Ebadi et al. (2012) relataram que o déficit hídrico, influencia a divisão celular e por consequência o crescimento e desenvolvimento das plantas de cártamo culminado na redução do número de folhas e componentes de produção, como rendimento de sementes.

4.2.2 Altura de plantas

O parâmetro altura de plantas, foi estatisticamente influenciado pelos métodos de manutenção do conteúdo de água no solo em todas as épocas avaliadas. Notou-se aos 22 DAE maior crescimento nas plantas submetidas ao sistema autoirrigante e tensiômetro, diferindo estatisticamente do método gravimétrico, o qual se assemelhou ao Irrigas (Tabela 16). Comportamento este alterado ao longo do desenvolvimento da cultura, registrando-se ao término do estádio de floração (69 DAE), maior altura de plantas (73,75 cm) nas plantas submetidas ao método gravimétrico (Figura 16).

O menor crescimento das plantas, constatado no sensor Irrigas, corrobora com as informações de Hossein e Sam-Daliri (2011) que reportaram que, sob condições de menor disponibilidade de água no solo, a absorção de nutrientes pelas plantas é limitada, influenciando nos processos fisiológicos de tamanho e volume das células, o que culmina na redução de crescimento das plantas.

Tabela 16. Altura de plantas do cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	-------Vegetativo-------			----------Reprodutivo----------			
Métodos	15 DAE	22 DAE	29 DAE	43 DAE	50 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	16,23c	20,13b	43,01bc	71,50a	73,19a	75,88a	73,75a
Tensiômetro	17,83bc	25,61a	47,01ab	67,00a	67,56a	67,44b	66,75b
Irrigas	19,28ab	20,68b	38,73c	56,75b	57,44b	59,13c	57,00c
Autoirrigante	20,15a	29,54a	52,90a	67,00a	66,81a	67,19b	66,50b
CV (%)	7,26	14,36	10,13	7,37	8,72	6,07	7,67
MÉDIA	18,37	23,99	45,43	65,56	66,25	67,41	66,00*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

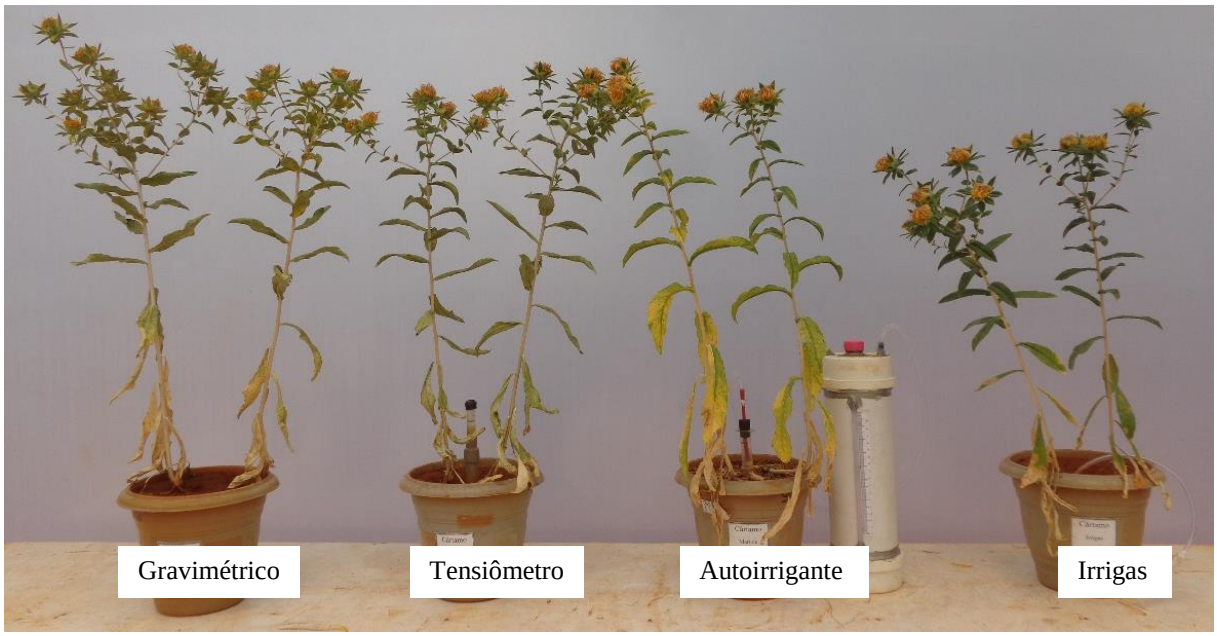

Figura 16. Altura de plantas de cártamo submetidas a métodos de manutenção de umidade do solo aos 69 DAE.

Em conformidade, Omidi et al., (2012) em experimento analisando as características morfológicas e produtivas de cultivares de cártamo sob níveis de água no solo, relataram influência significativa do conteúdo de água no solo na altura de plantas de cártamo.

Tais resultados são ainda semelhantes aos relatados por Ada (2012) que estudando o desenvolvimento e produção de genótipos de cártamo, submetidos a diferentes condições de semeadura na região da Turquia, verificaram altura média das plantas referentes a 75,3 cm

quando cultivadas nas estações de primavera e inverno, valor este próximo ao observados no presente estudo.

Diferindo dos resultados observados, Khoshnam et al. (2012) em pesquisa dos efeitos do estresse hídrico e densidade de plantio sobre os componentes morfológicos e produtivos da cultura do cártamo, não observaram diferença significativa da umidade do solo sobre a altura das plantas.

Em adição, Tahmasebpour et al. (2011) afirmaram que a altura de plantas de cártamo foi significativamente afetada pelo déficit hídrico no solo, principalmente na fase vegetativa de alongamento do caule. Os autores relataram ainda, que menores disponibilidades de água, no período de floração, não tiveram efeito sobre a altura de plantas, visto que o período de crescimento vegetativo tinha encerrado e as plantas estavam em fase reprodutiva, investimento em formação e desenvolvimento de capítulos e sementes.

4.2.3 Índice relativo de clorofila

O índice relativo de clorofila aos 15, 22, 50, 57 e 69 DAE variou significativamente em função dos métodos de manutenção de água no solo. Destes, o Irrigas demonstrou superioridade em todas as épocas de avaliação, apresentando maior valor (72,51) aos 50 DAE decrescendo para 55,25 aos 69 DAE. Fato esse relacionado a intensa atividade fotossintética das folhas, com vistas a transportar fotoassimilados para a formação da inflorescência, a qual teve início em média aos 44 DAE, diminuindo os teores de clorofila das folhas, no período de maturação fisiológica (Tabela 17).

Tais resultados assemelham-se aos obtidos por Dordas e Sioulas (2008) que aferiram diminuição do teor de clorofila nas plantas de cártamo, do estádio de antese (65,50) ao estádio de maturação fisiológica das plantas (49,94). Os autores atribuem este fato, a realocação do nitrogênio nas plantas, sendo este nutriente remobilizado para formação e desenvolvimento dos aquênios.

Dos resultados constatou-se ainda, que ao final do período de avaliação (69 DAE) os tratamentos Irrigas, método gravimétrico e tensiômetro, obtiveram as maiores médias 55,25; 53,25; 48,78, respectivamente, diferindo estatisticamente do sistema autoirrigante (24,43). Provavelmente, a manutenção constante da umidade do solo, provida as parcelas do sistema autoirrigante ocasionou menor absorção do nitrogênio, o qual é constituinte da molécula da clorofila.

Tabela 17. Índice relativo de clorofila de plantas do cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	-------Vegetativo-------		----------Reprodutivo----------		
Métodos	15 DAE	22 DAE	50 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	40,51b	49,80b	64,98b	60,89a	53,25a
Tensiômetro	40,80b	53,75a	65,33b	59,03a	48,78a
Irrigas	43,00a	52,94ab	72,51a	68,21a	55,25a
Autoirrigante	41,95ab	52,86ab	53,54c	40,33b	24,43b
CV (%)	3,65	5,00	7,99	12,67	22,42
MÉDIA	41,57	52,34	63,84	57,11	45,43*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Corroborando com estes relatos, Bonfim-Silva et al. (2011) afirmam que sob condições de alagamento, o nitrogênio do solo é volatilizado na forma de N_2 e N_2O, em decorrência do processo de desnitrificação, o que diminui a quantidade de nitrogênios disponível às plantas submetidas ao alagamento.

Amini et al. (2013) em experimento com 64 genótipos de cártamo submetidos ao déficit hídrico na região do Irã, concluíram que as plantas de cártamo submetidas a níveis de água no solo, podem apresentar aumento ou diminuição do teor de clorofila nas folhas, sendo uma característica intrínseca aos genótipos de serem suscetíveis ou não ao déficit hídrico. Os autores acrescentam que diferenças no teor de clorofila pode ser um indicativo do vigor da planta e sua capacidade fotossintética, fortemente dependente do teor de clorofila.

Em contrapartida, essas observações contrariam os relatos de Orange e Ebadi (2012), ao verificarem que o aumento da disponibilidade de água no solo no período da floração de plantas de cártamo, aumentou em 34% o teor de clorofila das folhas quando comparado ao tratamento com ausência de irrigação.

4.2.4 Diâmetro de caule

O diâmetro de caule das plantas foi estatisticamente influenciado pelos métodos de manutenção de água no solo. Comparando-se os valores obtidos entre as avaliações, o maior desenvolvimento desta variável ocorreu no período inicial (22 a 43 DAE) e a partir desse

período (50 a 57 DAE) notou-se uma estabilização, com posterior decréscimo aos 69 DAE (Tabela 18).

Tabela 18. Diâmetro de caule (mm) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	-------Vegetativo-------		----------Reprodutivo----------			
Métodos	22 DAE	29 DAE	43 DAE	50 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	4,22b	5,72a	6,76a	6,99a	7,11a	7,03a
Tensiômetro	4,41b	5,52a	5,80b	5,84b	5,87b	5,79b
Irrigas	3,32c	3,96b	4,58c	4,69c	4,58c	4,46c
Autoirrigante	5,26a	5,83a	6,39ab	6,55ab	6,45ab	6,04b
CV (%)	12,77	12,83	9,29	9,79	11,94	9,76
MÉDIA	4,30*	5,26	5,92	5,98	6,00	5,83

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Aos 22 DAE as maiores médias foram observadas no sistema autoirrigante, verificando redução em cerca de 36,88% em relação ao método Irrigas. Tais decréscimo sinalizam o efeito negativo do menor conteúdo de água no solo sob a variável morfológica em questão.

Nas avaliações realizadas aos 43, 50 e 57 DAE verifica-se um comportamento similar dos tratamentos, haja vista os maiores diâmetros de caule obtidos no método gravimétrico e sistema autoirrigante, o qual não diferiu estatisticamente do tensiômetro, sendo ambos superiores as médias do Irrigas.

Ao final do período avaliativo (69 DAE) o Irrigas proporcionou o menor resultado (4,46 mm) diferindo significativamente aos demais tratamentos analisados. Em condições de variação na umidade do solo, a menor disponibilidade de água imposta pelo método Irrigas, causou redução no crescimento atrasando o desenvolvimento do caule (SILVA et al., 2012).

Khoshnam et al. (2012) também reportaram efeito significativo do conteúdo de água no solo, sobre o diâmetro de caule das plantas de cártamo, notando maiores valores (9,7mm) no tratamento que não foi submetido a estresse hídrico ao longo do ciclo da cultura. Diâmetro este superior aos relatados no presente trabalho, visto que o experimento foi conduzido em vasos o que limitou o pleno desenvolvimento da cultura.

Em adição Mozaffari e Asadi (2006) estudaram genótipos de cártamo sob condições de plena irrigação e déficit hídrico e relataram diferença significativa no diâmetro de caule entre

as cultivares analisadas. Os autores ainda averiguaram correlação do diâmetro de caule com a produtividade das sementes de cártamo, o que indica que é o caule é uma fonte de reserva de substâncias, podendo ser um índice morfológico de seleção para as cultivares.

4.2.5 Condutância estomática

A variação da manutenção da umidade do solo, imposta pelos métodos de irrigação, foi suficiente para as plantas de cártamo apresentarem mecanismo de controle estomático, diminuindo a condutância de água entre os estômatos e a atmosfera aos 29 DAE. Entretanto, aos 15 e 57 DAE, não foram verificadas influência estatística da disponibilidade de água no solo sobre a variável morfológica em questão, com média geral do experimento referente a 308 e 187,50 mmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente (Tabela 19). Essa constatação pode ser justificada, tendo em vista a severidade do ataque de doenças fúngicas às plantas no final do estádio vegetativo, comprometendo a atividade fotossintética e a abertura dos estômatos em todas as parcelas analisadas.

Tabela 19. Condutância estomática (mmol m^{-2} s^{-1}) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Estádio	----------Vegetativo----------		Reprodutivo
Métodos	15 DAE	29 DAE	57 DAE
Gravimétrico	288,28a	140,16a	222,21a
Tensiômetro	346,32a	141,13a	171,51a
Irrigas	232,50a	102,70b	168,09a
Autoirrigante	365,92a	140,89a	188,20a
CV (%)	3769	15,35	25,67
MÉDIA	$308,25^{ns}$	$131,22^{*}$	$187,50^{ns}$

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Observa-se ainda aos 29 DAE, que as maiores condutâncias foram observadas nos métodos tensiômetro, autoirrigante e gravimétrico, 141,13; 140,89; 140,16 mmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente, diferindo estatisticamente da média verificada no sistema Irrigas (102,70 mmol m^{-2} s^{-1}). Esse comportamento pode estar relacionado a umidade do solo, onde as plantas submetidas ao sistema Irrigas, diminuíram a demanda transpirativa das folhas, em razão do

menor conteúdo de água no solo. Além disso, por ser a condutância estomática, responsável por regular a perda de água nas folhas e assimilação de carbono, alterações nesta variável morfológica irão influenciar a produção de biomassa das plantas e a eficiência do uso da água.

Em concordância com referidos resultados Nikzad et al. (2013) em ensaio avaliando o comportamento de genótipos de cártamo sob diferentes disponibilidades de água no solo, verificaram que a densidade estomática foi negativamente influenciada sob condições de baixa umidade do solo, apresentando um decréscimo de 31,43% ao comparar as densidades estomáticas obtidas no tratamento de maior e menor conteúdo de água no solo.

Eslam (2011) avaliaram cinco genótipos de cártamo em duas condições de irrigação (déficit hídrico no período de floração e sem restrição hídrica) no Irã e encontraram diferenças significativas na condutância estomática das plantas em função da disponibilidade de água no solo, com maiores valores observados no tratamento sem restrição hídrica.

Em adição, Dordas e Sioulas (2008) relataram correlação positiva entre a condutância estomática e a taxa de assimilação de carbono em genótipos de cártamo cultivados sob condições de sequeiro na região da Grécia.

4.2.6 Número de capítulos

Em relação ao número de capítulos, constatou-se influência significativa da manutenção da umidade do solo ao longo do desenvolvimento da cultura, com exceção da avaliação realizada aos 50 DAE, ocasião em que os tratamentos, não diferenciaram entre si. Além disso, pode-se notar uma estabilização na formação de novos capítulos ao se comparar as avaliações realizadas aos 57 e 69 DAE, ocasião em que as plantas estavam em fase de maturação fisiológica, investindo a produção de fotoassimilados para o enchimento das sementes.

Aos 57 DAE a maior produção de capítulos foi observada no método gravimétrico, superior estatisticamente aos valores do sistema autoirrigante, o qual se assemelhou ao sensor Irrigas. No final do período avaliativo (69 DAE) o método gravimétrico manteve os maiores números de capítulos com acréscimo de 60,52% quando comparado ao sistema autoirrigante (Tabela 20).

Admite-se que conforme ocorreu com o número de folhas, as plantas de cártamo apresentaram para esta variável, resposta similar à manutenção da umidade do solo pelo método gravimétrico. Assim, o maior número de folhas das plantas permitiu maior produção de fotoassimilados, responsáveis pela formação de novos capítulos.

Tabela 20. Número de capítulos das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Métodos	50 DAE	57 DAE	69 DAE
Gravimétrico	4,75a	19,38a	19,63a
Tensiômetro	6,00a	11,75b	14,25b
Irrigas	5,00a	10,63bc	11,25b
Autoirrigante	6,50a	7,50c	7,75c
CV (%)	29,52	18,37	18,55
MÉDIA	5,56^{ns}	12,32*	13,22*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Confirmando essa hipótese, Eslam (2011) também relatou influência significativa da manutenção de umidade do solo sobre o número de capítulos de cártamo, com menor produção no tratamento com déficit hídrico no período de floração. O autor atribui esses resultados a limitação de fornecimento de carboidratos aos órgãos reprodutivos, como consequência da menor produção de folhas nos tratamentos sob menor conteúdo de água no solo.

Shahri et al. (2013) em pesquisa sobre diferentes disponibilidades de água ao longo dos estádios fenológicos da cultura do cártamo, também reportaram efeito significativo do conteúdo de água no solo sobre a produção de capítulos por planta. Os maiores valores foram constatados no tratamento sem nenhuma deficiência hídrica durante todo o ciclo da cultura, superiores em 17,14% aos valores do tratamento que não obteve irrigação no período de florescimento. Destacando a importância do manejo da umidade do solo neste estádio de desenvolvimento da cultura.

Referidos resultados ainda se assemelham aos reportados por Lovelli et al. (2007), que verificaram efeito significativo aos níveis de irrigação (reposição de 0, 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração máxima da cultura), no número de capítulos por plantas de cártamo, com decréscimo de 59% do maior ao menor volume de irrigação.

4.2.7 Diâmetro de capítulo

Os métodos de manutenção do conteúdo de água no solo não influenciaram significativamente o desenvolvimento dos capítulos de cártamo aos 69 DAE, com média geral do experimento referente a 19,38 mm (Tabela 21). A ausência de efeito significativo dos

tratamentos sobre este parâmetro, pode ser atribuída devido a estrutura dos capítulos, que funcionam como dreno de fotoassimilados das folhas e do caule. Ressaltando que, apenas a variação de um dos fatores de produção, pode não ser suficiente para a planta expressar diferenciação morfológica, uma vez que, fatores como, nutrientes, clima e volume do vaso, estavam em equilíbrio.

Tabela 21. Diâmetro de capítulo (DCAP) e número de brácteas (NB) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variáveis	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
DCAP (mm)	20,06a*	18,44a	19,07a	19,97a	6,96	19,38^{ns}

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Além disso, a ausência de efeito significativo entre os métodos constata que a cultura do cártamo tolerou as diferentes condições de umidade do solo imposta pelos tratamentos, indicando que o seu cultivo sob condições controladas pode ser realizado por ambas metodologias, sem prejuízo ao desenvolvimento do diâmetro do capítulo. O que está em semelhança, aos relatos de Roudbari et al. (2012), ao discorrerem que o cártamo mostra um grande potencial fisiológico de tolerância à seca.

Tais resultados contrapõem dos reportados por Eslam et al. (2010) que observaram diferença estatística entre as disponibilidades de água no solo no diâmetro de capítulo das plantas de cártamo, na região do Irã. Os autores ainda observaram correlação positiva desta variável com o peso de mil sementes e o índice de colheita.

Mozaffari e Asadi (2006) estudaram genótipos de cártamo sob diferentes condições de umidade do solo e também verificaram efeito significativo da disponibilidade de água sobre o diâmetro de capítulo.

4.2.8 Número de ramos

Para a característica número de ramos primário (NRP), secundário (NRS) e total (NRT), constatou-se efeito significativo aos métodos de manutenção da umidade do solo. Além disso, verifica-se que incrementos na produção de ramos totais, ao longo das avaliações, são decorrentes das ramificações secundárias, com potencial destaque ao método gravimétrico, o qual superou estatisticamente os demais métodos em todas as épocas avaliadas.

No que se refere aos NRP e NRT, nota-se comportamento semelhante entre os métodos analisados. Onde as ramificações primárias do caule foram cruciais para determinação da maior quantidade de ramos total. Assim aos 50 DAE observa-se maiores médias de NRP e NRT no método gravimétrico, com incremento de 50 e 68,06, respectivamente, em relação ao sistema autoirrigante.

Esse desenvolvimento foi em parte semelhante ao final do período de avaliação (69 DAE), onde o método gravimétrico e Irrigas apresentaram as maiores quantidades de ramificações primárias e totais, apesar do sensor Irrigas não diferir do tensiômetro, com as menores médias sendo verificadas no sistema autoirrigante (Tabela 22).

Tabela 22. Números de ramos primário (NRP), secundário (NRS) e total (NRT) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo.

Avaliações	Métodos	Variáveis		
		NRP	NRS	NRT
50 DAE	Gravimétrico	11,00a	6,63a	17,63a
	Tensiômetro	8,00b	0,63b	8,63b
	Irrigas	8,50b	0,75b	9,25b
	Autoirrigante	5,50c	0,00b	5,63c
	CV (%)	12,96	72,14	18,30
	Média	8,25	2,03	10,28
57 DAE	Gravimétrico	11,00a	8,38a	19,38a
	Tensiômetro	9,13b	1,38b	10,50b
	Irrigas	9,63ab	1,88b	11,50b
	Autoirrigante	6,00c	0,00b	6,00c
	CV (%)	13,16	61,22	20,687
	Média	8,94	2,90	11,84
69 DAE	Gravimétrico	11,38a	9,25a	20,63a
	Tensiômetro	9,63b	2,50b	12,13bc
	Irrigas	10,13ab	5,00ab	15,13ab
	Autoirrigante	6,25c	0,00b	6,25c
	CV (%)	10,73	109,02	35,69
	Média	9,34	4,19	13,53*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Provavelmente, o maior consumo de água pelas plantas submetidas ao método gravimétrico favoreceu a maior formação de folhas, as quais forma responsáveis em grande parte pela produção de fotoassimilados que proporcionaram incrementos na produção de ramificações e biomassa das plantas de cártamo.

Deve-se destacar que apesar do sensor Irrigas proporcionar valores relevantes de ramificação total, esse comportamento não foi observado na produção de capítulos, uma vez

que na ocasião de colheita do experimento, algumas ramificações apresentavam atraso na formação de capítulos. Por outro lado, as maiores e menores ramificações obtidas nos tratamentos gravimétrico e sistema autoirrigante, respectivamente, condizem com o número de capítulos aos 69 DAE das plantas. Através desses resultados, pode-se observar que os componentes morfológicos do cártamo como NRP, NRS e NRT, mesmo exercendo papel fundamental na produtividade, se considerados isoladamente podem não ser um indicativo seguro para a se praticar a seleção de plantas mais produtivas (SILVA, 2013).

Os resultados do presente trabalho discordam em parte com Khoshnam et al. (2012) ao discorrerem que o número de ramos primários de cártamo não foi influenciado pelas diferenças de conteúdo de água no solo, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Entretanto corrobora, tendo em vista, que os autores observaram efeito estatístico da umidade do solo sobre o número de ramos secundário das plantas, notando maior valor (15,8) no tratamento que manteve a irrigação até as plantas alcançarem 50% do florescimento.

Tais resultados também assemelham-se aos obtidos por Tayebi et al. (2012) ao reportarem efeito significativo da disponibilidade de água no solo sobre o número de ramos primário e secundário de plantas de cártamo na região de Tabriz – Irã.

4.2.9 Massa seca dos capítulos

As maiores médias de massa seca dos capítulos (15,63 g vaso^{-1}) foram obtidas irrigando-se as plantas com o método gravimétrico, diferindo estatisticamente do tensiômetro (9,99 g vaso^{-1}), o qual se assemelhou ao sensor Irrigas (8,21 g vaso^{-1}) e sistema autoirrigante (8,01 g vaso^{-1}), Tabela 23.

Tabela 23. Massa seca dos capítulos (MSCAP) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSCAP (g vaso^{-1})	15,63a	9,99b	8,21b	8,01b	14,44	10,48*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

A superioridade da massa seca dos capítulos quando irrigado com o método gravimétrico, em comparação ao valor médio obtido nos demais tratamentos, pode estar

associada a disponibilidade de água no solo, pois a falta de água reduz o fluxo de fotoassimilados pelos vasos condutores (Taiz e Zeiger, 2006), fato que tende a diminuir o crescimento e desenvolvimento dos capítulos.

A maior produção de massa seca dos capítulos obtida com o tratamento de maior consumo de água condiz com os resultados obtidos por Mozaffari e Asadi (2006), ao observarem, efeito significativo da massa seca de capítulos do cártamo em função do conteúdo de água no solo. Os autores ainda constataram correlação positiva entre massa seca dos capítulos, altura de plantas, diâmetro de caule e número de capítulos, nas plantas que receberão irrigação plena ao decorrer do ciclo de desenvolvimento.

Além disso, Ghamarnia e Sepehri (2010) avaliando a cultura do cártamo sob níveis de reposição de água no solo (33; 66 e 100% da evaporação do tanque classe A), também constataram efeito significativo da disponibilidade de água no solo sobre a massa de capítulos, com maior produção no tratamento que recebeu 100% do volume de água evaporada no tanque classe A.

4.2.10 Massa seca das folhas

Os métodos de manutenção da umidade do solo influenciaram significativamente a massa seca das folhas, com maiores valores médios observados no método gravimétrico, superior estatisticamente ao tensiômetro, ressalta-se ainda que as menores massa seca das folhas foram constatadas no sensor Irrigas e sistema autoirrigante com decréscimo de 52,58 e 43,65% em relação ao método gravimétrico, respectivamente (Tabela 24).

Tabela 24. Massa seca das folhas (MSF) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSF (g vaso^{-1})	7,95a	6,14b	3,77c	4,48c	20,81	5,58*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

A disponibilidade de água continua as plantas cultivadas sob o sistema autoirrigante não foi benéfica a formação e desenvolvimento das folhas de cártamo, uma vez que a cultura se desenvolve melhor em condições de irrigação alternada (ESMAELI; SOLEYMANI, 2013). Em

relação ao sensor Irrigas observou-se redução da expansão foliar como forma de redução da demanda transpirativa da folha, na tentativa de economia da água do solo (MAR et al., 2013).

Os resultados do presente estudo corroboram com Tayeb et al. (2012) que observaram que a deficiência hídrica causou diminuição significativa na massa seca das folhas. Os autores ainda acrescentam que a ocorrência de estresse hídrico no período de desenvolvimento do cártamo ocasionou diminuição do crescimento das plantas, mudança na cor das folhas, redução na área foliar e consequentemente diminuição do peso da folha.

Adicionalmente Canavar et al. (2014b) reportaram também influencia significativa da umidade do solo, sobre o desenvolvimento das folhas, onde os genótipos de cártamo expostos ao déficit hídrico diminuíram a massa seca das folhas. Esse comportamento provavelmente ocorreu na tentativa da planta diminuir a superfície de evaporação (área foliar), minimizando a perda de água através da redução da epiderme e menor condutância estomática. Paralelemente, reduções da área foliar limitam a fotossíntese e diminui a produção de biomassa, fato também observado no presente estudo.

4.2.11 Massa seca do caule

A massa seca do caule respondeu de forma significativa aos tratamentos de manutenção de umidade do solo. A maior massa seca de caule foi verificada no método gravimétrico superior estatisticamente ao sensor Irrigas, o qual não diferiu significativamente ao sistema autoirrigante (Tabela 25).

Tabela 25. Massa seca do caule (MSC) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSC (g vaso^{-1})	14,52a	9,29b	5,50c	7,22bc	19,32	9,13*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Esses resultados podem ser justificados pela manutenção da umidade do solo, tendo em vista que as menores disponibilidade de água no solo, promoveram alterações morfológicas nas plantas, resultando em menor transpiração devido a menor condutância estomática, o que

reduziu a assimilação de carbono e por conseguinte a produção de biomassa de caule (BOARETO et al., 2012).

Em conformidade, Canavar et al. (2014b) também observaram diminuição da massa seca de caule, nas plantas de cártamo, em condições de menor conteúdo de água no solo, pois sob estresse hídrico possivelmente as plantas diminuem a expansão e divisão celular, culminando em menor acúmulo de fitomassa do caule.

Os resultados de Silva et al. (2012) para a cultura do girassol, também corroboraram com o presente trabalho, ao verificarem efeito significativo da umidade do solo sobre a produção de massa seca de caule, com maiores produções de fitomassa no tratamento em que a cultura não sofreu nenhum déficit hídrico nos três estádios fenológicos.

4.2.12 Massa seca da raiz

Com relação a massa seca da raiz as maiores médias forma observadas no método gravimétrico (7,51 g vaso^{-1}) e tensiômetro (7,16 g vaso^{-1}), superior estatisticamente aos valores constatados no sistema autoirrigante (3,69 g vaso^{-1}) e sensor Irrigas (3,00 g vaso^{-1}), com decréscimo de 60% ao comparar o método gravimétrico e Irrigas (Tabela 26).

Tabela 26. Massa seca da raiz (MSR) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSR (g vaso^{-1})	7,51a	7,16a	3,00b	3,69b	35,79	5,34*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Tendo em vista esses resultados, pode-se inferir que condições de suplementação hídrica contínua à planta (sistema autoirrigante), assim como menor armazenamento de água no solo (sensor Irrigas), são desfavoráveis ao desenvolvimento radicular das plantas de cártamo. Evidenciando a importância de se utilizar um método de irrigação que proporcione o crescimento e desenvolvimento adequado a cultura.

Corroborando com referidos resultados, Paiva Sobrinho et al. (2011) relataram que condições de maior disponibilidade de água ao solo, podem promover redução na oferta de oxigênio as raízes, inibindo o desenvolvimento radicular. Em contrapartida, menores níveis de

água no solo, diminuem a transpiração das plantas e por conseguinte a absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular, interferindo também, no desenvolvimento das raízes.

Os incrementos da massa seca da raiz, em função da umidade do solo assemelha-se aos relatos de outros autores (GHAMARNIA; SEPEHRI, 2010; DUTRA et al., 2012), que verificaram diferenças significativas entre os valores médios de massa seca de raiz em plantas de cártamo e girassol, sendo observadas as maiores produções nos tratamentos com maior disponibilidade de água às plantas.

4.2.13 Massa seca da parte aérea e total

No que se refere a massa seca da parte aérea e total das plantas de cártamo, nota-se comportamento semelhante da influência dos métodos de manutenção de água no solo, onde, as maiores produções foram observadas no método gravimétrico, superior em 53,78 e 54,75% ao sensor Irrigas, nos parâmetros massa seca da parte e total, respectivamente (Tabela 27).

Tabela 27. Massa seca parte aérea (MSPA) e total (MST) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSPA (g vaso^{-1})	40,76a	26,92b	18,84c	20,53c	14,84	26,76*
MST (g vaso^{-1})	48,27a	34,07b	21,84c	24,21c	17,12	32,10*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

De acordo com Beltrão et al. (2000) a falta de água no solo induz o fechamento dos estômatos, afetando o processo fotossintético, e por conseguinte a produção de fotoassimilados, indispensáveis ao acúmulo de fitomassa nas plantas, fato esse evidenciado pela menor produção de fitomassa nas plantas, submetidas ao menor armazenamento de água no solo (sensor Irrigas).

Os resultados de Esmaeili e Soleymani (2013) estão de acordo aos relatados no presente estudo, ao discorrerem que os níveis de umidade do solo, promoveram diferença significativa no acúmulo de matéria seca total das plantas de cártamo, com maior fitomassa observada no tratamento de 100% de reposição da água de evapotranspiração das plantas, baseado nas estimativas de um modelo para regiões áridas e semiáridas do Irã.

Ainda corroborando com referidos resultados Souza et al. (2002) avaliando métodos de determinação de água disponível em cultivo de algodoeiro herbáceo, reportaram que os valores

de fitomassa seca da parte aéreas das plantas, decresceram com os níveis de água de água disponível no solo, sendo os maiores valores observados nas plantas irrigadas com o método gravimétrico.

Nabipour et al. (2007) e Tayebi et al. (2012), em pesquisa sobre o efeito do armazenamento de água no solo, sobre a cultura do cártamo, observaram que a produção de massa seca da parte aérea e total das plantas, foi condicionada a disponibilidade de água no solo. Onde as maiores fitomassa foram relatadas no tratamento que obteve irrigação em todos os estádios de desenvolvimento da cultura.

4.2.14 Consumo de água

Observou-se efeito significativo no consumo de água pelas plantas de cártamo em razão da metodologia empregada para a manutenção da umidade do solo. Os maiores consumos foram registrados do método gravimétrico (28,67 L), seguido pelo tensiômetro (21,43 L) e sistema autoirrigante (15,17 L), apesar deste último não diferir estatisticamente do sensor Irrigas (Tabela 28). Assim, entende-se que o método de manutenção de umidade do solo influenciará diretamente na disponibilidade de água às plantas.

Tabela 28. Consumo de água (CA) das plantas de cártamo submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
CA (L)	28,67a	21,43b	15,02c	15,17c	11,58	20,07*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Cabe ressaltar, que as parcelas submetidas ao sistema autoirrigante apresentaram uma camada superficial de cerca de 0,02 m de altura, que funcionava como cobertura morta, impermeabilizando a superfície do solo, o que consequentemente diminui a evaporação, acarretando na diminuição do fornecimento de água do sistema autoirrigante ao solo e por conseguinte, menor consumo de água pelas plantas.

No que se refere ao sensor Irrigas, possivelmente a irrigação baseada na abertura ou fechamento da passagem de ar pela cápsula porosa, situação em que o sensor não indicava a tensão atual de água no solo, mas somente se está abaixo ou acima dos valores de referência,

ocasionou uma diminuição do volume de água de irrigação, fazendo com que diminuísse o conteúdo de água no solo e assim o consumo pelas plantas.

Em similaridade aos resultados reportados, Barros Junior et al. (20008) observaram influencia altamente significativa no consumo de água pelas plantas de mamona, em função dos conteúdos de água no solo (40, 60, 80 e 100% de água disponível no solo) em experimento sob condições controladas.

Souza et al. (2000) comparando o método gravimétrico e de laboratório na determinação de água disponível para o cultivo do algodão, também constataram maior consumo de água, pelas plantas submetidas ao método gravimétrico. Os autores acrescentam que a superioridade da faixa de água disponível pelo método gravimétrico, aumentou o volume de água de irrigação nas parcelas, e por conseguinte, o consumo de água pelas plantas.

Adicionalmente, Silva et al. (2013b) em estudo sobre diferentes tensões de água no solo sobre cultivares de beterraba, reportaram efeito da tensão de água no solo sobre o consumo hídrico das plantas com diferenças significativas entre as médias do tratamento de 15 kPa com as tensões de 45, 55 e 65 kPa.

4.2.15 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água para a massa seca dos capítulos das plantas de cártamo foi significativamente influenciada pelos tratamentos aplicados no cultivo do cártamo. Onde os maiores valores foram observados no método gravimétrico, sensor irrigas e sistema autoirrigante, diferindo estatisticamente da eficiência do uso da água obtida no tensiômetro (Tabela 29).

Tabela 29. Eficiência do uso da água na massa seca de capítulos das plantas de cártamo, submetido a métodos de manutenção de umidade do solo, aos 69 DAE.

Variável	Método Gravimétrico	Tensiômetro	Irrigas	Sistema autoirrigante	CV (%)	Média
MSCAP (g L^{-1})	0,55a	0,46b	0,55a	0,54a	9,63	0,52*

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Corroborando Silva et al. (2013b) constataram efeito significativo da eficiência do uso da água em plantas de beterraba submetidas a tensões de água no solo, sendo a eficiência reduzida em 5,44 kg ha^{-1} mm^{-1}, para cada acréscimo unitário na tensão de água no solo. Os

autores ainda discorrem que a eficiência do uso da água relaciona a produção de biomassa pela quantidade de água aplicada, sendo de extrema importância sua determinação na tentativa de otimizar o uso da água.

Canavar et al. (2014b) também verificaram efeito significativo da eficiência do uso da água em plantas de cártamo submetidas a diferentes conteúdos de água no solo (30 e 60% da capacidade de campo), além de observarem correlação entre a eficiência do uso da água, área foliar, clorofila, massa seca das folhas e total das plantas.

4.3 Métodos de manutenção de umidade do solo

Analisando as médias das variáveis de crescimento em ambas plantas indicadoras observou-se diferença significativa entre os métodos analisados, podendo-se optar pela manutenção da umidade do solo com o sistema autoirrigante, para irrigação automática dos vasos, mantendo-se constante a tensão de água no solo. Tendo em vista, os parâmetros produtivos o método gravimétrico sobressaiu aos demais tratamentos, apresentando as maiores médias de massa seca em ambas culturas.

Para o emprego do método gravimétrico é necessário a caracterização da capacidade de pote, por meio de testes em laboratório, utilizando-se vasos de mesmo volume de solo dos que serão instalados no experimento, tendo assim uma faixa de aplicação livre em todas as tensões de água no solo.

Em contrapartida, para o manejo da irrigação faz-se necessário a utilização de balanças para pesagem das unidades experimentais em um dado intervalo de tempo, o que dificulta a manutenção do conteúdo de água no solo à medida que aumenta o volume de solo utilizado. Além disso, essa metodologia apesar de ser simplificada apresenta como desvantagem a não contabilização da fitomassa, pois a água que está retida na planta é considerada como se estivesse no solo, diminuindo o volume de água a ser resposto nas unidades experimentais, no momento da irrigação.

Os métodos baseados na tensiometria requerem a caracterização da curva de retenção de água no solo, por meio da qual calcula-se indiretamente a umidade do solo, sendo eles: tensiômetro, sensor Irrigas e sistema autoirrigante.

O tensiômetro mede indiretamente a umidade do solo, fazendo-se uso do tensímetro digital, por meio do qual determina-se a tensão atual de água no solo. Por outro lado, o aparelho apresenta como desvantagem a limitação de medidas de potencial matricial a tensões de 0 a 85 kPa, reposição constante da água destilada, acúmulo de ar na capsula porosa, sendo a operação restrita a profundidade de instalação.

O sensor Irrigas necessita da caracterização da pressão de borbulhamento da cápsula porosa, limitando-se as porosidades comerciais de 15, 20 e 40 kPa. Esse método apresenta baixa manutenção, custo reduzido e fácil utilização. Para o manejo da irrigação é necessário um recipiente com água, onde verifica-se se o sistema está aberto ou fechado. Em contrapartida, o sensor não indica, de forma quantitativa, a tensão atual de água no solo, mas somente se está abaixo ou acima dos valores de referência estabelecidos no teste de pressão de borbulhamento.

O sistema autoirrigante baseia-se na sucção controlada, utilizando-se cápsulas porosas conectadas a uma coluna de água pendente. O frasco de Mariotte além proporcionar a vazão constante da água de irrigação, possibilita a mensuração do volume de água consumido pelas plantas, por meio de uma escala de nível presa ao reservatório fazendo com que a irrigação seja automática. A utilização do sistema restringe ao intervalo de 0 a 25 kPa, devido a tensão crítica da capsula porosa, requerendo para emprego do sistema conhecimento técnico, para manutenção da sucção contínua e aporte de água ás plantas.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento e produção das plantas indicadoras, girassol e cártamo, foram influenciados pelos métodos de manutenção de umidade do solo, em cultivo, sob condições controladas.

O sistema autoirrigante é indicado tecnicamente para efetuar o manejo da irrigação durante o período de desenvolvimento vegetativo das plantas indicadoras. As maiores lâminas são aplicadas quando se emprega o método gravimétrico. Os menores valores dos parâmetros morfológicos e produtivos foram encontrados quando a manutenção da umidade do solo foi realizada com o sensor Irrigas.

O manejo das irrigações do girassol e cártamo com base no método gravimétrico, é suficiente para proporcionar o maior acúmulo na parte aérea e raiz e consequentemente, aumento no consumo de água das culturas.

6 REFERÊNCIAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Roma: FAO, 1982. 68p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).

ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi - RN**. 2009. 56f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

ADA, R. Effects of winter and spring sowing on yield components of safflower genotypes. **International Journal of Biological**, v. 6, p. 38-42, 2012.

AHMAD, S.; AHMAD, R.; ASHRAF, M. Y.; ASHRAF, M.; WARAICH, E. A. Sunflower (H*elianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. **Pakistan Journal of Botany**, v. 41, p. 647-654, 2009.

AMINI, H.; ARZANI, A.; BAHRAMI, F. Seed yield and some physiological traits of safflower as affected by water deficit stress. **International Journal of Plant Production**, v. 7, p. 597-614, 2013.

ARTUR, A.G.; GRACEZ, T. B.; MONTEIRO, F. A. Water use efficiency of marandu palisadegrass as affected by nitrogen and sulphur rates. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 10-17, 2014.

BABAEIAN, M.; PIRI, I.; TAVASSOLI, A.; ESMAEILIAN, Y.; GHOLAMI, H. Effect of water stress and micronutrients (Fe, Zn and Mn) on chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and sunflower nutrient uptake in Sistan region. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, p. 3526-3531, 2011.

BAGHERI, H.; SAM-DALIRI, M. Effect of water stress on agronomic traits of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, p. 2621-2624, 2011.

BAHRAMI, F.; ARZANI, A.; AMINI, H. Leaf anatomical characteristics in safflower genotypes as affected by drought stress. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 57, p. 39-42, 2013.

BALASHAHRI, M.; FARHADI, R.; DEHOSTAI, R. M.; GHADIRI, I. RAHIMI, M. Evaluation of cardinal temperatures and germination response to temperature in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Medicinal plant. **Journal of American Science**, v. 9, p. 56-60, 2013.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 350-355, 2008.

BATAGLIA, O.C. Sistema de irrigação em vasos para experimentos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 81-86, 1989.

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; SANTO. J. W. Consequência da anoxia temporária radicular no metabolismo do gergelim. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 4, p. 153-161, 2000.

BELTRÃO, N. E. M.; FILHO, F. J.; FIGUEIRÊDO, I. C. de M. Uso adequado de casa-de-vegetação e de telados na experimentação agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.547-552, 2002.

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

BISCARO, G. A.; MACHADO, J. R.; TOSTA, M. da S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R. P.; CARVALHO, L. A. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia – MS. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1366-1373, 2008.

BOARETO, B.; SANTOS, R. F.; CARPINSKI, M.; MARCO JUNIOR, J.; BASSEGIO, D.; WAZILEWSKI, W. T. Manejo de irrigação de plantas energéticas - Girassol (*Helianthus annuus* L.). **Acta Iguazu**, v.1, p. 48-58, 2012.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A.; SILVA, T. J. A. nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 309-317, 2007.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p.1641-1649, 2010.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 180-186, 2011.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination**. Washington: Department of Agriculture, 1912. 83 p. (Bulletin, 230).

BRITO, A. dos S. LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.17-24, 2009.

BURKART, A. **Flora ilustrada de Entre Rios, Argentina:** parte VI, dicotiledôneas metaclamídeas. Buenos Aires: INTA, v. 6, 1974, 554 p.

CANAVAR, O.; GOTZ, K. P.; ELLMER, F.; CHMIELEWSKI, F. M.; KAYNAK, M. A. Determination of the relationship between water use efficiency, carbon isotope discrimination and proline in sunflower genotypes under drought stress. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, p. 232-242, 2014a.

CANAVAR, O.; GÖTZ, K. P.; KOCA, Y. O. ELLMER, F. Relationship between water use efficiency and δ 13C isotope discrimination of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 19, p. 212-220, 2014b.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. Irrigas: novo sistema para controle de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 2001. Fortaleza. **Anais...,** p. 177-182, 2001.

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R. F.; DECHEN, A. R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 214-220, 2006.

COELHO, S. L. **Desenvolvimento de um Tensiômetro Eletrônico para o Monitoramento do Potencial da Água do Solo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia Irrigação e Drenagem) Faculdade de Agronomia, Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2003.

CONAB. **Décimo levantamento da safra 2013/2014**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014. 85 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_07_09_09_36_57_10_levantamento_de_graos_julho_2014.pdf>. Acesso em: 10 de set. de 2014.

COSTA, B. R. S. **Calibração de sensor de capacitância para medida da umidade em solos do semiárido**. 2014. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2014.

DOURADO, L. G. A.; KOETZ, M. SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L. Reposição de água na cultura da alface lisa com a utilização do irrigas em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, p. 2633-2646, 2014.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 3.0). **Scientia Agrícola**, v.57, p.191-192, 2000.

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. **Industrial crops and products**, v. 27, p. 78-85, 2008.

DURIGON, A. LIER, Q. J. V. Determinação das propriedades hidráulicas do solo utilizando tensiômetros de polímeros em experimentação de evaporação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1271-1276, 2011.

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S. de P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2657-2668, 2012.

EBRAHIMI, M. KHAJEHPOUR, M. R.; NADERI, A.; NASSIRI, B. M. Physiological responses of sunflower to water stress under different levels of zinc fertilizer. **International Journal of Plant Production**, v. 8, p. 483-504, 2014.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Resultado de pesquisa da EMBRAPA Soja - 2001: girassol e trigo**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2002. 21p. (Documento n.199).

ESLAM, B. P. MONIRIFARI, H.; GHASSEMI, M. T. Evaluation of late season drought effects on seed and oil yields in spring safflower genotypes. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 34, p. 373-380, 2010.

ESLAM, B. P. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 13, p. 327-338, 2011.

ESMAEILI, R.; SOLEYMANI, A. Evaluation of ET-HS model in estimating water requirement of safflower in center of Iran. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, p. 3366-3370, 2013.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 10 de set de 2014.

FARAHVASH, F.; MIRSHEKARI, B.; SEYAHJANI, E. A. Effects of Water Deficit on Some Traits of Three Sunflower Cultivars. **Journal of Scientific Research**, v. 9, p. 584-587, 2011.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 53, p. 83-92, 2006.

FLÉNET, F.; SARAIVA, B. C. Sunflower response to a range of soil water contents. **European Journal of Agronomy**, v. 5, p. 161-167, 1996.

GECGEL, U., DEMIRCI, M., ESENDAL, E. TASAN, M. Fatty acid composition of the oil from developing seeds of different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 84, p. 47-54, 2007.

GHAFFARI, M.; TOORCHI, M.; VALIZADEH, M.; SHAKIBA, M. R. Morpho-physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 17, p. 185-190, 2012.

GHAMARNIA, H.; SEPEHRI, S. Different irrigation affect water use, yield and other yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) crop in a semi-arid region of Iran. **Journal of Food, Agricultural & Environment**, v. 8, p. 590-593, 2010.

GHOBADI, M.; TAHERABADI, S.; GHOBADI, M. E.; MOHAMMADI, G. R.; HONARMANDA, S. J. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 29-38, 2013.

GÖKSOY, A. T.; DEMIR, A. O.; TURAN, Z. M.; DAGÜSTU, N. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. **Field Crops Research**, v. 87, p. 167-178, 2004.

GOMES, E. P.; FEDRI, G. ÁVILA, M. R.; BISCARO, G. A.; REZENDE, R. K. S.; JORDAN, R. A. Produtividade de grãos, óleo e massa seca de girassol sob diferentes lâminas de irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p.237–246, 2012.

HEMMATI, M. H.; SOLEYMANI, A. A study about some physiological indices of sunflower growth under drought stress. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, p. 553-563, 2014.

HOSSEIN, B.; SAM-DALIRI, M. Effect of water stress on agronomic traits of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, p. 2621-2624, 2011.

IQBAL, M.; ALI, M. A.; ABBAS, A.; ZULKIFFAL, M.; ZEESHAN, M.; SADAQAT, H. A. Genetic behavior and impact of various quantitative traits on oil contents in sunflower under waters stress conditions at productive phase**. Plant Omics Journal Southern Cross Journals**, v. 2, p. 70-77, 2009.

ISTANBULLUOGLU, A.; GOCMEN, E.; GEZER, E.; PASA, C.; KONUKCU, F. Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 1429–1434, 2009.

KHOSHNAM, A.; SHARIFABADB, H. H.; AFSHARMANESH, G. R. Effects of terminal water deficit stress and plant density on yield, yield components and some morphological traits of safflower in Jiroft Region, Iran. **Plant Ecophysiology**, v. 4, p. 111-117, 2012.

KOETZ, M.; SANTOS, C. S. A.; MENEZES, P. C.; BONFIM-SILVA, E. M. Influência do volume de reposição de água no desenvolvimento e produtividade da cultura do rabanete. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 1732-1743, 2013.

LANDAU, S.; FRIEDMAN, S.; BRENNER, S.; BRUCKENTAL, I.; WEINBERG, Z. G.; ASHBELL, G.; HEN, Y., DYASH, L.; LESEM, Y. The value of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) hay and silage grow under Mediterranean conditions as forage for dairy cattle. **Livestock Production Science**, v.88, p. 263-271, 2004.

LEITE, R. M. V. B. C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, F. A.; CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A. C. B. Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima – Comunicado Técnico n. 78, EMBRAPA, Londrina, 2007.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LOVELLI, S.; PERNIOLA, M. FERRARA, A. TOMMASO, T. D. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum Melongena* L. **Agricultura Water Management**, v. 92, p. 73-80, 2007.

MAR, C. C.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; SANTOS, A. B. R.; VIÉGAS, I. J. M.; SILVA, F. S. N. Produção de massa seca e área foliar do açaizeiro sob déficit hídrico. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, p. 14-23, 2013.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de Irrigação em Hortaliças com Sistema Irrigas®**. 2009. Disponível em: <http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2009/ct/ct.69.pdf>. Acesso em: 09 set. 2014.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Avaliação de sensores do tipo Irrigas® para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substrato. **Irriga**, v. 10, p. 88-95, 2005.

MEO, A. A. Impact of variable drought stress and nitrogen levels on plant height, root length and grain numbers per plant in a sunflower (*Helianthus annuus* L.) variety "shmas". **Journal of Agricultural Science**, v. 37, p. 89-92, 2000.

MELO, Y. L. **Desempenho agronômico e caracterização de genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto a marcadores fenológicos, fisiológicos e bioquímicos em duas microrregiões edafoclimáticas do Rio Grande do Norte**. 2012, 97 f. Dissertação (Mestrado Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Semiárido, 2012.

MIRSHEKARI, M.; MAJNOUNHOSSEINI, N.; AMIRI, R.; MOSLEHI, A.; ZANDVAKILI, O. R. Effects of sowing date and irrigation treatment on safflower seed quality. **Journal of Agricultural Science and Technology,** v. 15, p. 505-515, 2013.

MONTANHEIRO, M.N.; SAITO, S.N.T.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. Controle de tensões de água no solo em vasos com feijoeiro (Phaseolus vulgaris). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17, Manaus, 1979. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 68, 1979.

MOZAFFARI, K.; ASADI, A. A. Relationships among traits using correlation, principal components and path analysis in safflower mutants sown in irrigated and drought stress condition. **Asian Journal of Plant Science**, v. 5, p. 977-983, 2006.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cel Environ**, v. 25, p. 239-250, 2002.

NABIPOUR, M.; MESKARBASHEE, M.; YOUSEFPOUR, H. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 10, p. 421-426, 2007.

NAIM, A. M. E.; AHMED, M. F. Effect of irrigation intervals and inter-row spacing on yields, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus* L). **Journal of Applied Sciences Research**, v. 6, p. 1446-1451, 2010.

NAZARLI, H.; ZARDASHTI, M. R.; DARVISHZADEH, R.; NAJAFI, S. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. **Notulae Scientia Biologicae**, v.2, p.53- 58, 2010.

NEZAMI, A.; KHAZAEI, H. R.; BOROUMAND REZAZADEH, Z.; HOSSEINI, A. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus* L.) in controlled conditions. **Desert**, v. 1, p. 99-104, 2008.

NIKZAD, M.; BEHROUJ, M.; SHAHDADI, M. Evaluation of the Behavior of Spring Safflower Genotypes against Drought. **Switzerland Research Park Journal**, v. 102, p. 165-169, 2013.

NOBRE, R. C.; GHEYL, H. R.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O.; NASCIMENTO, E. C. S. Produção de girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 747-754, 2010.

OELKE, E. A.; OPLINGER, E. S.; TEYNOR, T. M.; PUTNAM, D. H.; BONECA, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D. M. Safflower. 1992. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/safflower.html>. Acesso em: 10 de set. de 2014.

OLIVEIRA, J. T. L.; CHAVES, L. H. G.; CAMPOS, V. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; GUEDES FILHO, D. H. Fitomassa de girassol cultivado sob adubação nitrogenada e níveis de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, p.23-32, 2012.

OMIDI, A. H.; KHAZAEI, H.; MONNEVEUX, P. STODDARD. F. Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Turkish Journal of Field Crops**, v. 17, p. 10-15, 2012.

OR, D. Who invented the tensiometer? **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1-3, 2001.

ORANGE, M. J.; EBADI, A. Responses of phonological and physiological stages of spring safflower to complementary irrigation. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 2465-2471, 2012.

ORAKI, H.; KHAJANI, F. P.; AGHAALIKHANA, M. Effect of water deficit stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and grain yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 164-168, 2012.

ORTA, A. H.; ERDEM, T.; ERDEM, Y. Determination of water stress index in sunflower. **Helia**, v. 25, 27-38, 2002.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.161-169, 2005.

PAIVA SOBRINHO, S.; TIEPPO, R. C.; SILVA, T. J. A. Desenvolvimento inicial de plantas de girassol em condições de estresse hídrico, **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, p. 1-12, 2011.

PIVETTA, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; FIOREZE, S. L.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. Avaliação de híbridos de girassol e relação entre parâmetros produtivos e qualitativos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 561-568, 2012.

PORTO, R. A.; KOETZ, M.; BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. Effects of water replacement levels and nitrogen fertilization on growth and production of gladiolus in a greenhouse. **Agricultural Water Management**, v. 131, p. 50-56, 2014.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo, 1987. 188p.

ROCHA, R. N. C.; GALVÃO, J. C. C.; TEIXEIRA, P. C.; MIRANDA, G. V.; AGNES, E. L.; ROBERTO, P.; PEREIRA, G.; LEITE, U. T. Relação do índice SPAD, determinado pelo clorofilômetro, com teor de nitrogênio na folha e rendimento de grãos em três genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, p.161-171, 2005.

ROUDBARI, Z.; SABA, J.; SHEKARI, F. Use of physiological parameters as tools to screen drought tolerant safflower genotypes. **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, v. 3, p. 2374-2380, 2012.

SAENSEE, K.; MACHIKOWA, T. MUANGSAN, N. Comparative performance of sunflower synthetic varieties under drought stress. **International journal of agriculture and biology**, v. 14, p. 929-934, 2012.

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, C. A. S.; QUADROS, M. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 644-653, 2004.

SANTOS, S.; GOMES, E. P.; SANCHES, A. C. VIERA FILHO, P. S.; RAMIRES, E. V. Produtividade da cultura do girassol sob irrigação. II Inovagri International Meeting, Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/simposios/II-INOVAGRI-2014/a683.pdf>. Acesso em: 10 de set. de 2014.

SHAHRI, A. GANJALI, H. R. FANAYI, H. R. Efect of drought stres on quantitative and qualitative yield of saflower (Goldasht cultivar) in diferent planting densities. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, p. 1342-1346, 2013.

SCHNEITER, A. A. MILLER, J. F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, v. 21, p. 901-903, 1981.

SILVA, T. J. A.; SANTOS, R. O.; RODRIGUES, J. J. V. Determinação do consumo de água sob tensões controlada em cana-de açúcar (*Saccharum officinarum*) em condições de casa de vegetação. In: XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1999, BRASÍLIA. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. BRASÍLIA: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1999. v. CDROM.

SILVA, T. J. A.; MACHADO, C. C.; BONFIM-SILVA, E. M.; COELHO, R. D. Coeficiente de cultivo (Kc) do meloeiro tipo rendilhado cultivado em ambiente protegido. **Irriga**, v. 9, p. 72-81, 2004.

SILVA, G.J.; MAIA, J.C.S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.31-40, 2006.

SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A.; MORAIS, A. R.; ANDRADE, G. P.; LIMA, E. M. C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 482-488, 2007.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, C. C. M.; FILHO, J. V. P.; FREITAS, C. A. S. Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, p. 57-64, 2011.

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

SILVA, C. J. **Caracterização agronômica e divergência genética de acessos de cártamo**. 2013, 51 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 86-93, 2013a.

SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; KLAR, A. E. Eficiência de uso da água em cultivares de beterraba submetidas a diferentes tensões de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p. 27-36, 2013b.

SILVA, C. B. R. **Calibração de sensor de capacitância para medida da umidade em solos do semiárido**. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2014.

SILVA, M. C.; SILVA, T. J. A. BONFIM-SILVA, E. M.; FARIAS, L. N. Características produtivas e qualitativas de melão rendilhado adubado com nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18 p.581–587, 2014.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, p.338-342, 2000.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 337-341, 2002.

STEDUTO, P.; ALBRIZIO, R. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. II Water use efficiency and comparison with radiation use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.130, p. 269–281, 2005.

TAHMASEBPOUR. B.; AHARIZAD, S.; SHAKIBA, M.. BABAZADE BEDOSTANI, A. safflower genotypes responses to water deficit. **International Journal of Agriscience**, v. 1, p. 97-106, 2011.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. Sinauer Associates, Inc.Sunderland, USA, 4 ed., 2006. 764p.

TAYEBI, A.; AFSHARI, H.; FARAHVASH, F.; SINKI, M. J.; NEZARAT, S. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. **Iranian Journal of Plant Physiology**, v. 2, p. 445-453, 2012.

TRAUTMANN, R. R.; LANA, M C.; GUIMARÂES, V. F. Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 240-251, 2014.

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. 2014. Disponível em http://www.cnpp.usda.gov/default.html. Acesso em: 10 set. 2014.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, p. 898-982, 1980.

VIANA, M. M. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol**. 2008. 223 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

VIEIRA, O.V. Características da cultura do girassol e sua inserção em sistemas de cultivos no Brasil. **Revista Plantio Direto**, v. 14, p. 18-24, 2005.

VRÂNCEANU, A. V. **El girassol**. Madrid: Mundi-Prensa, 1977. 379p.

ZOBIOLE, L. H. S.; CASTRO, C. DE; OLIVEIRA, F. A. DE; OLIVEIRA JÚNIOR, A. DE; MOREIRA, A. Curva de crescimento, estado nutricional, teor de óleo e produtividade do girassol híbrido BRS 191 cultivado no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.14, p. 55-62, 2010.

APÊNDICE

Tabela 30 - Comparação de diferentes métodos utilizados para a manutenção da umidade do solo em condições controladas, com base nas características identificadas.

Métodos		**Características**					
		Critério necessário	**Tensão de água no solo**	**Sistemas de medição**	**Limitações**	**Vantagens**	**Parâmetro medido**
Diretos	Gravimétrico	Capacidade de pote	Variável	Balança analógica	• Não contabilização da fitomassa da planta no volume de água de irrigação	• Método simplificado.	Teor de água em massa
Indiretos	Tensiômetro	Curva de retenção de água no solo	0 e 85 kPa	Tensímetro digital	• Acúmulo de ar na cápsula porosa – (manutenção constante); • Operação restrita a profundidade de instalação.	• Conhecimento da tensão de água no solo.	Tensão de água no solo
	Irrigas	Tensão crítica – Pressão de borbulhamento	15, 20 e 40 kPa*	Recipiente com água	• Tensões superiores a tensão crítica no momento da irrigação.	• Simples manuseio.	Sistema aberto ou fechado.
	Sistema autoirrigante	Sucção controlada	0 a 25 kPa	Frasco de Mariotte	• Requer conhecimento técnico.	• Irrigação automática	Volume de água consumido pelas plantas.

*Tensões estabelecidas pelos padrões comerciais do sensor Irrigas®.