

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ALEXANDRE REUBER ALMEIDA DA SILVA

IRRIGAÇÃO PLENA E COM DÉFICIT EM DIFERENTES ESTÁDIOS
FENOLÓGICOS DA CULTURA DO GIRASSOL NO SEMIÁRIDO CEARENSE

FORTALEZA

2012

ALEXANDRE REUBER ALMEIDA DA SILVA

IRRIGAÇÃO PLENA E COM DÉFICIT EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS
DA CULTURA DO GIRASSOL NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Coorientador: Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

S578i

Silva, Alexandre Reuber Almeida da.

Irrigação plena e com déficit em diferentes estádios fenológicos da cultura do girassol no semiárido cearense. / Alexandre Reuber Almeida da Silva. – 2012.

173f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2012.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientação: Prof. Dr. Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientação: Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas.

.

1. Girassol. 2. Restrição hídrica. 3. Desempenho agrônômico. I. Título.


ALEXANDRE REUBER ALMEIDA DA SILVA

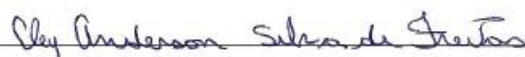
IRRIGAÇÃO PLENA E COM DÉFICIT EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS
DA CULTURA DO GIRASSOL NO SEMIÁRIDO CEARENSE


Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

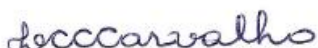
Aprovada em: 15 de Fevereiro de 2012.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC


Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas (Co-Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE


Prof.ª Dr.ª. Aiala Vieira Amorim (Conselheira)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB


Prof.ª Dr.ª. Lilian Cristina Castro de Carvalho (Conselheira)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Aos meus pais, José Edilson e Francisca Lucilene, por serem os maiores responsáveis pelo êxito alcançado; À minha irmã Jéssyca Larissa por estar sempre presente em minha vida.

DEDICO

À Deus, por ter me proporcionado forças em todos os momentos; Aos meus tios, Graça Almeida e Edson Macena, pela ajuda incondicional na minha formação profissional; À minha tia Lindalva Almeida, pelo carinho constantemente recebido; Aos meus familiares, parentes e amigos, e a todos os que estiveram ao meu lado durante essa caminhada.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por se fazer presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Francisca Lucilene e José Edilson, pelo amor imensurável e por lutarem pelos meus sonhos como se fossem deles, me proporcionando tudo o que não tiveram oportunidade de ter. Minha eterna gratidão à vocês.

À minha irmã, Jéssyca Larissa, pelo companheirismo, zelo e amizade, e por acreditar tanto em mim. Enfim, por ser essa irmã que vale ouro.

Aos meus tios, Graça Almeida e Edson Macena, meus segundos pais (assim os considero), pela incondicional ajuda na minha formação humana e profissional, e por todas as oportunidades que me foram proporcionadas ao longo desta longa jornada. As palavras são insuficientes para expressar a minha gratidão.

À minha tia Lindalva Almeida, pelo carinho, pela alegria sempre presente nos momentos de reencontro, e pelo incentivo de sempre na minha busca pelos meus objetivos.

Aos demais membros de minha extensa família, que sempre apoiam minhas escolhas e me incentivam a lutar por minhas metas. Agradeço o amor incondicional, as orações, e a compreensão pelos momentos de ausência.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), através do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, por ter concedido a oportunidade de cursar o Mestrado.

Ao Prof. Dr. Marcus Bezerra, meu Orientador desde a Iniciação Científica, por quem tenho enorme respeito, admiração e gratidão, por sua indiscutível orientação no decorrer de todas as etapas deste trabalho, por sua humildade, pelo bom humor, pela confiança, amizade, respeito, apoio, paciência e pelo oferecimento de inúmeras oportunidades que tanto contribuem para o engrandecimento de minha formação pessoal e profissional.

Ao meu Coorientador e amigo Prof. Dr. Cley Anderson, que sempre me incentivou e me desafiou a atuar no campo da pesquisa, por todo o apoio, conhecimentos e aconselhamentos transmitidos.

Aos demais membros da banca examinadora, Prof^a. Dr^a. Aiala Amorim e Prof^a. Dr^a. Lilian de Carvalho, por terem aceitado prontamente o meu convite, e terem disponibilizado do seu valioso tempo para contribuir no enriquecimento desta Dissertação.

Ao amigo Jarde Guimarães, pela singular responsabilidade, disposição constante e auxílio indispensável na condução do experimento de campo.

Aos funcionários da Fazenda Experimental do Vale do Curu – UFC, pelo apoio.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola – UFC, pelo apoio, e amizade, em especial, aos amigos Ana Maria e Manoel Jacó, pela boa convivência e presteza.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agradeço pela bolsa de estudos concedida, que viabilizou o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Claudivan Feitosa, pela amizade e presteza em todas as ocasiões de que dele precisei, inclusive na execução das análises inerentes as trocas gasosas foliares.

Ao Prof. Dr. Thales Vinícius, pessoa tranquilíssima, que ensina de forma eficiente e bem humorada, pela amizade e pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFC, especialmente aqueles que partilharam comigo os seus imensuráveis conhecimentos quando cursei suas disciplinas ao longo do Curso de Mestrado: Prof. Dr. Assis Júnior, Prof. Dr. Camboim Neto, Prof. Dr. João Hélio, Prof. Dr. Marlos Bezerra e Prof. Dr. Nonato Costa.

À todos os companheiros do Curso de Graduação em Agronomia – UFC turma 2005.1, em especial aos amigos: André Rufino, Daniel Pontes, João Valdenor, Léo Jackson, Nayara Roberto e Odílio Coimbra, que compartilham comigo as alegrias e as dificuldades vivenciadas na Universidade.

Aos demais amigos da turma de Mestrado em Engenharia Agrícola - UFC 2010.1: Daniely Lira, Daniel Araújo, Eduardo Magno, Elivânia Maria, Alexandre Sales, Robevânia Borges, Júlio César, Karísia Mara, Nayara Rochelli, Rafaela Caitano e Ramyro Batista Por todo o apoio, incentivo, colaboração, amizade e conhecimento compartilhado.

À todos os demais Mestrandos e Doutorandos em Engenharia Agrícola – UFC, especialmente, aos meus contemporâneos: Adriana Araújo, Aglodualdo Júnior, Alan Diniz, Alan Sombra, Ana Paula, André Henrique, Antonio Dimas, Artênio Cabral, Bruno Mesquita, Carlos Alexandre, Carlos Henrique, Chrislene Nojosa, Cicero Almeida, Clênio Jario, Clescy Oliveira, Cristian Epifânio, Daniel Brasil, Daniel Feitosa, Danielle Araújo, Eddie Leal, Efraim Araújo, Eliakim Araújo, Elisângela Santos, Emília Araújo, Enio Marques, Everton Alves, Fábio Henrique, Fernando Bezerra, Geocleber de Sousa, Gabriel Castro, Hernandes Oliveira, Igor Cordeiro, Inêz Gifone, Júnior Ribeiro, Karla Araújo, Kássius Vinícius, Kleiton Saraiva, Leandro Barbosa, Leila Neves, Luiz Carlos, Marcos Alves, Marcos Amauri, Mario Oliveira, Michele Bessa, Moacir Duarte, Monikuelly Mourato, Newdmar Fernandes, Olavo Moreira, Ricardo Andrade, Sílvia Ferreira, Simone Raquel, Thiago Mesquita, Wellington Lopes... Que se transformaram em grandes amigos. Agradeço pelo convívio saudável, pelos momentos de aprendizado, descontração e amizade. Cada um, ao seu modo, contribui para que tudo se tornasse tão mais fácil.

Aos amigos do Laboratório de Física do Solo – UFC, Prof. Dr. Jaedson Mota, Carlos Levi e Franzé, pela valiosa ajuda na confecção das curvas de retenção da água no solo.

Ao Laboratório de Fisiologia da Produção – UFC, na pessoa do Prof. Dr. João Pitombeira, que viabilizou a execução das análises dos teores de óleo.

Aos bolsistas e funcionários do Laboratório de Nutrição Animal – UFC, pela contribuição na realização das análises dos teores de proteína.

Ao Laboratório de Sementes – UFC, na pessoa do amigo Wener Santos, por disponibilizar a infraestrutura necessária para a realização da secagem do material vegetal.

Aos bolsistas de Graduação do DENA – UFC, Fidel Carlos, Jardelson Ferreira, Jean Carlos, Keivia Lino, Laís Monique, Marcelo Lage, Rodrigo Lima e Thamires Paiva, que torceram e se alegraram comigo por mais esta conquista.

Aos amigos Carlos Rafael e Letícia Darcy, que são como membros da minha família, agradeço pela boa convivência, pelo incentivo e pelos bons momentos compartilhados.

Aos amigos de Pós-Graduação Aires Sizenando, Ana Caroline, Antônio Ricardo, Camila Campos, Carmem Mareco, Edineide Barbosa, Isabel Cristina, Jordânia Gabriel, José de Souza, Marcos Neves, Priscila Alves e Rousilene Diniz. Por toda força, amizade e torcida.

Aos amigos da cidade de Morada Nova – CE, que sempre estiveram comigo, Acassiano Lino, Ana Cleide, Ana Caroline, Aridiana Noronha, Aristo Barros, Diego, Gabriela Brilhante, George Castro, Geraldo Neto, Gilson Dutra, Leila Marta, Lima Neto, Oziran Caetano, Marcelo Rebouças, Márcia Cavalcante, John Nilbérck, Olavo Júnior, Patrícia Maia, Priscila Maia, Regino Oliveira, Renata Sampaio, Rogéria Maria, Thycianne Castro, Vladson Galdino... Agradeço por vocês participarem diretamente das minhas vitórias.

Finalmente, agradeço à todos que porventura não foram citados, mas que de alguma forma colaboraram para que esta Dissertação de Mestrado se tornasse uma realidade.

“Eles são submissos. A sabedoria vegetal os conduz a uma forma de seguimento surpreendente. Estão mergulhados numa forma de saber milenar, regra que a criação fez questão de deixar na memória da espécie. Eles não podem sobreviver sem a força que os ilumina. Por isso, estão entregues aos intermitentes e místicos movimentos de procura. Eles giram e querem o sol. Eles são girassóis. Girassol só pode ser feliz se para o Sol estiver orientado. É por isso que eles não perdem tempo com as sombras. Eles já sabem, mas nós precisamos aprender.”

(FÁBIO JOSÉ DE MELO SILVA)

“É indispensável que encaremos a água como algo além de uma mera substância química, é forçoso que à água seja dado um valor maior que o econômico, pois além de ser tudo isso, ela também é condição indispensável à vida.”

(DALVINO TROCOLI FRANCA)

RESUMO GERAL

SILVA, Alexandre Reuber Almeida da. Universidade Federal do Ceará, Fevereiro de 2012. **Irrigação plena e com déficit em diferentes estádios fenológicos da cultura do girassol no semiárido cearense.** Orientador: Francisco Marcus Lima Bezerra. Coorientador: Cley Anderson Silva de Freitas. Conselheiras: Aiala Vieira Amorim; Lilian Cristina Castro de Carvalho.

As culturas agrícolas apresentam estádios fenológicos de menor suscetibilidade ao déficit hídrico do solo, nos quais a estratégia de manejo da irrigação deficitária pode ser empregada, no intuito de maximizar a produção por unidade de água aplicada. Assim, objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar as respostas da cultura do girassol a irrigação plena e a diferentes regimes de déficit hídrico durante seus estádios fenológicos, visando reunir informações que permitam diagnosticar a viabilidade técnica da aplicação da irrigação deficitária na cultura, para as condições do semiárido cearense. Em campo, o experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Vale do Curu, em Pentecoste – CE, sob delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições e oito tratamentos, definidos em função da época de indução do déficit hídrico nos três estádios fenológicos do girassol (vegetativo, floração e formação da produção), correspondendo à ocorrência de déficit hídrico em um, dois ou três estádios. O déficit correspondeu à aplicação da metade da lâmina de irrigação do tratamento sem déficit hídrico. Foram procedidos todos os tratos culturais e fitossanitários necessários. Para se mensurar os efeitos dos tratamentos foram avaliadas ao término de cada estágio fenológico às seguintes variáveis: temperatura foliar, taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO₂, eficiências instantâneas e intrínsecas de uso da água, altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, produção de fitomassa seca dos constituintes da parte aérea (caule, folha, pecíolo e capítulo) e a participação de cada um deles em relação à produção de fitomassa seca total (partição). Por ocasião da colheita, avaliaram-se os componentes de produção (diâmetro do capítulo, massa de 1.000 aquênios e os teores de óleo e de proteínas), os rendimentos potenciais de produção de aquênios, óleo e proteínas, e os índices de eficiência de uso da água em produzir aquênios, óleo e proteínas. As variáveis foram submetidas à análise estatística realizando-se análise de variância (Teste F) e Teste de Tukey para comparação de médias. Determinaram-se, ainda, os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) nos estádios isolados e no ciclo total da cultura, através da relação entre a queda de rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração relativa. Os resultados mostraram que a temperatura foliar e as trocas gasosas, não mostraram efeitos do nível déficit hídrico avaliado, independentemente da época em que os mesmos foram aplicados. As épocas de avaliação influenciaram todas as variáveis relacionadas às trocas gasosas, com exceção da eficiência intrínseca de uso da água. A altura da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule foram negativamente afetados pelos efeitos isolados dos déficits de irrigação e das épocas de avaliação. Os déficits de irrigação e as épocas de avaliação interagiram e afetaram a área foliar, a massa seca da folha, do pecíolo, do caule, do capítulo e a total. Os déficits de irrigação não modificaram a partição de fitomassa. Foram observadas modificações no diâmetro dos capítulos, na massa de mil aquênios, no teor de óleo dos aquênios, no potencial de produção de aquênios, óleo e proteína, e na eficiência de uso da água na produção de aquênios e óleo nos déficits hídricos aplicados. A estratégia de manejo da irrigação com déficit durante os estádios vegetativo e de floração do girassol contribuiu para a obtenção de um potencial de produção de aquênios na cultura em um nível equiparado ao alcançado no cultivo sem déficit hídrico durante toda a estação de crescimento. Independentemente da fase fenológica, o déficit hídrico exerceu efeito benéfico na eficiência de uso da água na produção de aquênios. A incidência de déficit hídrico durante o estágio de

floração foi mais vantajosa para a eficiência de uso da água na produção de óleo, do que em qualquer outra fase, e não influenciou a eficiência de uso da água na produção de proteína, independentemente da etapa fenológica em que esse ocorreu. A sensibilidade ao déficit hídrico, quantificada mediante o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) variou na seguinte ordem decrescente: formação da produção, vegetativo e floração, para déficit aplicado em apenas um estágio fenológico. Para as condições de déficit em dois estádios, o coeficiente K_Y indicou que a insuficiência de água exerce maior impacto sobre o rendimento de aquênios do girassol quando ocorre simultaneamente nos estádios vegetativo e de formação da produção. Como os valores de K_Y foram inferiores a 1 em todos os estádios, conclui-se que a cultura demonstrou uma baixa sensibilidade aos déficits hídricos aplicados, mostrando-se, portanto, adaptável à prática da irrigação com déficit durante todo o seu ciclo.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L. Restrição de água. Desempenho agronômico. K_Y . Otimização da irrigação.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Alexandre Reuber Almeida da. Universidade Federal do Ceará, February 2012. **Full and deficit irrigation in different phenological stages of the sunflower cultivation in the Ceara semiarid.** Advisor: Francisco Marcus Lima Bezerra. Joint advisor: Cley Anderson Silva de Freitas. Advisors: Aiala Vieira Amorim; Lilian Cristina Castro de Carvalho.

Crops have phenological stages with less susceptibility to water deficit, in which the strategy of deficit irrigation management can be employed in order to maximize production per unit of irrigation water. Thus, the purpose of this research was to evaluate the responses of sunflower cultivation with full irrigation and with different water deficits during its phenological stages in order to collect information on the technical feasibility of the irrigation deficit in the sunflower crop, for the conditions of the semiarid in state of Ceara, Brazil. In the field the experiment was conducted at Experimental Farm Vale do Curu, in Pentecoste (Ceara, Brazil) under experimental design of randomized blocks with four replications and eight treatments, defined in function of the time of water deficit induction in the three sunflower phenological stages (vegetative, flowering and production formation), corresponding to the occurrence of water deficit in one, two or three stages. The water deficit irrigation level employed consisted of half the irrigation evaluated as being full irrigation. All the cultural and phytosanitary practices required was carried. In order to measure the effects of the treatments it was evaluated, at the end of each developmental stage, the following variables: leaf temperature, photosynthesis rates, transpiration, stomatal conductance, internal concentration of CO₂, instantaneous efficiencies and intrinsic water use, plant height, quantity of leaf, stem diameter, leaf area, dry biomass production of the constituents of the aerial part (stem, leaf, petiole and chapter) and the participation of each element in relation to the production of total dry matter (partition). On the occasion of harvest time, it was evaluated the components of production (diameter of chapter, mass of 1000 achenes and oil and protein content), the income potential of producing achenes, oil and protein, and the indices of efficiency of water use to produce achenes, oil and protein. The variables were subjected to statistical analysis, performing analysis of variance (F test) and Tukey's test to compare means. It was also determined the coefficients of sensitivity to water deficit (K_Y) isolated in stadiums and in the cycle of the crop through the relationship between relative income decrease and relative evapotranspiration deficit. The results presented that the temperature and leaf gas exchange showed no effects of the applied water stresses, regardless of the time when these were applied. The times of evaluation influenced all variables related to gas exchange, except for the intrinsic efficiency of water use. The plant height, leaf number and stem diameter were negatively affected by the isolated effects of irrigation deficits and evaluation times. The irrigation deficit and the evaluation time interacted and affected leaf area, dry mass of leaf, petiole, stem, capitulum and total dry mass. The deficit irrigation did not change the partition of dry matter. Changes were observed in capitulum diameter, in the mass of one thousand achenes, in the achene oil content, in the achene, oil and protein production potentials, and in the water use efficiency in the production of achenes and oil (for the applied water deficits). The management strategy of water deficit during the vegetative and flowering stages contributed to the achievement of an achene production potential at a level equivalent to that achieved in cultivation with full irrigation throughout the growing season. Regardless of the phenological phase, the water deficit exerted a positive effect on the efficiency of water use in the achene production. The incidence of water deficit during the flowering stage was more advantageous to the efficiency of water use in oil production than at any other stage, and did not influence the efficiency of water use in protein production, regardless of phenological stage on which it happened. Sensitivity to water deficit quantified by the coefficient of

sensitivity to water stress (K_Y) varied in the following decreasing order: production formation, vegetative and flowering, with water deficit occurring in only one developmental stage. For the deficit conditions in two stages, the coefficient K_Y showed that the lack of water has the greatest impact on sunflower achene yield when it occurs in both vegetative and production formation stages. As the K_Y values were less than 1 at all stages, it is concluded that the sunflower culture showed a low sensitivity to the water deficits applied, showing, therefore, vulnerability to water deficit irrigation practice throughout its cycle.

Keywords: *Helianthus annuus* L. Restriction of water. Agronomic performance. K_Y . Irrigation optimization.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 -	Mapa de localização da área experimental. Pentecoste – CE, 2010.	56
Figura 2 -	Médias diárias da temperatura do ar durante a condução do experimento. Pentecoste – CE, 2010.	57
Figura 3 -	Médias diárias da umidade relativa do ar durante a condução do experimento. Pentecoste – CE, 2010.	57
Figura 4 -	Aquênios (A) e capítulo (B) da cultivar de girassol Multissol. Pentecoste – CE, 2010.	59
Figura 5 -	Início do estágio vegetativo (A), início do estágio de floração (B), início e término do estágio de formação da produção (C) e (D), respectivamente, da cultura do girassol, cv. Multissol. Pentecoste – CE, 2010.	61
Figura 6 -	Croqui geral ilustrando a distribuição dos tratamentos no campo experimental (A). Representação esquemática dos detalhes da parcela experimental (B). Pentecoste – CE, 2010.	62
Figura 7 -	Preparo convencional do solo da área experimental. Pentecoste – CE, 2010.	63
Figura 8 -	Semeadura (A) e planta de girassol após a realização do desbaste (B). Pentecoste – CE, 2010.	64
Figura 9 -	Componentes do sistema de irrigação. Adução (A), sistema motobomaba e filtro de disco (B), injetor de fertilizantes (C), linha principal (D), cavalete (E), linhas laterais (F). Pentecoste – CE, 2010.	65
Figura 10 -	Coleta das vazões durante a avaliação da uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação (A). Tanque evaporímetro do tipo Classe “A” na área experimental (B). Pentecoste – CE, 2010.	66
Figura 11 -	Injeção da solução nutritiva no sistema de irrigação através do injetor do tipo Venturi (A). Monitoramento da condutividade elétrica da solução nutritiva aplicada pelo sistema de irrigação com condutivímetro digital portátil. Pentecoste – CE, 2010.	68
Figura 12 -	Capina na cultura do girassol para eliminação das plantas infestantes. Pentecoste - CE, 2010.	69
Figura 13 -	Medições da temperatura foliar e das trocas gasosas nas folhas do girassol com o analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT. Câmara foliar do aparelho (A). Sistema de aquisição de dados (B). Pentecoste – CE, 2010.	70

CAPÍTULO 2

Figura 1 -	Mensuração da largura perpendicular ao alinhamento da nervura central em folhas de girassol para a estimativa da área foliar, por meio do modelo proposto por Maldaner <i>et al.</i> (2009). Pentecoste – CE, 2010.	87
Figura 2 -	Coleta da planta de girassol para a avaliação da produção de fitomassa pelos distintos órgãos componentes da parte aérea. Pentecoste – CE, 2010.	88

Figura 3 -	Órgãos componentes da parte aérea do girassol. Separação do pecíolo do caule (A), separação do pecíolo da folha (B), segmentação do caule (C), pecíolo (D) e capítulo (E). Pentecoste – CE, 2010.	88
Figura 4 -	Contribuição relativa percentual (%) da fitomassa seca da folha (MSFOLHA), do pecíolo (MSPECÍOLO), do caule (MSCAULE) e do capítulo (MSCAPÍTULO) na produção de fitomassa seca total do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento aos 52 (E1), 68 (E2) e 110 (E3) dia após a semeadura (DAS). Pentecoste - CE, 2010.	101

CAPÍTULO 3

Figura 1 -	Colheita manual (A), secagem (B) e beneficiamento mecânico dos capítulos do girassol (C). Pentecoste – CE, 2010.	112
Figura 2 -	Medição do diâmetro do capítulo do girassol. Pentecoste – CE, 2010.	113
Figura 3 -	Contagem (A) e pesagem (B) dos aquênios para determinação da massa de mil aquênios do girassol. Pentecoste – CE, 2010.	114
Figura 4 -	Aparelho extrator de gordura modelo TE - 044 da TECNAL [®] utilizado para a determinação do teor de óleo dos aquênios. Pentecoste – CE, 2010.	115
Figura 5 -	Etapas de digestão (A), destilação (B) e titulação (C) das amostras de aquênios de girassol durante a execução do método Kjeldahl para a determinação do teor de proteínas. Pentecoste – CE, 2010.	117
Figura 6 -	Diâmetro do capítulo do girassol (Φ_{CAP}), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 1,53301), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	120
Figura 7 -	Massa de mil aquênios do girassol ($M_{1.000A}$), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 3,50914), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	122
Figura 8 -	Potencial de produção de aquênios do girassol ($PP_{AQÊNIOS}$), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 139,61100), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	125
Figura 9 -	Teor de óleo dos aquênios do girassol ($T_{ÓLEO}$), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 1,31571), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	129
Figura 10 -	Teor de proteína dos aquênios do girassol ($T_{PROTEÍNA}$), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 3,57816), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	132

Figura 11 -	Potencial de produção de óleo ($PP_{\text{ÓLEO}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 88,88850), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	135
Figura 12 -	Potencial de produção de proteína ($PP_{\text{PROTEÍNA}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 155,61170), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	137
Figura 13 -	Eficiência de uso da água na produção de aquênios ($EUA_{\text{AQUÊNIOS}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 0,61458), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	139
Figura 14 -	Eficiência de uso da água na produção de óleo ($EUA_{\text{ÓLEO}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 0,34530), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	142
Figura 15 -	Eficiência de uso da água na produção de proteína ($EUA_{\text{PROTEÍNA}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 0,61527), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.	145

CAPÍTULO 4

Figura 1 -	Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico no solo com a cultura do girassol. Pentecoste – CE, 2010.	160
Figura 2 -	Instalação dos tensiômetros de punção (A) e aferição das leituras (B). Pentecoste – CE, 2010.	161
Figura 3 -	Coletas das amostras indeformadas de solo (A e B), placa de Haines (C) e sistemas de câmara de Richards (D) durante a aplicação das tensões nas amostras de solo em laboratório. Pentecoste – CE, 2010.	162
Figura 4 -	Curvas características de água no solo da área experimental para as profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m. Pentecoste - CE, 2010.	163

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 -	Características físicas e físico-hídricas do solo da área experimental. Pentecoste – CE, 2010.	58
Tabela 2 -	Características químicas do solo da área experimental. Pentecoste – CE, 2010.	59
Tabela 3 -	Identificação dos tratamentos utilizados no experimento. Pentecoste – CE, 2010.	60
Tabela 4 -	Características químicas da água de irrigação. Pentecoste – CE, 2010.	65
Tabela 5 -	Valores percentuais (%) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e boro (B) aplicados na semeadura e ao longo das fertirrigações durante o desenvolvimento da cultura do girassol. Pentecoste – CE, 2010.	68
Tabela 6 -	Resumo da análise de variância das variáveis fisiológicas do girassol, submetidas à deficiência hídrica nos diferentes estádios fenológicos. Pentecoste – CE, 2010.	71
Tabela 7 -	Fotossíntese, Transpiração, Condutância estomática, Concentração interna de CO ₂ , Temperatura foliar e Eficiência instantânea de uso da água do girassol aos 52, 68 e 103 DAS. Pentecoste – CE, 2010.	74

CAPÍTULO 2

Tabela 1 -	Resumo das análises de variância das variáveis morfológicas do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Pentecoste – CE, 2010.	90
Tabela 2 -	Médias das variáveis morfológicas altura de plantas - A _P , número de folhas - N ^o _F e diâmetro do caule - Φ _C do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Pentecoste – CE, 2010.	90
Tabela 3 -	Médias das variáveis morfológicas altura de plantas - A _P , número de folhas - N ^o _F , e diâmetro do caule - Φ _C aos 52, 68 e 110 DAS. Pentecoste – CE, 2010.	93
Tabela 4 -	Médias de área foliar – A _F (m ² planta ⁻¹) do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento aos 52, 68 e 110 dias após a semeadura (DAS). Pentecoste – CE, 2010.	94
Tabela 5 -	Resumo das análises de variância das variáveis de fitomassa do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Pentecoste – CE, 2010.	96
Tabela 6 -	Médias de fitomassa seca da folha – MS _F , do pecíolo - MS _P , do caule - MS _{CAU} , do capítulo - MS _{CAP} e total da parte aérea - MS _T (g planta ⁻¹) do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento aos 52, 68 e 110 dias após a semeadura (DAS). Pentecoste – CE, 2010.	97

CAPÍTULO 3

Tabela 1 -	Resumo das análises das variâncias para os dados de diâmetro do capítulo (Φ_{CAP}), massa de mil aquênios ($M_{1.000A}$), potencial de produção de aquênios ($PP_{AQÊNIOS}$), teor de óleo dos aquênios ($T_{ÓLEO}$) e teor de proteína dos aquênios ($T_{PROTEÍNA}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Pentecoste – CE, 2010.	119
Tabela 2 -	Resumo das análises das variâncias para os dados de potencial de produção de óleo ($PP_{ÓLEO}$), potencial de produção de proteína ($PP_{PROTEÍNA}$), eficiência de uso da água na produção de aquênios ($EUA_{AQÊNIOS}$), eficiência de uso da água na produção de óleo ($EUA_{ÓLEO}$) e eficiência do uso da água na produção de proteína ($EUA_{PROTEÍNA}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Pentecoste – CE, 2010.	134

CAPÍTULO 4

Tabela 1 -	Valores dos parâmetros α , n , m , θ_r (umidade residual), θ_s (umidade de saturação) da equação de Van Genuchten nas profundidades 0,1; 0,3 e 0,5 m, do solo da área experimental. Pentecoste – CE, 2010.	162
Tabela 2 -	Potencial de produção de aquênios dos tratamentos submetidos ao déficit hídrico (T2, T3, T4, T5, T6 e T7) (Y_R), potencial de produção de aquênios do tratamento que não sofreu déficit hídrico (Y_M), razão entre os potenciais de produção de aquênios ($Y_R Y_M^{-1}$), déficit de produtividade [$1 - (Y_a Y_m^{-1})$], evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}), razão entre as evapotranspirações da cultura e a potencial ($ET_c ET_{pc}^{-1}$), déficit de evapotranspiração [$1 - (ET_c ET_{pc}^{-1})$] e coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do girassol (K_Y). Pentecoste – CE, 2010.	166

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	A cultura do Girassol	22
2.1.1	Histórico, origem e dispersão	22
2.1.2	Classificação botânica, aspectos morfológicos e fisiológicos	22
2.1.3	Estádios fenológicos do girassol	26
2.1.4	Exigências climáticas e edáficas	27
2.1.5	Usos e potencialidades do girassol	29
2.1.6	Principais produtores	30
2.2	Déficit hídrico	31
2.3	Girassol e déficit hídrico	32
2.4	Irrigação	36
2.4.1	Irrigação com déficit	38
2.5	Coeficientes de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (K_Y)	40
	REFERÊNCIAS	44

CAPÍTULO 1: TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE GIRASSOL SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS	52
--	----

RESUMO	52	
ABSTRACT	53	
1	INTRODUÇÃO	54
2	MATERIAL E MÉTODOS	56
2.1	Localização e caracterização ambiental da área experimental	56
2.1.1	Caracterização climática da região	57
2.1.2	Caracterização do solo	58
2.2	Material vegetal	59
2.3	Delineamento experimental e tratamentos	60
2.4	Instalação e condução da cultura	63
2.4.1.	Preparo da área	63
2.4.2	Adubação de fundação	63
2.4.3	Semeadura e desbaste	64
2.5	Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação	64
2.6	Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários	69
2.7	Medições da temperatura foliar e das trocas gasosas	69
2.8	Análise estatística	70
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	78

CAPÍTULO 2: MORFOLOGIA E FITOMASSA DO GIRASSOL CULTIVADO COM DÉFICITS DE IRRIGAÇÃO EM SEUS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO	81
---	----

RESUMO	81
ABSTRACT	82

1	INTRODUÇÃO	83
2	MATERIAL E MÉTODOS	85
2.7	Variáveis analisadas	86
2.7.1	Morfologia	86
2.7.1.1	Altura de plantas	86
2.7.1.2	Número de folhas	86
2.7.1.3	Diâmetro do caule	86
2.7.1.4	Área foliar	87
2.7.2	Fitomassa	87
2.7.3	Partição de fitomassa	89
2.8	Análise estatística	89
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
3.1	Morfologia	90
3.2	Fitomassa	96
3.3	Partição de fitomassa	101
4	CONCLUSÕES	103
	REFERÊNCIAS	104

	CAPÍTULO 3: COMPONENTES DE PRODUÇÃO, RENDIMENTOS E USO EFICIENTE DA ÁGUA NA CULTURA DO GIRASSOL EM RESPOSTA A REGIMES DE DÉFICIT HÍDRICO EM SEUS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO	107
--	---	-----

	RESUMO	107
	ABSTRACT	108
1	INTRODUÇÃO	109
2	MATERIAL E MÉTODOS	111
2.7	Colheita e beneficiamento	112
2.8	Variáveis avaliadas	113
2.8.1	Componentes de produção	113
2.8.1.1	Diâmetro do capítulo	113
2.8.1.2	Massa de 1.000 aquênios	113
2.8.1.3	Potencial de produção de aquênios	114
2.8.1.4	Teor de óleo	115
2.8.1.5	Teor de proteína	116
2.8.2	Rendimentos e uso eficiente da água	117
2.8.2.1	Potencial de produção de óleo e de proteína	117
2.8.2.2	Eficiência de uso da água na produção de aquênios, óleo e proteína	118
2.9	Análise estatística	118
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	119
3.1	Componentes de Produção	119
3.1.1	Diâmetro do capítulo	119
3.1.2	Massa de 1.000 aquênios	122
3.1.3	Potencial de produção de aquênios	125
3.1.4	Teor de óleo	128
3.1.5	Teor de proteína	131
3.2	Rendimentos e uso eficiente da água	134
3.2.1	Potencial de produção de óleo	134
3.2.2	Potencial de produção de proteína	137
3.2.3	Eficiência de uso da água na produção de aquênios	139

3.2.4	Eficiência de uso da água na produção de óleo	142
3.2.5	Eficiência de uso da água na produção de proteína	144
4	CONCLUSÕES	146
	REFERÊNCIAS	147

CAPÍTULO 4: COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE AO DÉFICIT HÍDRICO PARA A CULTURA DO GIRASSOL NAS CONDIÇÕES DO SEMIÁRIDO CEARENSE	154
--	-----

RESUMO	154
ABSTRACT	155
1 INTRODUÇÃO	156
2 MATERIAL E MÉTODOS	158
2.7 Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y)	159
2.7.1 Potencial de produção de aquênios	159
2.7.2 Evapotranspiração potencial da cultura e evapotranspiração da cultura	159
2.7.2.1 Determinação dos componentes do balanço hídrico no solo	161
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	166
4 CONCLUSÕES	171
REFERÊNCIAS	172

1 INTRODUÇÃO GERAL

A biodiversidade brasileira reúne uma ampla variedade de plantas oleaginosas aptas a serem empregadas como fornecedoras de matéria-prima para o atendimento da indústria de óleos vegetais, que demandam sempre uma produção em maior escala. Dentre as opções disponíveis, no semiárido do Nordeste do Brasil, a produção de óleo de mamona tem recebido grande destaque, devido ao crescente interesse pela indústria ricinoquímica e pela incessante busca por fontes energéticas alternativas (CHECHETTO; SIQUEIRA; GAMERO, 2010). Entretanto, além da mamona, o girassol, por suas particularidades como ciclo curto, elevada qualidade e bom rendimento de óleo, também tem sido nacionalmente difundido, e desponta como uma opção especialmente viável para a região, haja vista ser uma espécie relativamente insensível às altas e baixas temperaturas, ser relativamente tolerante à deficiência hídrica e ser pouco influenciada pela latitude, altitude e fotoperíodo (GOMES *et al.*, 2006).

Além da extração do óleo, o girassol pode ainda ser destinado a outros fins. O subproduto da extração do óleo (farelo) possui elevados teores de proteína bruta, o que permite o seu uso no raçãoamento animal. As folhas e os caules podem ser ensilados para aumentar a oferta de volumosos durante a estação seca, e podem ainda promover uma excelente adubação verde, assim como suas raízes pivotantes que promovem uma considerável reciclagem de nutrientes, incrementando o conteúdo de matéria orgânica do solo quando os restos culturais são deixados após a colheita. Além disso, suas sementes podem ser também prontamente utilizadas na alimentação humana e animal (FURLAN *et al.*, 2001).

Normalmente, na região semiárida brasileira as culturas agrícolas estão condicionadas aos efeitos de diversos estresses abióticos, os quais, isoladamente ou em conjunto, limitam drasticamente o crescimento e a produtividade das culturas. Entre estes fatores ambientais que exercem influências desvantajosas sobre as plantas, o déficit hídrico, em decorrência da irregularidade das precipitações naturais no tempo e no espaço, tem sido considerado a forma mais severa de estresse abiótico nesta região (TAIZ; ZEIGER, 2010; TROVÃO *et al.*, 2007).

Os efeitos da deficiência hídrica sobre a produtividade agrícola podem ser eliminados através da irrigação, entretanto com a tendência de escassez dos recursos hídricos, e sendo a agricultura irrigada, a responsável pelo uso de aproximadamente 69% da água consumida no mundo, torna-se necessário, mais que nunca, adotar estratégias de manejo de

irrigação que possam aumentar a eficiência do uso da água por parte das culturas agrícolas. Neste sentido, atualmente, e mais ainda no futuro, acredita-se que agricultura irrigada terá que ser desenvolvida dentro da perspectiva da escassez hídrica, sobremaneira naquelas regiões inseridas no domínio semiárido (BRASIL, 2008). Assim, definitivamente, amplia-se o interesse pela realização de estudos que possam mostrar um rendimento aceitável por parte das culturas agrícolas, mesmo diante da incidência de déficit hídrico durante as estações de cultivo (BILIBIO *et al.*, 2011).

Uma alternativa para driblar a escassez da oferta de água é a prática do déficit de irrigação, definida como o manejo no qual a lâmina média de água, aplicada durante todo o ciclo, ou em estádios específicos do desenvolvimento, é inferior a evapotranspirada. Essa prática pode ser uma importante ferramenta, quando se deseja reduzir o consumo de água na irrigação, maximizando então a eficiência de uso da água (FERERES; SORIANO, 2007). Segundo Galbiatti *et al.* (2004), à medida que se desenvolvem estratégias de manejo de irrigação, torna-se importante conhecer os efeitos da deficiência hídrica nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas, no intuito de identificar os estádios fenológicos da cultura que apresentam uma menor sensibilidade ao déficit de água do solo, nos quais as lâminas de irrigação podem ser reduzidas, sem, contudo acarretar decréscimos significativos da produção.

Os relatos presentes na literatura sobre o desempenho da cultura do girassol em condições irrigadas indicam aumentos na sua produtividade e na qualidade de sua produção em relação ao cultivo de sequeiro (SILVA *et al.*, 2007). Mundialmente, algumas pesquisas avaliaram a viabilidade técnica da irrigação com déficit na cultura do girassol e constataram a possibilidade de se alcançar o rendimento da cultura próximo ao ótimo, mesmo sob a prática da irrigação deficitária, permitindo até certo nível de perda de rendimento, porém com retornos técnicos e econômicos mais expressivos, adquiridos como benefícios do desvio da água economizada na irrigação (KIRDA, 2002).

Apesar da importância do emprego da irrigação com déficit, onde existe escassez de água a nível regional, como no caso do semiárido cearense, ainda são insuficientes os resultados de estudos locais que subsidiem o aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes culturas que são potencialmente capazes de serem exploradas sob regime de irrigação.

No que se relaciona ao manejo da irrigação com déficit, o fator decisivo a ser obedecido, a fim de se aplicar ou não esta técnica em uma determinada cultura, nas especificações edafoclimáticas de uma região deve basear-se firmemente nas complexas

relações integrantes do sistema água-solo-planta-atmosfera (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Para tanto, é necessário conhecer as respostas fisiológicas, de crescimento e de produtividade da cultura de interesse em função das diferentes quantidades de água fornecida ao longo do seu ciclo, e estabelecer as fases de desenvolvimento de maior ou menor suscetibilidade ao déficit hídrico.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a relação entre o rendimento de uma cultura e o suprimento de água, em síntese, pode ser determinada mediante a determinação de um coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y), que é uma representação simplificada e aproximada da integração dos fatores físicos, químicos e morfofisiológicos que delineiam os efeitos do estresse hídrico tanto em estádios específicos de crescimento, como no ciclo total sobre o rendimento da cultura. O que permite considerar este coeficiente como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão quanto à viabilidade e adequabilidade da prática da irrigação com déficit nas culturas agrícolas. Sendo também de grande serventia no planejamento e operacionalização das áreas irrigadas, por permitir quantificar a água de irrigação e sua utilização, em termos de rendimento e produção total da cultura para toda a área irrigada (CARVALHO *et al.*, 2000).

Em função dessas considerações, partindo-se da hipótese de que a cultura do girassol possui uma exigência diferenciada de água ao longo de seu ciclo e que o seu rendimento agrônômico está diretamente associado a diferentes conteúdos de água no solo, como resultado das alterações que ocorrem no desenvolvimento das plantas em decorrência da sensibilidade ou resistência ao déficit hídrico em cada distinta etapa do ciclo fenológico, realizou-se a presente pesquisa com o objetivo geral de avaliar as respostas da cultura do girassol à irrigação plena e a diferentes regimes de déficit hídrico durante seus estádios fenológicos, visando reunir informações que permitam diagnosticar a viabilidade técnica da aplicação da irrigação deficitária na cultura do girassol, nas condições edafoclimáticas do semiárido cearense.

Para atingir o objetivo geral estabelecido, esta pesquisa teve como objetivos específicos:

- (1) Avaliar os impactos das estratégias de manejo com déficit de irrigação nos aspectos morfofisiológicos das plantas, na produção e nos componentes de produtividade, nas características de qualidade química da produção, nos rendimentos, e nos índices de eficiência de uso da água; (2) Determinar os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) nos estádios isolados e no ciclo total da cultura, usando-se o modelo sugerido por Doorenbos e Kassam (1994).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do Girassol

2.1.1 Histórico, origem e dispersão

A origem do girassol tem causado muita controvérsia entre os estudiosos da cultura. Por vários anos, o Peru, mesmo desprovido de evidências capazes de demonstrar tal afirmação foi considerado o centro de origem desta espécie. Entretanto, algumas evidências arqueológicas encontradas nos Estados de Arizona e Novo México comprovaram que o girassol foi domesticado nesta região, onde lá já era utilizado por índios norte americanos em 3.000 anos a. C. (AGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005). Fato que fez Putt (1997), acreditar que a domesticação do girassol pode ter ocorrido antes mesmo do milho.

Acredita-se que o Brasil passou a cultivar girassol primeiramente na região Sul durante a colonização objetivando o consumo das sementes torradas, e a partir das sementes era elaborado um chá rico em cafeína comumente consumido em substituição ao café (PELEGRINI, 1985). Os primeiros cultivos comerciais de girassol como planta oleaginosa no Brasil iniciaram-se em São Paulo com sementes oriundas da Secretaria de Agricultura. Na década de 1940 foram estabelecidos os primeiros cultivos comerciais no Rio Grande Sul (AGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005).

2.1.2 Classificação botânica, aspectos morfológicos e fisiológicos

O girassol cultivado, *Helianthus annuus* L., é a espécie mais importante do ponto de vista comercial do gênero *Helianthus*. Trata-se de uma dicotiledônea anual pertencente à tribo *Heliantheae*, ordem *Synandrales* e família *Asteraceae* ou *Compositae*, seu número cromossômico é $2n = 34$. (CASTIGLIONI; OLIVEIRA, 1999; OLIVEIRA; CASTIGLIONI; CARVALHO, 2005).

É considerado um vegetal de polinização cruzada sendo, portanto, uma planta alógama fecundada por entomofilia, polinização realizada através de insetos, que no caso do girassol se dá particularmente pelas abelhas, espécie *Apis mellifera* (ALVES, 2006).

O sistema radicular desta planta é do tipo pivotante, com um grande conjunto de raízes secundárias que na ausência de impedimentos físicos e/ou químicos, podem alcançar até dois metros de profundidade (COX; JOLLIFF, 1986; JONES, 1984). Sob condições de adequado suprimento hídrico, o sistema radicular se desenvolve principalmente nos primeiros 0,40 m de profundidade, abastecendo as necessidades de água das plantas. Em contrapartida, quando no início do ciclo a planta é exposta às condições de déficit hídrico, ocorrerá maior desenvolvimento das raízes que acabam atingindo maiores profundidades e alterando a relação raiz/parte aérea. Assim, o girassol por apresentar um sistema radicular profundo e vigoroso e com uma grande massa de raízes, pode ser considerado uma espécie relativamente tolerante ao déficit hídrico do solo (CASTRO; FARIAS, 2005).

O caule do girassol cultivado é comumente não ramificado e exhibe em sua extremidade uma inflorescência conhecida como capítulo (CASTIGLIONI; OLIVEIRA, 1999). É herbáceo, de vigoroso crescimento que se acentua ainda mais a partir dos trinta dias após a emergência, possui formato cilíndrico e é revestido externamente por pelos finos e curtos, seu interior é aquoso e esponjoso e na época da maturação se torna oco e quebradiço (CASTRO; FARIAS, 2005; PELEGRINI, 1985; ROSSI, 1998).

Os caules das cultivares comerciais podem apresentar distintas curvaturas e possuem diâmetros entre 1 e 8 cm, com média situada em torno dos 4 cm e a altura das plantas oscila entre 0,7 e 4,0 m. Sendo, portanto, esta característica bastante influenciada pelas condições ambientais nas quais se encontram expostas, bem como pelo arranjo populacional adotado na formação do estande de plantas (CASTRO; FARIAS, 2005).

As folhas apresentam o limbo em formato de coração (cordiforme), são desprovidas de bainha, já que os seus pecíolos se inserem diretamente no caule (pecioladas) com grande número de tricomas, e exibem tamanha variabilidade quanto ao tamanho, forma, intensidade da coloração, pilosidade e ângulo de inserção no caule (CASTRO; FARIAS, 2005; CASTIGLIONI; OLIVEIRA, 1999).

Entre os dez a vinte dias após a emergência se dá o período de diferenciação celular e se define o número de folhas (MERRIEN, 1992). Nas atuais cultivares comerciais, o número total de folhas oscila entre 25 e 40, e varia consideravelmente em função do ciclo da planta e das condições ambientais impostas principalmente no início do desenvolvimento (CASTIGLIONI; OLIVEIRA, 1999). Desta forma, sendo as folhas os órgãos da planta que

mais percebem a deficiência hídrica, diante de tal situação as plantas de girassol tentam se ajustar reduzindo o seu número, e posteriormente o seu tamanho (CASTRO; FARIAS, 2005).

Em solos profundos e isentos de deficiência hídrica ou nutricional as plantas de girassol chegam a alcançar área foliar de até 9 m² (CASTRO; FARIAS, 2005). De acordo com Merrien (1992), para assegurar a produção de um aquênio é preciso no mínimo 1,8 a 2,0 cm² de área foliar.

O capítulo é a designação dada à inflorescência que é típica das espécies da família *Asteraceae* ou *Compositae*. Trata-se de uma formação que encerra a parte apical do caule, constituindo um receptáculo comum em forma de disco, onde há a inserção das flores sésseis que permanecem concentradas e se desenvolvem do exterior para o interior do capítulo, originando os frutos protegidos por brácteas herbáceas e pilosas que circundam todo o capítulo (CASTRO; FARIAS, 2005). A inflorescência pode apresentar diversos tamanhos e formas que podem ser planas, convexas ou côncavas (CASTRO *et al.*, 1996).

Os diâmetros dos capítulos variam de 6 a 50 cm, e podem conter entre 100 a 8.000 flores, entretanto, é mais comum que a planta encerre de 800 a 1.700 flores por capítulo (WEISS, 1983). O capítulo, aliado ao caule, são os componentes de maior contribuição na produção de biomassa final do girassol (ACOSTA, 2009).

Segundo Castiglioni e Oliveira (1999), as flores perimetrais ou liguladas são estéreis e se encontram inseridas obedecendo a uma disposição radial em uma ou duas filas. As lígulas alcançam de 5 a 10 cm, em forma de lança (lanceolada) e são normalmente amarelas. Os capítulos começam a se abrir com o aparecimento das flores liguladas em sua periferia, aos poucos vão surgindo às flores tubulares que são flores férteis e originam os aquênios até o preenchimento do centro do capítulo.

Cada flor fértil ou tuberosa pode originar um fruto seco indeiscente conhecido como aquênio, ou vulgarmente, grão, que resulta do desenvolvimento de um ovário ínfero e de um pistilo dialicarpelar. O aquênio é indeiscente e possui uma só semente, conectada à parede do fruto (pericarpo) por apenas um ponto, o funículo (CASTRO; FARIAS, 2005; ESAU, 1974; FERRI, 1977).

Comumente, os aquênios apresentam variações morfológicas em largura, comprimento, forma, cor e peso (WEISS, 1983). Castro e Farias (2005) mencionam que sementes claras ou claras estriadas apresentam geralmente um menor teor de óleo, e em contrapartida sementes negras ou negras estriadas possuem um maior rendimento em óleo.

O óvulo, após a fecundação, passa por alterações para formar a semente que é rica em óleo e proteínas e apresenta dois cotilédones. A semente, como nos demais vegetais, se

divide em tegumento, endosperma e embrião. A semente do girassol é classificada como aleuro-oleaginosa em decorrência de óleos e proteínas serem seus principais compostos orgânicos de reserva (CASTRO; FARIAS, 2005; ESAU, 1974).

Segundo Fonseca e Vázquez (1994), o girassol é uma espécie que possui uma elevada capacidade fotossintética e a área foliar tem singular importância para a produção. O heliotropismo apresentado pelas folhas jovens, decorrente da inclinação perpendicular em relação aos raios solares torna a interceptação solar mais eficiente. Para Shell e Lang (1976), este movimento das folhas é capaz de elevar a taxa de fotossíntese em até 23%, e segundo Fonseca e Vázquez (1994), aumentam entre 10 e 20% a capacidade de produção.

O girassol, bem como as demais plantas C_3 , utiliza o ciclo de Calvin como o principal meio fotossintético para produção de carboidratos. Assim, o primeiro composto estável oriundo deste processo é um açúcar composto por três carbonos, denominado ácido fosfoglicérico – PGA (TAIZ; ZEIGER, 2009). Entretanto, Banys *et al.* (1996), relatam que o girassol mesmo sendo uma espécie C_3 , apresenta um comportamento típico das espécies C_4 , por responder positivamente a elevadas temperaturas e a altas intensidades luminosas com incrementos crescentes no acúmulo de matéria seca.

Ao longo da história, o melhoramento genético do girassol foi desencadeado com diferentes objetivos, que em síntese convergiu para um objetivo-fim, que é o maior ganho no rendimento de grãos e de óleo. Desta forma, em síntese, considera-se que as aplicações dos métodos de melhoramento na cultura do girassol objetivam o desenvolvimento de cultivares (variedades e híbridos) estáveis, caracterizados por bom desempenho agrônomico e por fim altas produções (OLIVEIRA; CASTIGLIONI; CARVALHO, 2005).

Dentre as cultivares comerciais de girassol disponíveis no Brasil, a Multissol se distingue das demais por sua aptidão para os mais múltiplos usos. Esta cultivar possui um ciclo médio de 110 – 130 dias para o cultivo de grãos e dentre suas características, destaca-se por possuir um porte ereto, com uma altura média de aproximadamente 1,80 m, sem ramificações, com caule dotado de pelos ásperos em sua extensão, e por apresentar aquênios pretos rajados de branco. Apresenta boa uniformidade de maturação, rusticidade excepcional, boa produtividade, sendo indicada para a alimentação de pássaros, produção de grãos, adubação verde e produção de óleo, tanto para alimentação humana quanto para a produção de biodiesel (CATI, 2012).

2.1.3 Estádios fenológicos do girassol

Os denominados estádios fenológicos resultam de uma série de alterações decorrentes dos processos de crescimento, diferenciação e morfogênese que uma espécie vegetal atravessa durante o seu ciclo cultural, compreendendo desde a germinação da semente, passando pela maturação e o florescimento e, finalmente, chegando à senescência (TAIZ; ZEIGER, 2010).

A delimitação destes estádios fenológicos, ou fases ou estádios de desenvolvimento pelas denominadas escalas fenológicas é de fundamental importância para a realização de pesquisas agrônomicas, além de ser de grande valia no manejo cultural em condições de campo, uma vez que a execução de determinadas práticas, como adubações, tratamentos fitossanitários, dentre outras, muitas vezes, requerem o seu cumprimento em períodos específicos do crescimento (CASTRO; FARIAS, 2005).

Várias são as escalas fenológicas disponíveis na literatura que detalham de maneira clara e objetiva as etapas de desenvolvimento da cultura do girassol em condições de campo (BLAMEY; ZOLLINGER; SCHNEITER, 1997). Porém, de acordo com Ivanoff (2009), dentre as regiões que pesquisam e produzem comercialmente a cultura nos países inseridos da América do Sul, convencionou-se adotar para os objetivos pertinentes a cada um, a escala fenológica descrita por Schneiter e Miller (1981).

Nesta escala, os referidos autores separaram o ciclo do girassol em fase vegetativa (V) e em fases reprodutiva (R). O estágio vegetativo (V) ainda é subdividido em emergência (VE), e em uma série sequenciada de estádios que são temporalmente delimitados em função do número de folhas maiores que 4 cm de comprimento, quando mensurados da base da lâmina foliar até a sua respectiva extremidade. Já a fase reprodutiva (R) foi fragmentada em nove estádios, e o seu início advém com o surgimento do botão floral (R1).

Subsequentemente, os estádios R2 e R3 relacionam-se à elongação do internódio imediatamente abaixo da base da inflorescência. Posteriormente, ocorre então à abertura da inflorescência (R4), seguida da antese (R5), que, por conseguinte é ainda segmentada em vários subestádios, que são caracterizados em função do percentual do disco do receptáculo com flores que completaram ou estão em antese. Devido à semelhança entre algumas destes subestádios em R5, muitas vezes, suas observações em campo acabam sendo inviabilizadas. Segue então o estágio R6, que se caracteriza pelo final da floração. Em R7 e R8 ocorre o enchimento dos aquênios, e em R9 ocorre, finalmente, à maturação fisiológica.

2.1.4 Exigências climáticas e edáficas

O girassol é uma cultura capaz de se adaptar as mais diversas condições ambientais (ROBINSON, 1978). Podendo crescer e florescer nos mais diversos climas, desde áridos sob-regime de irrigação, a temperados em condições de sequeiro, entretanto, se mostra bastante sensível a geadas (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Assim, sua capacidade de resistir a uma considerável amplitude térmica compreendida entre 8 e 34 °C sem comprometimento na produção é uma importante particularidade que possibilita a sua adequação a lugares de noites frias e dias quentes (WEISS, 1983; ACOSTA, 2009). Durante a germinação das sementes, baixas temperaturas retardam a emergência e atrasam a distribuição das raízes que acabam resultando em plântulas de reduzido porte (CASTRO; FARIAS, 2005).

O desenvolvimento das plantas é comprometido em elevadas temperaturas, e de forma ainda mais intensa sob condições de suprimento hídrico inadequado. Entre 20 e 25 °C, geralmente, a cultura apresenta um bom desenvolvimento. Contudo, estudos desenvolvidos por Unger (1990), relatam que a temperatura ótima para o desenvolvimento encontra-se na faixa entre 27 a 28 °C. Weiss (1983) menciona que altas temperaturas antecipam o estágio reprodutivo e comprometem a eficiência da polinização, principalmente pelas abelhas.

O girassol é classificado com planta de dias curtos, ou seja, que floresce somente, ou mais rapidamente, quando recebe luz por um período superior a certo fotoperíodo crítico. Todavia, as respostas as diferentes durações do dia são bastante variáveis, diferindo segundo a cultivar e a temperatura, existindo também genótipos tipicamente neutros, capazes de florescer depois de um determinado período de crescimento vegetativo, independente da quantidade de luz incidida até então (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Acosta (2009) afirma que elevados valores de radiação solar comprometem o desenvolvimento da cultura. Já Mota (1983) afirma que o girassol é capaz de tolerar uma grande intensidade luminosa em virtude de sua alta capacidade de saturação. Fato que aliado à disponibilidade hídrica adequada, contribui para com sua tolerância a temperaturas superiores a 40 °C.

Desta forma, constata-se que a luminosidade influencia no crescimento e no desenvolvimento da cultura. Os efeitos da intensidade luminosa são variáveis nos diferentes estádios do cultivo. No início, fase na qual as folhas estão se formando, o fotoperíodo pode antecipar ou retardar o desenvolvimento. Dias curtos, reduzem a superfície foliar em

decorrência do alongamento do pecíolo. O sombreamento decorrente de altas densidades de plantas também afeta o desenvolvimento, por comprometer a atividade fotossintética. Os diferentes genótipos podem adiantar ou atrasar em até mais de 15 dias o início do florescimento, em resposta ao fotoperiodismo (CORMENZANA, 2001).

Silva (1990) menciona que não existe um consenso na literatura no que se relacionam as exigências hídricas para a cultura do girassol. Em geral, os relatos apontam o intervalo de 200 a 900 mm por ciclo, sendo que as maiores produtividades são alcançadas na faixa de 500 a 700 mm, quando bem distribuídos ao longo do ciclo cultural.

No que se diz respeito às condições edáficas, acredita-se que o girassol não é considerado uma planta muito exigente, pois se constata que ele é capaz de crescer satisfatoriamente bem na maioria dos solos, ainda que prefira os bens corrigidos, de textura média, profundos, bem drenados, planos, férteis e com pH ligeiramente ácido a neutro, sem limitações ao sistema radicular e com consideráveis teores de matéria orgânica (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Em virtude de seu extenso sistema radicular, o girassol é capaz de favorecer a estrutura e a fertilidade do solo. Considera-se também que esta espécie requer uma fertilidade adequada para a obtenção de um rendimento aceitável. Em decorrência do significativo volume de solo explorado pelas raízes, o girassol é capaz de aproveitar os nutrientes disponíveis, extraindo nitrogênio, fósforo e potássio em profundidade. Contudo, solos inférteis podem ser facilmente esgotados quando cultivados com esta espécie, devido à elevada demanda da mesma por nutrientes essenciais (CORMENZANA, 2001).

O girassol não apresenta boa tolerância à salinidade. Entretanto, existem diferenças na susceptibilidade das respostas dos genótipos comerciais ao estresse salino (DICKMANN *et al.*, 2005). É considerada uma planta muito adaptável às variações de pH no solo, por tolerar uma faixa de pH de 5,8 a 8. Nos solos neutros ou alcalinos não costumam surgir problemas nutricionais. Entretanto, um excesso de alcalinidade pode acarretar incidentalmente problemas de deficiências por micronutrientes (CORMENZANA, 2001).

Problemas decorrentes da compactação e acidificação do solo, associados à toxidez do alumínio reduzem a capacidade exploratória do solo pelo sistema radicular. Necessitando, portanto, de ausência de limitações físicas ou químicas para um bom e pleno desenvolvimento das raízes ao longo do perfil de solo (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Em função de suas características, o girassol é considerado uma cultura capaz de elevar a fertilidade dos solos, principalmente em virtude de sua eficiência na ciclagem de nutrientes, a uma baixa taxa de exportação. Em contrapartida, para que a cultura manifeste

todo o seu potencial produtivo se torna necessário um eficiente manejo da fertilidade do solo durante todo o ciclo da cultura, com uma atenção especial para o micronutriente boro, por ser o que mais acarreta problemas de ordem nutricional. Daí se justifica sua singular aptidão para a rotação de culturas (CASTRO *et al.*, 1996). Desta forma, o girassol pode ser cultivado nos solos aptos para a produção das grandes culturas de grãos (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

2.1.5 Usos e potencialidades do girassol

O girassol é uma planta da qual se torna possível explorar quase toda a sua totalidade. Em função de sua versatilidade, o girassol é utilizado no mundo e no Brasil, para as mais diversas finalidades. Porém, atualmente, a principal aplicação a qual se destina é no aproveitamento de seu óleo (SABBAGH, 2008).

Pesquisas comprovam que o óleo oriundo das sementes de girassol é caracterizado por apresentar excepcionais qualidades nutricionais e organolépticas, que são peculiaridades que o torna um alimento funcional, passível de ser utilizado na prevenção de doenças que comprometem o sistema cardiovascular, e no controle dos níveis de colesterol sanguíneo (ACOSTA, 2009; MANDARINO, 2005). O óleo de girassol também pode constituir matéria-prima para produtos das indústrias farmacêuticas, cosméticos, tintas e limpeza (ACOSTA, 2009).

Além do óleo, outros produtos do girassol podem ser utilizados na alimentação humana, pois as sementes podem ser torradas e usadas como aperitivos, e podem se tornar ingrediente da composição de barras de cereais, biscoitos e papas de bebês. Nos países eslavos, as sementes de girassol são torradas, moídas e utilizadas em substituição ao café (ACOSTA, 2009; VIEIRA, 2005).

No Brasil, surgiu à possibilidade de enquadrar a cultura do girassol como uma das mais promissoras oleaginosas fornecedoras de matéria-prima para o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 13 de janeiro de 2005, através da lei nº 11.097, que prevê a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, estabelecendo que o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel derivado do petróleo comercializado ao consumidor final seja de 5% em volume (SILVA *et al.*, 2007; BRASIL, 2011).

Assim como as demais oleaginosas, os grãos de girassol após serem submetidos à extração do óleo geram como subprodutos resíduos sólidos comumente denominados por tortas ou farelos, que podem prontamente ser utilizados no raçãoamento animal de monogástricos e de ruminantes, tanto na íntegra, como em mistura com outras matérias primas que também são destinadas a este fim (CASTRO; FARIAS, 2005).

Entre as demais aplicações da cultura do girassol, menciona-se sua utilização na exploração apícola, uma vez que as flores, ao secretarem néctar, permitem a extração de 20 a 40,00 kg de mel por hectare cultivado (SANTOS, 1999; UNGARO, 2000).

2.1.6 Principais produtores

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2012), o girassol destaca-se como a quinta oleaginosa mais produzida mundialmente. Segundo os dados fornecidos pela Companhia, a produção mundial de grãos de girassol para a safra 2011/12 foi da ordem de 36,5 milhões de toneladas. Em nível mundial, a Rússia, a Ucrânia e a EU - 27, se consolidaram como os maiores produtores mundiais de girassol com 24; 22 e 22% da produção mundial, respectivamente.

A produção brasileira de girassol alcançou aproximadamente 71,4 mil toneladas, valor este inferior à safra anterior em 6,9%, onde o país ocupou a 26ª posição no ranking mundial. Na safra 2011/12 constatou-se uma produtividade média nacional de grãos de aproximadamente 1.215,00 kg ha⁻¹, com uma variação negativa de 3,2%, se comparada à safra passada. A região campeã de produtividade foi a Sul, com destaque para o Estado do Paraná (1.380,00 kg ha⁻¹), seguida da região Centro-Oeste, com destaque para o Estado de Goiás (1.400,00 kg ha⁻¹).

A região Nordeste do Brasil ainda concentrou uma produção incipiente, cujo valor representou apenas 1,0% da produção nacional, em uma área de aproximadamente 1.540 ha, com uma produção de 792 toneladas, o que acarretou uma produtividade média de aproximadamente 528,00 kg ha⁻¹, onde os Estados da Bahia e do Ceará ocuparam as lideranças em nível regional. No Estado do Ceará, o município de São Benedito se sobressaiu como o maior produtor do Estado, com uma produtividade média de 1.000,00 kg ha⁻¹, em uma área de 335 ha.

2.2 Déficit hídrico

A água constitui uma das mais importantes substâncias para os processos vitais. Para os vegetais, uma singular importância é atribuída à água, pois o protoplasma das plantas chega a alcançar 95% ou mais de seu peso total, onde participa de processos metabólicos como a fotossíntese e a fosforilação oxidativa, por exemplo. Sendo a água considerada um solvente universal, possibilita a maioria das reações químicas a nível celular, e nas plantas ainda assume a primordial missão de desencadear o crescimento e o desenvolvimento. Desta forma, considera-se que a água é essencial para a produtividade dos vegetais e que o desenvolvimento dos mesmos é afetado de maneira bastante significativa pela disponibilidade hídrica, tanto pela sua falta ou excesso (REICHARDT; TIMM, 2004).

A necessidade de água das culturas deve ser atendida pela água no solo, por meio da absorção via sistema radicular. Quando as exigências hídricas da cultura não são atendidas em sua totalidade, as plantas são submetidas a uma condição de déficit hídrico que se desenvolve até um limite que afeta o crescimento e o rendimento da cultura, sendo que a intensidade do efeito do estresse é variável com a espécie e sua fenologia (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

A redução do teor de água no solo compromete pronunciadamente alguns processos morfofisiológicos das plantas, já outros são praticamente inafetados (SANTOS; CHARLESSO, 1998).

Taiz e Zeiger (2010) consideram que o déficit hídrico passa a ocorrer quando o conteúdo de água de um tecido ou de uma célula vegetal se encontra abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação. Segundo os referidos autores, as respostas mais relevantes das plantas ao déficit hídrico são: a redução da área foliar, o fechamento estomático, a antecipação da senescência e abscisão das folhas. Assim, os processos fisiológicos são desencadeados e adaptados, de forma a permitir a manutenção da água no solo, com o objetivo de economizar para períodos futuros, com o intuito de assegurar a sobrevivência e a perpetuação da espécie.

Segundo Grieu *et al.* (2008), o resultado da associação entre a restrição da disponibilidade de água no solo e o aumento da demanda evaporativa da atmosfera condiciona o estado de déficit hídrico. Para os autores, em termos agrônômicos, pode-se considerar que o déficit hídrico é considerado um tipo de estresse, por se tratar de um fator externo que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta, e é conceituado por toda insuficiência de água que

impeça que a planta expresse o rendimento esperado em uma situação favorável, ou que possa afetar e comprometer a qualidade do produto colhido. Neste contexto, uma planta tolerante é aquela capaz de atingir, em uma determinada condição de déficit hídrico, uma produção equiparada àquela que seria potencialmente capaz de atingir em uma condição com adequada disponibilidade de água.

As reduções na absorção de nutrientes, no desenvolvimento das células, na expansão das folhas, na transpiração, na translocação de assimilados e na atividade enzimática são outras consequências do déficit hídrico, mencionadas por Hsiao (1973).

Sob condições de deficiência hídrica, as plantas são induzidas a utilizar o mecanismo de fechamento dos estômatos no intuito de restringir a perda de água, reduzindo a transpiração. Com isso, a absorção de CO₂ é pronunciadamente sacrificada, acarretando como consequência reduções nas taxas fotossintéticas, uma vez que para as plantas se torna mais oportuno restringir à entrada de CO₂ em detrimento da perda de água (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Wullschleger e Oosterhuis (1990 *apud* SANTOS; CHARLESSO, 1998), mencionam que a produtividade de grãos é influenciada pela acumulação de carboidratos e ressaltam a fundamental importância da fotossíntese no rendimento das culturas.

Por isso, Jordan (1983 *apud* SANTOS; CHARLESSO, 1998) relata que o déficit hídrico compromete o consumo de carboidratos, uma vez que modifica a eficiência com que os produtos da fotossíntese são transformados para o desenvolvimento de partes novas nos vegetais, alterando a distribuição de carboidratos na planta, fazendo com que a mesma desenvolva mecanismos de adaptação e resistência à condição de estresse na qual se encontra exposta.

2.3 Girassol e déficit hídrico

Para Castro (1999), o consumo de água pela cultura do girassol é função das condições climáticas, da duração do ciclo e do manejo cultural adotado na exploração da cultura. Embora a planta tolere maiores períodos de insuficiência hídrica nos solos que são bem preparados e que possuem elevada capacidade de retenção de água (SILVA, 2005). A exigência em água pela cultura vai se elevando proporcionalmente ao seu crescimento, sendo que a porcentagem de água total de água utilizada difere nas distintas fases fenológicas (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Uma adequada disponibilidade de água durante o período inicial do desenvolvimento é essencial para alcançar uma considerável uniformidade no estande de plantas. Entre a formação das flores nos capítulos e o amadurecimento dos aquênios e, por conseguinte na formação do óleo, a água é um fator decisivo para a obtenção de consideráveis rendimentos (CASTRO, 1999; SILVA, 2005).

Quando comparado com a maioria das culturas, percebe-se que as necessidades hídricas do girassol podem ser consideradas relativamente elevadas. Contudo, mesmo com um elevado consumo de água, constata-se que a cultura é capaz de tolerar curtos períodos de déficit hídrico no solo (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Pode-se considerar que o estresse hídrico desenvolve-se na planta quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e o transporte de água na planta (BERKOWITZ, 1998).

Taiz e Zeiger (2010) relatam que na cultura do girassol a característica mais sensível ao estresse hídrico é a expansão foliar, que chega a ser completamente inibida em níveis moderados de estresse, de tal forma que as taxas fotossintéticas podem ser severamente afetadas, acarretando como consequências alterações no crescimento, na produtividade e na qualidade da produção. Os autores ainda completam, salientando que dentre as respostas do girassol ao déficit hídrico, destaca-se a diminuição do desenvolvimento da parte aérea, seguida do crescimento das raízes em profundidade, a fim de absorverem água e nutrientes das camadas mais úmidas ao longo do perfil do solo. Desse modo, partes dos fotoassimilados destinados à parte aérea são desviados para as raízes, motivo pelo qual, as raízes continuam crescendo de forma desproporcional a parte aérea sob limitações na disponibilidade de água.

Oliveira *et al.* (2009) objetivando avaliar os efeitos do estresse hídrico simulado através de soluções contendo os agentes osmóticos Polietilenoglicol (PEG 6.000) sobre a germinação de sementes de girassol em Pelotas – RS averiguaram que o estresse hídrico afetou a manifestação do potencial fisiológico pela germinação e o vigor das sementes de girassol, sendo os prejuízos proporcionais à redução do potencial osmótico.

Teixeira *et al.* (2009) objetivando avaliar os efeitos do estresse hídrico simulado através de diferentes tensões de água no solo sobre o crescimento inicial de plântulas de girassol em Pelotas – RS concluíram que as diferentes tensões influenciaram o crescimento das plântulas de girassol e que baixas tensões de água permitiram incremento na produção de biomassa.

Chiarelo *et al.* (2010) no intuito de avaliar o impacto do déficit hídrico através da suspensão da irrigação sobre o potencial hídrico e os danos celulares mediante a quantificação da peroxidação de lipídios e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em folhas e raízes submeteram

duas cultivares de girassol (MG2 e M735) a dois tratamentos: controle (irrigadas diariamente) e restrição hídrica (suspensão total da irrigação) e evidenciaram que as condições de déficit hídrico afetaram drasticamente o potencial hídrico das plantas de girassol, levando a danos celulares irreversíveis.

Castro *et al.* (2006) investigaram as influências de quatro fases de aplicação de estresse hídrico (sem estresse hídrico, com estresse hídrico, estresse hídrico a partir do início do florescimento e estresse hídrico a partir do enchimento de aquênios) sobre a produção de matéria seca total do girassol cultivado em casa de vegetação e constataram que as plantas dos tratamentos cultivados sem restrição hídrica em todo o ciclo e, com restrição hídrica a partir do enchimento de aquênios tiveram maior produção de matéria seca total, sendo estatisticamente superiores aos demais tratamentos e concluíram que a produção de matéria seca total apresentou a mesma tendência em todas as fases de aplicação do estresse hídrico, em que as maiores produções foram obtidas nos tratamentos que acarretaram maior disponibilidade de água.

Gomes (2005) desenvolveu experimentos com o objetivo de avaliar as possíveis alterações que poderiam ocorrer nas respostas do girassol semeado sob diferentes condições de suplementação hídrica (irrigação de acordo com o balanço de umidade no solo em todo o ciclo; irrigado nos períodos de formação do botão floral e enchimento de aquênios; sem suplementação hídrica em todo o ciclo) e averiguaram que ocorreu uma acentuada diminuição na massa seca do caule, do capítulo e da folha como consequência do estresse hídrico, e que a redução da área foliar, através da redução na altura da planta, mostrou-se como um dos mecanismos de resposta do girassol à escassez de água. O mesmo autor ainda aponta que em condições de deficiência hídrica as plantas se encontram em uma situação crítica no que se relaciona ao balanço energético e para elas é mais oportuno investir na produção de compostos proteicos em detrimento a produção de óleo, justamente pelo menor dispêndio em energia exigido pela produção de proteína, já que a síntese de óleo se dá por meio dos produtos obtidos na degradação da glicose e exige, portanto maior consumo energético.

Cechin *et al.* (2010) examinaram os efeitos do estresse hídrico, seguido da reidratação nas trocas gasosas em folhas adultas e jovens de plantas de girassol cultivadas em casa de vegetação e tornaram evidente que o estresse hídrico reduziu a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração nas folhas adultas e jovens. No entanto, a amplitude da redução foi dependente da idade da folha. A concentração intercelular de CO₂ aumentou nas folhas adultas, mas não apresentou alteração nas folhas jovens sob condições de estresse hídrico. A eficiência instantânea do uso da água nas folhas adultas e estressadas foi reduzida

em comparação com o controle, enquanto que, nas folhas jovens e estressadas, não foi alterada. Após 24 h de reidratação, as folhas apresentaram valores semelhantes aos do controle em todos os parâmetros relacionados com as trocas gasosas, exceto a condutância estomática e a transpiração nas folhas adultas. Com essas inferências, os autores chegaram a concluir que as folhas jovens são mais susceptíveis ao déficit hídrico em termos de trocas gasosas que as folhas adultas.

Unger (1990) concluiu que sob-regime de irrigação em todo o ciclo, são rotineiramente alcançados rendimentos de aquênios em torno de 2.500,00 a 3.500,00 kg ha⁻¹. Gimenez *et al.* (1975) e Unger *et al.* (1976) descrevem que os aquênios oriundos do cultivo irrigado durante toda a estação de crescimento, apresentam maiores rendimentos em óleo.

Estudos conduzidos por Andrade (2000) em Jaboticabal – SP com lâminas de reposição de água, concluíram que os tratamentos irrigados com 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) resultaram em 34% de incrementos no rendimento de aquênios, em comparação com os tratamentos irrigados com 50% da ETc.

Gomes, Ungaro e Vieira (2003) avaliando a cultura em Limeira - SP constataram que os tratamentos irrigados durante todo o ciclo da cultura resultaram em um rendimento médio de aquênios superior em 44%, com uma superioridade de aproximadamente 10% na massa de 1.000 aquênios, quando comparado com os tratamentos não irrigados.

Castro (1999) estudando a cultura na região de Piracicaba - SP evidenciou que os tratamentos submetidos à deficiência hídrica em todo o ciclo da cultura produziram 129% a menos quando comparados com os tratamentos sem restrição hídrica. Gomes (2005), em Limeira – SP, observou que o déficit hídrico diminuiu aproximadamente 30% a produção de grãos, em comparação com as plantas com status hídrico adequado.

Silva *et al.* (2007) em ensaio com a cultura do girassol em Lavras – MG aplicaram lâminas de irrigação referentes a 75%, 100% e 130% da ETc, deixaram uma parcela experimental sem irrigação, como grupo controle e constataram que a irrigação promoveu elevação na produtividade de grãos, de óleo e na altura das plantas de girassol, sendo que a lâmina referente a 130% da ETc, proporcionou um melhor desempenho agrônômico para a cultura, com rendimento de aquênios de 2.863,12 kg ha⁻¹, de óleo dos aquênios de 675,57 kg ha⁻¹ e altura das plantas de 1,51 m.

Corroborando com Silva *et al.* (2007), estudos desenvolvidos por Castiglioni, Castro e Balla (1993) e por Gomes, Ungaro e Vieira (2003) também averiguaram que os acréscimos na disponibilidade hídrica do solo incrementaram a altura das plantas de girassol.

Catronga *et al.* (2006 *apud* ACOSTA, 2009) em um ensaio conduzido em Beja, Portugal, aplicaram lâminas de irrigação referentes a 30% e 50% da ETc do girassol e concluíram que os melhores resultados foram obtidos com a aplicação de 50% da ETc (260 mm) com produtividades de aquênios de 1.777,00 kg ha⁻¹, rendimento em óleo de 750,00 kg ha⁻¹ e altura de plantas de 1,32 m. Os autores ainda evidenciaram que o aumento da lâmina de irrigação acarretou a elevação de características como altura, matéria seca, diâmetro do capítulo e massa das sementes.

Silva *et al.* (2011) conduziram um ensaio com o objetivo de avaliar a influência de seis lâminas de irrigação no desempenho produtivo de duas cultivares de girassol, em Pentecoste, CE, e concluíram que o diâmetro do capítulo, a massa de 1.000 aquênios, o potencial de produção de aquênios, o teor de óleo dos aquênios e o potencial de produção de óleo foram influenciados significativamente pelas diferentes lâminas de irrigação.

2.4 Irrigação

A irrigação é uma técnica agrícola milenar que objetiva a aplicação artificial de água no solo, com a finalidade de assegurar um abastecimento hídrico adequado para as plantas, que aliada a outras práticas de condução da cultura em condições de campo como fertilização, mecanização e controle fitossanitário, garante maiores produções por área e elevadas rentabilidades aos cultivos (ACOSTA, 2009).

Para os irrigantes, é de fundamental importância eleger apropriadamente o método de irrigação a ser adotado, para se conseguir maiores chances de se alcançar um manejo mais eficiente nas propriedades agrícolas (CHRISTOFIDIS, 2001).

Na atualidade, tem sido uma tendência mundial optar pelo método de irrigação localizado, de forma a tornar mínimo o volume de água aplicado na irrigação, sem reduzir a produtividade das culturas agrícolas (SOUZA; ANDRADE; SILVA, 2005).

A irrigação localizada tem se mostrado como um dos métodos mais hábeis para aplicação de água em cultivos agrícolas, por comumente resultar em melhores índices de relação benefício-custo para os produtores (MOURA; MARQUES JÚNIOR; LEOPOLDO, 1998).

Na irrigação localizada, a água é aplicada em uma fração do solo explorada pelo sistema radicular de forma pontual ou em faixa contínua, através de baixas vazões (1 a 160 L

h^{-1}) e alta frequência (turno de rega de um a quatro dias) e na maioria das vezes com distribuição pressurizada, objetivando assegurar para as culturas níveis ideais de umidade no solo para o desenvolvimento e a produção (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2006).

Como na irrigação localizada somente uma parte da superfície do solo é umedecida, a perda direta da água do solo para a atmosfera via evaporação é reduzida, principalmente em comparação com as perdas por evaporação na irrigação por aspersão e por superfície, fato que contribui para uma maior economia no volume de água aplicado, que por fim, coopera para uma aplicação mais eficiente.

Os sistemas localizados mais difundidos são os dos tipos gotejamento e microaspersão. Segundo Ollita (1981 *apud* ALVES, 1999) a irrigação por gotejamento é um método que vem alcançando produções superiores, quando comparadas às obtidas por outros métodos.

Na irrigação localizada do tipo gotejamento, os emissores são denominados gotejadores e são peças que acopladas às linhas de irrigação, são aptas para realizar a dissipação da pressão disponível na linha de irrigação e aplicar baixas e estáveis vazões, que comumente variam entre 1 a 20 L h^{-1} , aplicadas de gota a gota, a pressões de serviços situadas entre 5 e 25 m.c.a. Neste método, a água é aplicada no solo sob a forma de “ponto fonte”, e a superfície do solo fica com uma área umedecida em formato circular. Já o volume do solo forma um bulbo úmido, e quando os emissores são instalados próximo uns dos outros se forma uma faixa contínua e somente uma porção da superfície do solo, é molhada, fato que reduz a evaporação (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2006).

Embora os sistemas de irrigação tenham avançado em termos de melhorias na eficiência de distribuição de água, constata-se que no nível de propriedade agrícola o gerenciamento da aplicação de água tem sido negligenciado, em detrimento a preocupação limitada por parte dos irrigantes ao que se relaciona apenas a engenharia dos sistemas de irrigação. Com isso, presume-se que o desempenho da agricultura irrigada está, ainda, longe do ideal (GARZELLA, 2011).

Existem vários métodos disponíveis na literatura para efetuar-se o manejo da água de irrigação. Porém, conforme Mota (2010), a maioria dos produtores prefere irrigar de modo empírico, a lançar mão de métodos racionais de manejo, por terem a percepção de que os mesmos são de uso complexo.

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a ausência de um programa de manejo tem sido a principal causa de insucesso da agricultura irrigada, uma vez que as práticas irrigatórias em uso são na maioria das vezes, baseadas em costumes herdados ou em

conveniências particulares. Como consequências, irrigações em excesso levam à lixiviação de insumos agrícolas (fertilizantes e defensivos) para o lençol freático, contaminando as reservas subterrâneas, além de permitirem o escoamento superficial e a erosão; e irrigações em déficit podem salinizar o solo, e o processo de recuperação do mesmo pode chegar a ser até impraticável.

O objetivo primordial do manejo da irrigação é de fato determinar quando e quanto de água aplicar (GOMES; TEZTEZLAF, 2011). Neste contexto, os conhecimentos dos dados climáticos são de revelada importância para o manejo racional da irrigação, uma vez que ainda de maneira aproximada, pode-se quantificar a evapotranspiração, definida como a soma da transpiração com a evaporação, fenômenos que fazem menção a perda de água na forma de vapor, por meio da superfície da planta e do solo, respectivamente (REICHARDT; TIMM, 2004).

Sediyama (1996) ainda menciona que de posse da evapotranspiração, se torna possível estimar o limite de água a ser aplicado na irrigação. Entre os métodos disponíveis para executar o monitoramento da água a ser aplicada nas culturas em condições de campo destaca-se o método recomendado pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) do tanque Classe “A” (DOORENBOS; KASSAM, 1994). A evaporação da água medida em um tanque Classe “A” é uma forma indireta de se quantificar a evapotranspiração da cultura que vem sendo utilizada em todo o mundo, principalmente em virtude de suas características como baixo custo de aquisição, possibilidade de instalação próxima da cultura a ser irrigada e facilidade de operação, além dos bons resultados que se tem alcançado no controle da irrigação, em condições de campo (EMBRAPA, 2004).

2.4.1 Irrigação com déficit

Atualmente, existe uma preocupação mundial quanto ao uso mais racional dos recursos hídricos, existindo uma pressão sobre os irrigantes para que haja um controle mais efetivo da irrigação, através da adoção de estratégias de manejo capazes de aumentar a eficiência do uso da água na produção agrícola, mediante a maximização da produção e da qualidade do produto por unidade de água aplicada, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a água é um recurso naturalmente escasso, uma vez que o conhecimento apenas da necessidade total de

água pela cultura não implica necessariamente um eficiente manejo da irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; BEZERRA; ANGELOCCI; MINAMI, 1998).

Dentre as estratégias recomendadas pela literatura para se alcançar esta otimização da irrigação, destaca-se a indução de déficits hídricos durante todo o ciclo ou em estádios de desenvolvimento da planta que se mostram menos sensíveis aos efeitos destes, economizando água, com mínimos efeitos sobre a produtividade, constituindo a opção técnica denominada por irrigação deficitária (SAMPAIO, 2010).

De acordo com Kirda (2002), o exercício da irrigação com déficit difere dos princípios impostos pelos métodos tradicionais de controle da água de irrigação, uma vez que para a sua execução de forma tecnicamente viável, o irrigante necessita conhecer qual o nível de deficiência hídrica, bem como o estágio fenológico que permite a aplicação da estratégia, sem acarretar reduções significativas nos rendimentos das culturas. Neste sentido, o principal objetivo da irrigação com déficit é aumentar o uso eficiente da água por parte de uma cultura, minimizando aquelas irrigações que exercem pouco impacto sobre o rendimento. Para este autor, a redução da produção resultante pode ser insignificante, ao ser equiparada com os potenciais benefícios obtidos na oferta de água, naquelas regiões que convivem com sua escassez.

As pesquisas realizadas com o uso da técnica da irrigação deficitária na cultura do girassol têm alcançado resultados contraditórios. Assim, ainda não existe consenso na literatura quanto ao emprego desta técnica, e o seu fundamento carece a realização de estudos locais.

Göksoy *et al.* (2004) utilizaram 14 diferentes estratégias de irrigação, variando as lâminas de irrigação e irrigando o girassol em diferentes períodos. Verificaram que irrigações nos períodos de germinação, florescimento e enchimento de aquênios aumentam a produtividade de aquênios, teor de óleo e peso de 1000 aquênios em girassol. A maior produtividade de aquênios ($4.056,00 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtida ao realizarem a irrigação em todo o ciclo do girassol, enquanto nas parcelas não irrigadas a produtividade foi de apenas $1.841,00 \text{ kg ha}^{-1}$. Estes autores também verificaram que, em caso de escassez de água para a irrigação, ao realizar pelo menos uma irrigação no florescimento do girassol, a produtividade da água aumenta significativamente.

Demir *et al.* (2006) avaliaram o cultivo do girassol em regime de sequeiro, sendo considerado como controle e em 13 tratamentos de irrigação, sendo um integralmente irrigado durante todo o ciclo e 12 tratamentos com irrigações deficitárias em três estádios de desenvolvimento: vegetativo, floração e formação da produção na cultura do girassol em um ambiente subúmido (Bursa, na Turquia) e constataram que o rendimento de aquênios aumentou com a quantidade de água de irrigação e que o rendimento mais elevado de aquênios ($3.950,00 \text{ kg ha}^{-1}$) e de óleo ($1.780,00 \text{ kg ha}^{-1}$) foram obtidos no tratamento plenamente irrigado durante as três

fases. Porém, segundo os autores, nos locais onde há escassez de água, a restrição da irrigação deve ser evitada durante o período de floração.

Karam *et al.* (2007) investigaram as respostas do girassol à irrigação com déficit mediante sua aplicação de forma isolada no início e no final da floração e durante toda a fase de formação da produção, comparando com um controle que foi permanentemente irrigado no Líbano e constataram que os déficits de irrigação durante o início e o final da floração reduziram a produção de aquênios em 25 e 14%, respectivamente, em comparação com o controle. No entanto, a irrigação com déficit durante a formação da produção tendeu a aumentar ligeiramente a produção final de aquênios. Pelos resultados, os autores concluíram que as irrigações com déficit no início e no final do florescimento devem ser evitadas, e é extremamente aceitável durante a fase de formação dos aquênios.

Toureiro, Serralheiro e Oliveira (2007) avaliaram a cultura do girassol submetida a três estratégias de gerenciamento da aplicação da água de irrigação em condições Mediterrânicas. Em um dos tratamentos, a irrigação era realizada quando a tensão de água no solo atingia o valor considerado “ideal” para a cultura nas condições nos quais a pesquisa foi conduzida e em outros dois tratamentos, a irrigação era realizada quando a tensão da água no solo se situava abaixo desta “ideal” em 10 e 30%, respectivamente. Como resultados, os autores verificaram que as estratégias de irrigação deficitária alcançaram uma maior eficiência de uso da água, embora com valores de produção inferiores. Com isso, verificaram o nítido potencial de economia de água proporcionado pela gestão da irrigação da cultura com a adoção da irrigação com déficit.

Rodrigues e Pereira (2008) evidenciaram que a irrigação deficitária não se revelou uma opção de manejo viável para a cultura do girassol nem do ponto de vista técnico e nem econômico, nas condições do Perímetro Irrigado da Vigia (Portugal), haja vista que a economia alcançada na água resultante da aplicação do método, não compensou os decréscimos de produção que foram obtidos.

2.5 Coeficientes de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (K_Y)

O conhecimento das possíveis perdas de produtividade em consequência das incidências de déficits hídricos ao longo das distintas fases do ciclo fenológico das culturas agrícolas é de fundamental importância na agricultura irrigada por permitir uma melhor projeção, planejamento, condução e operação para os cultivos, em virtude do aumento da

eficiência da irrigação e por possibilitar também uma melhor quantificação do uso da água pela cultura (NANGOI, 2010; BEZERRA; ANGELOCCI; MINAMI, 1998).

Segundo Farias *et al.* (2005), as técnicas de modelagem e simulação de produção e/ou produtividade em sistemas agrícolas podem ser usadas para estimar os efeitos da disponibilidade hídrica sobre o comportamento da cultura, rendimento de grãos e seus componentes, podendo ser usados, posteriormente, em trabalhos de planejamento e zoneamento agrícola, agricultura de precisão e monitoramento e previsão de safras. E para Nangoi (2010), tais informações podem ser utilizadas para dar subsídio a políticas públicas de desenvolvimento agrícola.

Dentre as metodologias disponibilizadas pela literatura para a mensuração dos efeitos do suprimento hídrico nas produtividades agrícolas destaca-se o coeficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (K_Y) recomendado pela FAO e descrito por Doorenbos e Kassam (1994), por sua aplicabilidade nas pesquisas relacionadas a esta temática no Brasil e no mundo.

O cálculo do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) se fundamenta nas presunções do modelo de função de produção que foi formulado por Stewart *et al.* (1977), nas quais a produtividade e a evapotranspiração são consideradas em termos relativos com respeito a seus valores máximos, e é determinado quando se puder quantificar, de um lado, as necessidades hídricas da cultura (evapotranspiração) e os efeitos dos déficits hídricos e, de outro, os rendimentos máximo e real da cultura. Assim, o coeficiente K_Y é capaz de quantificar o efeito da falta de água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade potencial, ocorrida durante o ciclo da cultura, sendo uma medida do grau de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico que foi experimentalmente aplicado. Matematicamente, o cálculo do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) é realizado conforme a equação 1.

$$K_Y = \frac{[1 - (Y_R Y_M^{-1})]}{[1 - (ETc ETpc^{-1})]} \quad (1)$$

em que,

K_Y - Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura;

Y_R - Potencial de produção sob déficit hídrico

Y_M - Potencial de produção na ausência de déficit hídrico;

ETc - Evapotranspiração da cultura acumulada no período de déficit hídrico;

$ETpc$ - Evapotranspiração potencial da cultura acumulada na ausência de déficit hídrico, no mesmo período da ETc acumulada nos tratamentos sob déficit hídrico.

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), o termo evapotranspiração potencial da cultura (ETPc) faz menção a máxima perda de água que uma espécie vegetal se submete em um determinado estágio de desenvolvimento, quando a disponibilidade hídrica do solo não é limitante ao crescimento, ao desenvolvimento e a produtividade. Para estes mesmos autores, o fenômeno que comumente ocorre entre as espécies vegetais é denominado por evapotranspiração da cultura (ETc). No entanto, a evapotranspiração da cultura pode se igualar a evapotranspiração potencial da cultura, desde que a água disponibilizada no solo para a cultura e o próprio fluxo de água na planta seja suficiente para atender à demanda evaporativa da atmosfera.

Em contrapartida, caso haja limitação na disponibilidade hídrica do solo à cultura e, por conseguinte a demanda da atmosfera não for suprida, constata-se que a evapotranspiração da cultura será inferior a evapotranspiração potencial da cultura, e por isso as culturas são expostas a uma situação de déficit hídrico. Neste contexto, torna-se evidente que a disponibilidade de água interfere na produtividade agrícola e a situação ideal seria aquela na qual a evapotranspiração da cultura se igualasse à evapotranspiração potencial da cultura. Em suma, sempre que a evapotranspiração da cultura for inferior a potencial da cultura, existe restrição de água e a produtividade pode ser afetada (FREITAS; BEZERRA; FONTENELE, 1999).

Dentre as metodologias disponibilizadas pela literatura para a estimativa da evapotranspiração (potencial da cultura e da cultura) destaca - se o balanço hídrico do solo, definido por Libardi (2005) como a contabilização das entradas e saídas de água num dado volume de controle de solo, definido em função da profundidade efetiva do sistema radicular, durante certo intervalo de tempo. Para Campos *et al.* (2008), a confiabilidade dos dados oriundos do balanço hídrico no solo passa a ser dependente da precisão com que são medidos os componentes do balanço (precipitação pluviométrica; lâmina de irrigação; ascensão capilar; drenagem profunda; variação da lâmina de água armazenada no solo e escoamento superficial).

Dentre as premissas do modelo que quantifica o K_Y , admite-se que existe uma relação linear entre o déficit de produtividade e o déficit hídrico, desde que os déficits hídricos não ultrapassem os 50% (NANGOI, 2010), e de acordo com Doorenbos e Kassam (1994) quanto maior o valor de K_Y , maiores são as perdas no rendimento da cultura, em condições de déficit hídrico.

O coeficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (K_Y) também vem sendo utilizado para simular a produtividade de culturas agrícolas antes mesmo das colheitas,

baseando-se em dados agrometeorológicos e dentre os modelos, tem se mostrado como um dos mais aplicáveis, em razão da baixa exigência em termos de dados de entrada, conforme relata Andrioli *et al.* (2006), que utilizou o modelo para proceder à estimativa das produtividades potenciais (irrigado) e reais (sequeiro) de quatro cultivares de milho no período da safrinha.

Valores de K_Y obtidos a partir de experimentos com girassol, representando variedades altamente produtivas, bem adaptadas ao ambiente de crescimento e desenvolvimento sob alto nível de manejo de culturas, foram propostos por Doorenbos e Kassam (1994), com os seguintes valores: 0,25 para a fase de estabelecimento; 0,5 para o desenvolvimento vegetativo inicial; 1,0 para o florescimento; 0,8 para a frutificação e 0,95 para o déficit durante todo o período vegetativo.

Moutonnet (2002) traçou um comparativo entre duas séries de valores de K_Y que foram obtidas a partir de um conjunto de dados reportados pela FAO e por uma Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Dos resultados, o autor constatou que há uma ampla gama de variação para este coeficiente em termos de valores médios para as culturas em questão, $0,20 < K_Y < 1,15$ (FAO), e $0,08 < K_Y < 1,75$ (AIEA). Mediante a comparação dos valores, o autor evidenciou que entre os dois conjuntos de dados analisados não se averiguaram valores médios idênticos para K_Y e nem tão pouco faixas similares de variação, muito embora os valores tenham eventualmente mostrando tendências parecidas de comportamento. O que reforça a necessidade de estender e determinar esses dados de K_Y para outras culturas e cultivares, e para outras condições de solo e clima, no intuito de alcançar e dar suporte a otimização matemática do planejamento e da execução do manejo de irrigação com déficit.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi – RN.** 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- AGNOL, A. D.; VIEIRA, O. V.; LEITE, R. M. B. de C. Origem e histórico do girassol. *In:* LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (ed.). **Girassol no Brasil.** Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap. 1, p. 1-12.
- ALVES, M.E.B. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação.** 1999. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- ALVES, T.T.L. **Biologia floral e produtividade de grãos de três híbridos de girassol (*Helianthus annuus* L.) em função do comportamento de partejo e eficiência polinizadora da abelha *Apis mellifera*.** 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Centro de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2006.
- ANDRADE, S. J. de. **Efeito de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol.** 2000. 94 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- ANDRIOLI, K. G. *et al.* **Calibração do modelo da FAO para simulação da produtividade potencial e real do milho safrinha.** Disponível em: < <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-469e60e9da77466647b6844d2d860f4d.pdf>> Acesso em: 13 mar. 2011.
- BANYS, V. L. *et al.* Consórcio milho-girassol: características agronômicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 84-89, 1996.
- BERKOWITZ, G. A. Water and salt stress. *In:* RAGHAVENDRA, A. S. (Ed.) **Photosynthesis: a comprehensive treatise.** Cambridge: Cambridge University, 1998. p. 226-237.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Deficiência hídrica em vários estádios de desenvolvimento da batata. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.119-123, 1998.
- BILIBIO, C. *et al.* Effect of different levels of water deficit on rapeseed (*Brassica napus* L.) Crop. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 672-684, jul.- ago., 2011.
- BLAMEY, F. P. C. ; ZOLLINGER, R. K. ; SCHNEITER, A. A. Sunflower production and culture. *In:* SCHNEITER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production.** Madison: American Society of Agronomy, 1997. p. 595-670.

BRASIL. Lei nº 9.456/97, de 25 de Abril de 1997. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 abril. 1997. Disponível em: < <http://www2.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sti/proAcao/proTecnologica/proIntelectual/lei9456.pdf> > Acesso em : 9 set. 2011.

BRASIL.Ministério da Integração Nacional. **A irrigação no Brasil**: situação e diretrizes. Brasília: IICA, 2008. 132 p.

CAMPOS, J. H. B. da C. *et al.* Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.2, p. 150-156, 2008.

CARVALHO, J. de A. *et al.* Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.3, p.710-717, jul.-set., 2000.

CASTIGLIONI, V. B. R.; OLIVEIRA, M. F. de. Melhoramento do girassol. *In*: BÓREM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 1999. Cap. 10. p. 351-384.

CASTIGLIONI, V. B. R.; CASTRO, C. ; BALLA, A. Avaliação de genótipos de girassol em ensaio intermediário (1992/93), Londrina – PR. *In*: REUNIÃO NACIONAL DE GIRASSOL, 10. , Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Agrônomo de Campinas, 1993. p. 37.

CASTRO, C. de. **Boro e estresse hídrico na nutrição e produção do girassol em casa-de-vegetação**. 1999. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

CASTRO, C. de. *et al.* **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1996 b. 38 p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 13).

CASTRO, C. de; FARIAS, J. R. B. F. Ecofisiologia do girassol. *In*: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.9. p. 163- 218.

CASTRO, C. de. *et al.* Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência agrotécnica**. Lavras, v. 30, n. 2, p. 214-220, mar.-abr., 2006.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Girassol multissol**. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/Cati_produtos/SementesMudas/cultivares/GIRASSOL-MULTISSOL.pdf >. Acesso em: 6 jan. 2012.

CECHIN, I. *et al.* Differential responses between mature and young leaves of sunflower plants to oxidative stress caused by water deficit. **Ciência Rural**, Santa Maria,2010, v. 40, n.6, p. 1290-1294.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, out.-dez. , 2010.

CHIARELO, H. *et al.* **Danos celulares em plantas de girassol cultivadas sob condições de restrição hídrica.** Disponível em: < [http://www.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pdf/ CA/ CA_01123.pdf](http://www.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pdf/CA/CA_01123.pdf)>. Acesso em : 13 mar. 2011.

CHRISTOFIDIS, D. **Olhares sobre a política de recursos hídricos no Brasil:** o caso da bacia do rio São Francisco. Brasília: CDS/UnB, 2001. 430 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Girassol:** conjuntura mensal – novembro de 2011. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads /arquivos/11_12_14_16_05_46_girassolnovembro2011.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_14_16_05_46_girassolnovembro2011.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2012.

CORMENZANA, J. M. A. El cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) para flor cortada. **Revista Flormarket**, Barcelona, n. 2, p. 55-61, 2001. Disponível em: <<http://personales.ya.com/jmac/jmelgares/Ornamentales/articulo%20FM.PDF>> Acesso em: 10 de out. 2011.

COX, W. J.; JOLLIFF, G.D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78 , p. 226-230, 1986.

DEMIR, A. *et al.* Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. **Irrigation Science**, Irlanda, v. 24, p. 279 – 289, 2006.

DICKMANN, L. *et al.* Comportamento de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) submetidas a estresse salino. **Revista de Ciências Agro Ambientais**, Alta Floresta, v.3, p.64-75, 2005.

DOORENBOS, J. ; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo da irrigação da melancia:** uso do tanque classe A. Documentos digitais, 2004. Disponível em: < http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3056.pdf. >Acesso em: 23 set. 2011.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes.** São Paulo: Blucher, 1974. 293 p.

FARIAS, J. R. B. *et al.* **Modelagem para estimativa de perdas de rendimento de grãos de soja em função da disponibilidade hídrica.** Disponível em: < http://www.centreinar.org.br/siap2007/siap2005/artigos/SIAP3_artigo028.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2011.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 02, p. 147-159, 2007.

FERRI, M.G. **Botânica:** morfologia interna das plantas (anatomia). 3. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1977. 113 p.

FONSECA, E.A.; VÁZQUEZ, A. La planta de girassol. *In:* Asociacion Argentina de Consorcios Regionales de Experimentacion Agricola. **Produccion de girasol.** 3th ed. Mariano Mas, México:1994. p. 17-22. (Cuaderno de Actualizacion Técnica, 40).

FREITAS, A. A. de; BEZERRA, F. M. L.; FONTENELE, F. C. B. Determinação da evapotranspiração máxima e Real e do fator de sensibilidade ao déficit Hídrico da melancia em Canindé, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p. 298 – 303, 1999.

FURLAN, A. C. *et al.* Utilização do farelo de girassol na alimentação de frangos de corte. **Revista brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.30, n.1, p.158-164, 2001.

GALBIATTI, J. A. *et al.* Efeito de diferentes períodos de irrigação no desenvolvimento, produção e qualidade de sementes na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.301-308, maio/ago., 2004.

GARZELLA, T. C. **Automação da leitura do medidor Speedy e utilização em programa de manejo de irrigação**. 2011. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GIMINEZ, O. R.; BERENGENA, J. H.; MURIEL, J. L. F. Effect of different rates of water application to a sunflower crop. **Anales del Institute Nacional del Investigacion Agrarria, Producion Vegetal**, Madrid, v. 5, p. 197-214, 1975.

GÖKSOY, A.T. *et al.* Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. **Field Crops Research**, Amsterdam, Local de publicação, v. 87, p.167-178, 2004.

GOMES, D. P. *et al.* Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de girassol produzidas na região de Timon, Maranhão. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 32, n. 3, p. 291-292, 2006.

GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. Influência da suplementação hídrica na altura de planta, diâmetro de capítulo, peso de sementes e produção de grãos. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GIRASSOL, 3.; REUNIÃO NACIONAL DA CULTURA DE GIRASSOL, 15., 2003b, Minas Gerais. **Anais...** Ribeirão Preto: CATI, 2003. 1CD-ROM.

GOMES, E. P.; TESTEZLAF, R. **Manejo de irrigação na tomaticultura-de-mesa**. Disponível em <http://www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/manejoirrig.pdf>. Acesso em: 23 set. 2011.

GOMES, E. M. **Parâmetros básicos para a irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annus* L.)**. 2005. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GRIEU, P. *et al.* Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: apports de l'écophysiologie et de la génétique. **Innovations Agronomiques**, Paris, v. 2, p. 37-51, jun., 2008.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, Carolina, v.24, p.519-570, 1973.

IVANOFF, M. E. A. **Desempenho de cultivares de girassol em função do manejo da adubação nitrogenada e potássica em condições edafoclimáticas na savana de Boa Vista**

em Roraima. 2009. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2009.

JONES, O.R. Yield, water-use efficiency, and oil concentration and quality of drayland sunflower grown in the southern high plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 229 - 235, 1984.

KARAM, F. *et al.* Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.90, p.213-223, 2007.

KIRDA, C. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. *In: FOOD Agriculture Organization of the United Nations. Deficit irrigation practices.* Rome: 2002. Cap. 1, p. 3-10. (Corporate Document Repository 22).

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

MANDARINO, J.M.G. Óleo de girassol como alimento funcional. *In: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). Girassol no Brasil.* Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.3, p. 43-50.

MERRIEN, A. **Physiologie du tournesol.** Paris: CETION, 1992. 66p.

MOTA, F.S. da. **Meteorologia agrícola.** São Paulo: Nobel, 1983. 376 p.

MOTA, J. C. A. **Componentes do balanço de água em um Cambissolo cultivado com meloeiro irrigado por gotejamento.** 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MOURA, M. V. T. de; MARQUES JÚNIOR, S.; LEOPOLDO, P. R. Simulação da distribuição espacial da água em irrigação localizada subsuperficial. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.158-164, 1998.

MOUTONNET, P. Yield response factors of field crops to deficit irrigation. *In: FOOD Agriculture Organization of the United Nations. Deficit irrigation practices.* Rome: 2002. Cap. 2, p. 11-16. (Corporate Document Repository 22).

NANGOI, I. I. **Probabilidade de redução relativa da produtividade do milho por ocorrência de déficit hídrico em função de datas de plantio na região de Piracicaba, SP.** 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA F. A. *et al.* Manejo do Solo. *In: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). Girassol no Brasil.* Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.12. p. 299-315.

OLIVEIRA, E. C. *et al.* Effects of water deficit in two phenological stages on production of japanese cucumber cultivated in greenhouse. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.676-686, jul./– ago, 2011.

OLIVEIRA, M. F. ; CASTIGLIONI, V. B. R. ; CARVALHO, C. G. P. de. Melhoramento do Girassol. *In*: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap. 11, p. 269-297.

OLIVEIRA, P. V. *et al.* **Indução de estresse na germinação de sementes de girassol pelo uso de agentes osmóticos**. Disponível em: < http://www.ufpel.tche.br/cic/2009/cd/pdf/CA/CA_01018.pdf >. Acesso em: 13 mar. 2011.

PELEGRINI, B. **Girassol: uma planta solar que das Américas conquistou o mundo**. São Paulo: Ícone, 1985. 117 p.

PUTT, E.D. Early history of sunflower . *In*: SCHNEITER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. Cap. 1. p. 1-19.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicação**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

ROBINSON, R. G. Production and culture. *In*: CARTER, J. F. (Ed.). **Sunlower science and technology**. Madison: ASA, 1978. p. 89-95.

RODRIGUES, G.; PEREIRA, L. S. Avaliação dos impactos económicos da rega deficitária no perímetro de rega da Vigia. **Revista Ecosistemas**, Madrid, v.17, n.1, p. 86-106, 2008.

ROSSI, R. O. **Girassol**. Curitiba: Tecnoagro, 1998. 333 p.

SABBAGH, M. C. **Redução de porte de girassol ornamental pela aplicação de reguladores vegetais**. 2008. 93f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SAMPAIO, A. H. R. **Irrigação com déficit hídrico e eficiência do uso da água em lima ácida 'Tahiti' no semiárido baiano**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010.

SANTOS, R. Cultura de girassol: muito mais que uma bela flor. **Escala Rural**, São Paulo, v. 3, n. 13, p. 24-29, 1999.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J. P. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, Crookston, v. 21, n. 6, p. 901-903, 1981.

SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p.1-12.1996.

SHELL, G. S. G.; LANG, A. R. G. Movements of sunflower leaves over a 24h period. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.16, n.2, p. 161 – 169, 1976.

SILVA, A. R.A. *et al.* Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 42, n. 1, jan./mar., 2011.

SILVA, M. L. O. **Aplicações de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. 2005. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SILVA, M. L. O. *et al.* Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 200-205, jan./fev., 2007.

SILVA, M. N. **A cultura do girassol**. Jaboticabal: FUNEP-UNESP, 1990. 67 p.

SILVA, M.L.O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.482 – 488, 2007.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. M.; SILVA, E. L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “bubbler”. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.264-271, jan. - abr., 2005.

STEWART, J. I. *et al.* **Optimizing crop production through control of water and salinity levels of soil**. Logan: Utah Water Research Laboratory, 1977. 191 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2010. 819 p.

TEIXEIRA, S. B. *et al.* **Crescimento inicial de plântulas de girassol submetidas a diferentes tensões de água**. Disponível em: < http://www.ufpel.tche.br/cic/2009/cd/pdf/CA/CA_01018.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2011.

TOUREIRO, C. M.; SERRALHEIRO, R. P.; OLIVEIRA, M. R. Resposta das culturas do girassol e do milho a diferentes cenários de rega deficitária. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.30, p.33-47, jan., 2007.

TROVÃO, D. M. B. M. *et al.* Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.307–311, 2007.

UNGARO, M. R. G. **Cultura do girassol**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 36 p. (Boletim Técnico, 188).

UNGER, P. W. Sunflower. *In*: STEWART, B. A. ; NIELSEN, D. R. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 775-794. (Agronomy, 30).

UNGER, P. W. *et al.* Sunflower research in the southern high plains – a progress report. **Proc. Sunflower Forum**, Fargo, n. 1, p. 24-29, 1976.

VIEIRA, O. V. Características da cultura do girassol e sua inserção em sistemas de cultivos no Brasil. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 88, n.4, p. 18-22, jul./ago., 2005.

WEISS, E. A. Sunflower. *In:* _____. **Oilseed crops**. New York: Logman, 1983. Cap. 9, p. 402 - 462.

CAPÍTULO 1

TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE GIRASSOL SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS

RESUMO

Este estudo avaliou as respostas das trocas gasosas do girassol quando submetido a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios fenológicos. O experimento foi conduzido em Pentecoste, CE, sob delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com oito parcelas, três subparcelas e quatro blocos. Nas parcelas, foram avaliadas as épocas de indução do déficit hídrico nos diferentes estádios fenológicos (vegetativo, floração e formação da produção), correspondendo à ocorrência de déficit hídrico em um, dois ou três estádios, e nas subparcelas, as épocas de avaliação das características fisiológicas, que corresponderam ao término de cada fase (52, 68 e 103 dias após a semeadura - DAS). A cultura foi irrigada com uma lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração de referência (ET_o) e o déficit hídrico foi imposto com metade da lâmina que foi aplicada no tratamento controle. Foram realizadas medições da temperatura foliar e das taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ em folhas totalmente expandidas. Com os dados de trocas gasosas, obtiveram-se as eficiências instantâneas e intrínsecas de uso da água. As épocas de avaliação influenciaram a maioria das variáveis analisadas, com exceção da eficiência intrínseca de uso da água. Os resultados de temperatura foliar e taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e as eficiências instantâneas e intrínsecas do uso da água, não mostraram efeitos em relação ao nível de déficit hídrico avaliado, independentemente da época em que os mesmos foram aplicados. A fotossíntese e a transpiração decresceram com o estágio de desenvolvimento da cultura, causando reduções na eficiência instantânea de uso da água. Portanto, conclui-se que a cultura pode ser irrigada com 50% da ET_o, durante todo o ciclo sem danos no processo fotossintético.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L. Manejo da irrigação. Fotossíntese. Condutância estomática. Transpiração.

CHAPTER 1

GAS EXCHANGE IN SUNFLOWER PLANTS SUBJECTED TO WATER STRESS IN DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES

ABSTRACT

This study evaluated the gas exchanging answers of the Sunflower plant when subjected to water deficit in different phenological stages. The experiment was conducted at Pentecoste, state of Ceara (Brazil), set in a randomized block design, with (time) split-plots, with eight plots, three subplots and four blocks. In the plots were evaluated the periods of the water deficit induction in the phenological stages (vegetative, flowering and formation of production), corresponding to the occurrence of water deficit in one, two or three stages. The treatments evaluated in the subplots were defined in according to the evaluation times of the physiological characteristics, which corresponded to the end of each stage (52, 68 and 103 days after sowing - DAS). The crop was subjected to an irrigation level equivalent to 100% of the reference evapotranspiration (Eto) and the water deficit was imposed with half of the irrigation level that was applied to the control treatment. Measurements were performed in leaf temperature and in rates of photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and internal CO₂ concentration in expanded leaves. Having gas exchange data, it was obtained instant and intrinsic efficiencies of water use. The evaluation times affected the most variables, except the intrinsic efficiency of water use. The results of leaf temperature and photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, internal CO₂ concentration rates and instantaneous and intrinsic efficiencies in the use of water showed no effects in relation to the water deficit level evaluated, regardless of evaluation time. The photosynthesis and transpiration decreased with the stage of crop development, reducing the instantaneous efficiency of water use. Therefore, it was conclude that the Sunflower crop can be irrigated with 50% of the ETo, during all the cycle without damages of the photosynthesis process.

Keywords: *Heliantus annuus* L. Irrigation management. Photosynthesis. Stomatal conductance. Transpiration.

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) ocupa posição de destaque entre as cinco mais importantes espécies anuais fornecedoras de óleo no mundo, e em virtude de suas características vantajosas sob o ponto de vista agrícola e econômico, caracteriza-se por ser uma das culturas que apresentam um dos maiores índices de crescimento em termos de área plantada e quantidade produzida (CASTRO *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2011; UCHÔA *et al.*, 2011).

As explorações agrícolas de culturas anuais em todo Brasil são submetidas a diversos fatores ambientais adversos potencialmente capazes de afetar o crescimento, o desenvolvimento, a produção e a qualidade da produção (NASCIMENTO *et al.*, 2011). Neste contexto, o déficit hídrico é um dos principais entraves responsáveis por acarretar reduções na produtividade agrícola, sobretudo, por comprometer praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, incluindo mudanças anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, sendo que as magnitudes dos efeitos estão diretamente relacionadas à sua intensidade, duração e estágio de desenvolvimento da cultura (BEZERRA *et al.*, 2003).

De maneira geral, em condições de escassez hídrica, as taxas de assimilação de CO₂ são negativamente afetadas, principalmente devido ao mecanismo de fechamento dos estômatos. Com o fechamento estomático, as plantas não só reduzem as perdas de água por transpiração, como também reduzem o suprimento de CO₂ para as folhas e, como consequência, a produção de biomassa das plantas pode ser comprometida (PAIVA *et al.*, 2005).

Porém, as pesquisas referentes às respostas fisiológicas da cultura do girassol as condições de deficiência hídrica ainda são pouco conclusivas. Cechin *et al.* (2010) examinaram os efeitos do estresse hídrico, seguido da reidratação nas trocas gasosas em folhas adultas e jovens de plantas de girassol e tornaram evidente que o estresse hídrico reduziu a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração independente da idade da folha. Por outro lado, Carneiro (2011) avaliou os efeitos da suspensão da irrigação também seguido da reidratação e constatou que a assimilação de CO₂, assim como a concentração intercelular de CO₂, não diferiu do tratamento mantido sob plena irrigação. Este autor também reporta a necessidade de realização de estudos que objetivem induzir a cultura do girassol ao déficit hídrico ao longo de seus diferentes estádios de desenvolvimento no intuito de

identificar, dentre as fases, qual é a mais sensível aos efeitos da supressão hídrica, mediante o conhecimento dos processos fisiológicos fundamentais dessa cultura, objetivando, com isso, assessorar o manejo cultural de forma mais efetiva, em face às presumíveis condições de estresse hídrico.

Uma única variável fisiológica de forma isolada não deve ser considerada quando se analisa a capacidade de tolerância à insuficiência de água (NASCIMENTO *et al.*, 2011). Por isso, segundo Nogueira *et al.* (2001), o ideal é que sejam analisados um conjunto de variáveis, tais, como potencial hídrico, condutância estomática, temperatura e a transpiração foliar, que são coletivamente consideradas indicativas do desempenho dos vegetais diante do déficit hídrico.

Neste contexto, no presente estudo avaliaram-se as respostas das trocas gasosas do girassol submetido a regimes de déficit hídrico nos seus diferentes estádios fenológicos, visando identificar as estratégias utilizadas pela espécie para tolerar os efeitos do déficit hídrico imposto ao longo de seus estádios fenológicos nas condições edafoclimáticas do município de Pentecoste, Ceará.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização ambiental da área experimental

O experimento foi conduzido em campo, entre os meses de setembro e dezembro de 2010, no perímetro irrigado Curu Pentecoste, na área irrigada AT1, pertencente à Fazenda Experimental Vale do Curu - FEVC, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará - UFC, no Município de Pentecoste – CE (Figura 1).

As coordenadas geográficas locais de referência são latitude $3^{\circ}49'25''$ S, longitude $39^{\circ}20'20''$ W e altitude média de 50 m.

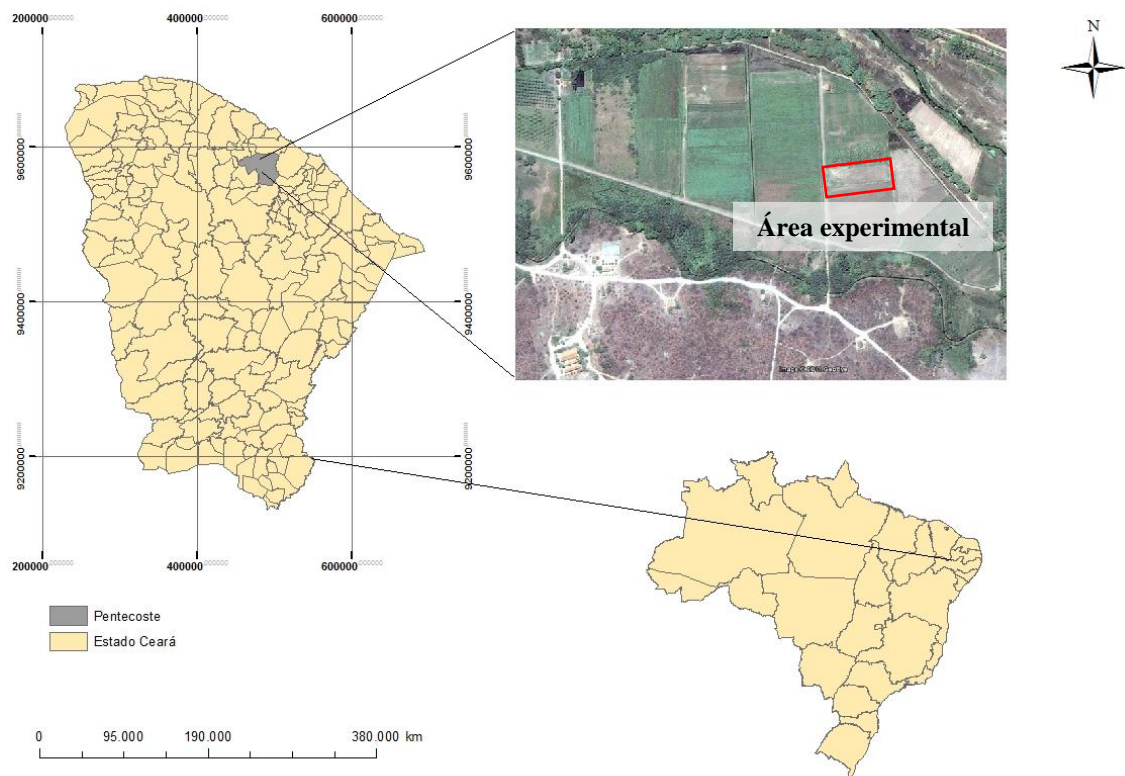


Figura 1 – Mapa de localização da área experimental. Pentecoste – CE, 2010.

O município de Pentecoste - CE ocupa uma área de aproximadamente 1.378 km² e se encontra localizado na região Norte Cearense, no Vale do Curu, microrregião do Médio Curu, cuja distância até a capital do estado Fortaleza - CE, é de aproximadamente 115 km com acesso através da BR- 222.

2.1.1 Caracterização climática da região

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é BSw'h', isto é semiárido com chuvas irregulares, com duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca, que vai geralmente de junho a janeiro, e outra chuvosa, de fevereiro a maio. A precipitação da região apresenta uma distribuição unimodal, com ocorrência máxima no outono. As médias históricas dos dados climáticos do município para o período compreendido entre os anos de 1975 a 2000 indicam os seguintes valores: precipitação anual de 800,9 mm, temperatura média anual de 27,1 °C e umidade relativa média do ar de 74% (EMBRAPA, 2001).

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados graficamente os dados climáticos das médias diárias da temperatura e da umidade relativa do ar, respectivamente, registrados na Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu, durante os meses de condução do experimento.

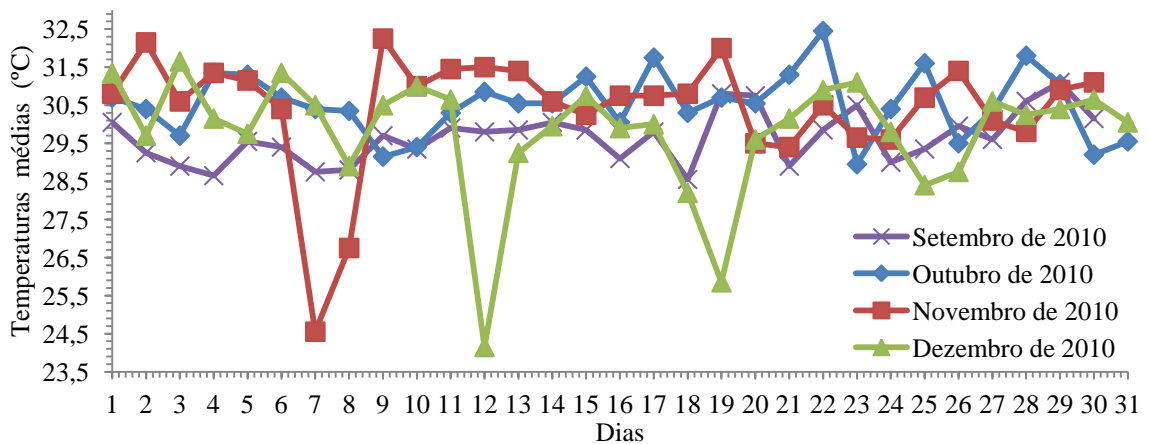


Figura 2 – Médias diárias da temperatura do ar durante a condução do experimento. Pentecoste – CE, 2010.

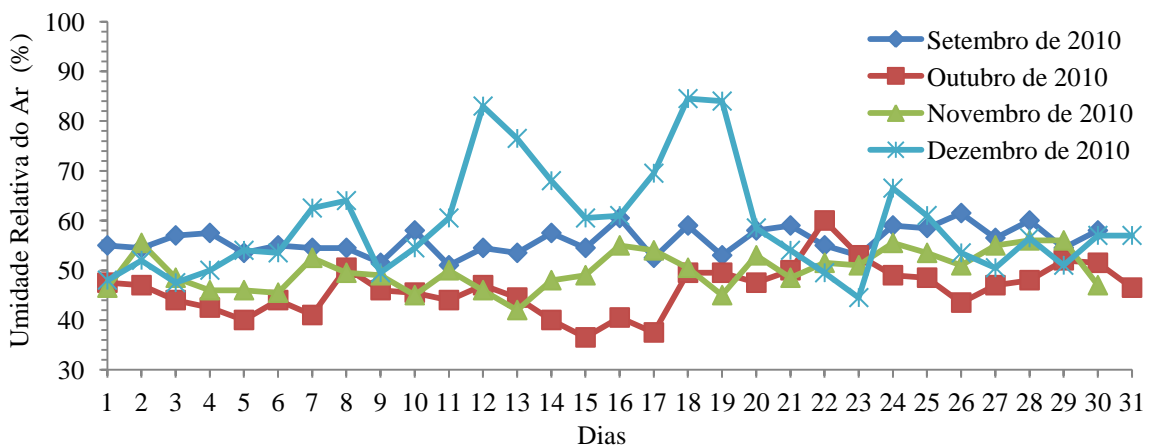


Figura 3 – Médias diárias da umidade relativa do ar durante a condução do experimento. Pentecoste – CE, 2010.

2.1.2 Caracterização do solo

De acordo com EMBRAPA (2006), o solo da área experimental pertence à classe dos Neossolos Flúvicos. Estes solos derivam de sedimentos aluviais recentemente depositos. Apresentam uma granulometria muito diversificada. No que se relaciona a profundidade, variam desde moderadamente profundos a muito profundos. Também são caracterizados por exibirem uma redução aleatória do teor de carbono orgânico ao longo do perfil do solo.

Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m para determinar as características químicas, e nas camadas de 0 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80 m a fim de se proceder a caracterização físico – hídrica da área experimental, obedecendo às orientações prescritas por Aquino *et al.* (1993), percorrendo em zig-zag toda a área experimental coletando subamostras com o auxílio de um trado tipo Holandês, de tal forma que se obteve uma amostra composta bastante representativa da área experimental para cada profundidade.

As amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, cujas análises físico – hídricas e químicas foram realizadas pelos métodos descritos em EMBRAPA (1997). Os resultados das análises físico – hídricas e químicas, com os teores dos elementos minerais interpretados segundo Aquino *et al.* (1993) são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Os resultados da análise física do solo indicam um predomínio da classe textural franca arenosa ao longo do perfil amostrado.

Tabela 1 - Características físicas e físico-hídricas do solo da área experimental. Pentecoste – CE, 2010¹.

Características físicas	Profundidades de coleta (m)			
	0 – 0,20	0,20 – 0,40	0,40 – 0,60	0,60 – 0,80
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	93	59	109	101
Areia Fina (g kg ⁻¹)	600	620	621	707
Silte (g kg ⁻¹)	224	231	187	131
Argila (g kg ⁻¹)	83	90	83	61
Argila Natural (g kg ⁻¹)	63	82	77	58
Classificação textural	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Areia Franca
Grau de flocculação (g 100 g ⁻¹)	24	9	7	5
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,30	1,43	1,39	1,34
Densidade das partículas (g cm ⁻³)	2,6	2,54	2,57	2,68
Porosidade total (%)	50	43	45	50
C. de Campo 0,033 MPa (m ³ m ⁻³)	14,23	13,13	11,82	9,19
P. de Murcha 1,50 MPa (m ³ m ⁻³)	7,13	5,27	5,3	4,56

¹ Análise realizada no Laboratório de Solos e Água, do Departamento de Ciências do Solo do CCA/UFC.

Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental. Pentecoste – CE, 2010¹.

Características químicas	Profundidades de coleta (m)			
	0 – 0,20	Caracterização	0,20 – 0,40	Caracterização
P (mg dm ⁻³)	78	Muito Alto	56	Muito Alto
K ⁺ (mg dm ⁻³)	515	Muito Alto	246	Muito Alto
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	4,8	Alto	4,5	Alto
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	3,7	Alto	4	Alto
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0	-	0	-
N ^{a+} (mg dm ⁻³)	73	-	70	-
pH	7,2	-	7,2	-

¹ Análise realizada no Laboratório de Solos e Água, do Departamento de Ciências do Solo do CCA/UFC.

2.2 Material vegetal

O experimento foi realizado com a cultura do Girassol (*Helianthus annus* L.), cultivar Multissol (Figura 4), derivada da cultivar Catissol 01, através de seleção massal clássica e lançada no ano de 2004 pelo Departamento de Sementes, Mudanças e Matrizes/CATI (COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012).

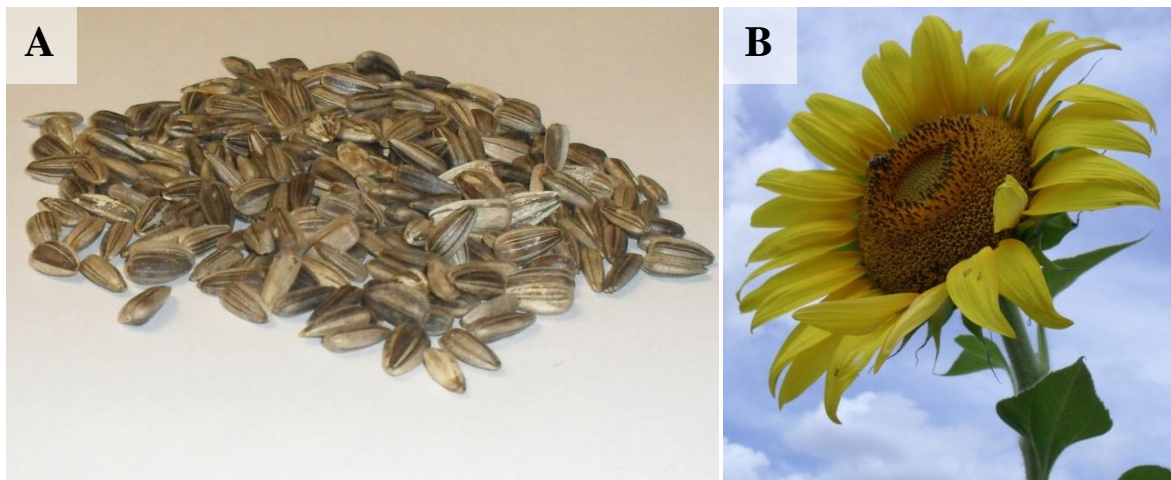


Figura 4 – Aquênios (A) e capítulo (B) da cultivar de girassol Multissol. Pentecoste – CE, 2010.

2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento obedeceu ao delineamento estatístico de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, perfazendo um total de 32 unidades experimentais ou parcelas.

Os tratamentos foram definidos em função da época de indução do déficit hídrico nos diferentes estádios fenológicos da cultura, correspondendo à ocorrência de déficit hídrico em um, dois ou três estádios (Tabela 3).

Tabela 3 - Identificação dos tratamentos utilizados no experimento. Pentecoste – CE, 2010.

Identificação	Descrição
T1	Sem déficit hídrico durante os três estádios fenológicos (controle)
T2	Déficit hídrico no estágio de formação da produção
T3	Déficit hídrico no estágio de floração
T4	Déficit hídrico nos estádios de floração e de formação da produção
T5	Déficit hídrico no estágio vegetativo
T6	Déficit hídrico nos estádios vegetativo e de formação da produção
T7	Déficit hídrico nos estádios vegetativo e de floração
T8	Com déficit hídrico durante os três estádios fenológicos

O desenvolvimento da cultura foi dividido em três estádios fenológicos, de acordo com observações de caráter morfológico, segundo a descrição das fases de desenvolvimento da cultura do girassol apresentada por Schneiter e Miller (1981), conforme a descrição a seguir:

Estádio Vegetativo: Este estágio teve duração de 52 dias, iniciando com a semeadura e finalizando com o estágio inicial da floração, que se caracteriza por apresentar as primeiras flores liguladas, que são de coloração amarela.

Estádio de Floração: Este estágio teve duração de 16 dias, iniciando com o fim do estágio vegetativo e finalizando com a abertura de todas as flores tubulares e murchamento das flores liguladas, ou seja, até o estágio de floração final.

Estádio de Formação da Produção: Este estágio teve duração de 42 dias e estendeu-se do final do estágio anterior até a colheita. O final deste estágio caracteriza-se pelas alterações que ocorrem nas colorações das brácteas do capítulo.

Na Figura 5 estão apresentados os distintos estádios fenológicos da cultura do girassol durante o seu desenvolvimento, ao longo do período experimental.

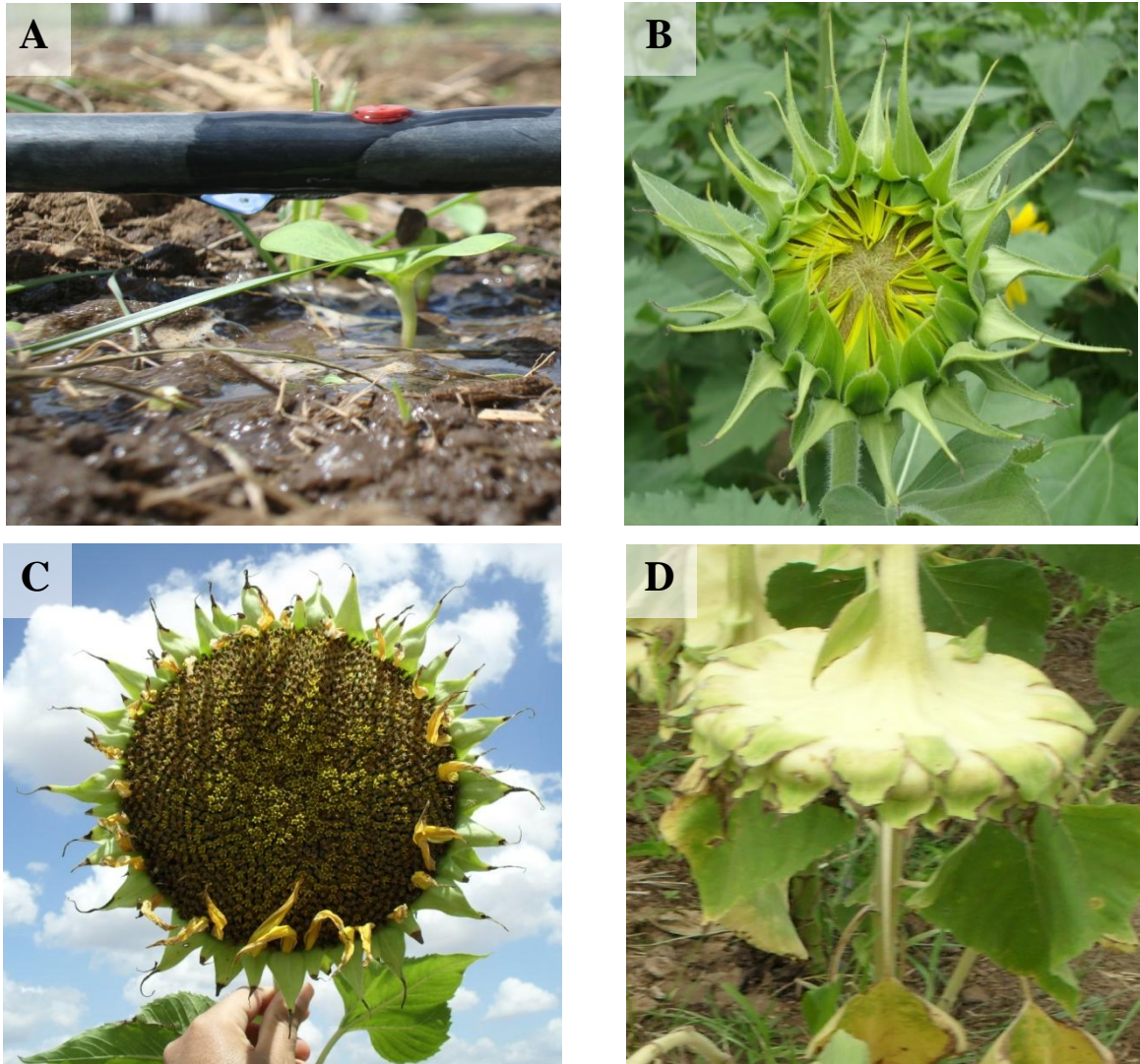


Figura 5 – Início do estágio vegetativo (A), início do estágio de floração (B), início e término do estágio de formação da produção (C) e (D), respectivamente, da cultura do girassol, cv. Multissol. Pentecoste – CE, 2010.

As trinta e duas unidades experimentais ocuparam individualmente uma área de 21,6 m² (3,6 m x 6,0 m), e eram constituídas por quatro fileiras de plantas espaçadas em 0,9 m. A área total ocupada pelo experimento foi de 864 m² (28,8 m x 30 m), composta por 128 linhas de plantas e a área útil, considerando apenas as parcelas foi de 691,2 m².

Cada linha útil de plantas ocupou uma área de 5,4 m² (0,9 m x 6,0 m), e continham 24 plantas cada. Desta forma, cada unidade experimental abrangeu um total de 96 plantas.

Somente as fileiras centrais foram avaliadas. As fileiras das extremidades que circundaram toda área útil do experimento serviram para eliminar os eventuais efeitos de bordadura, assim como a primeira e última planta de cada unidade experimental.

Na Figura 6 estão representados o esquema de distribuição dos tratamentos no campo e os detalhes da unidade experimental.

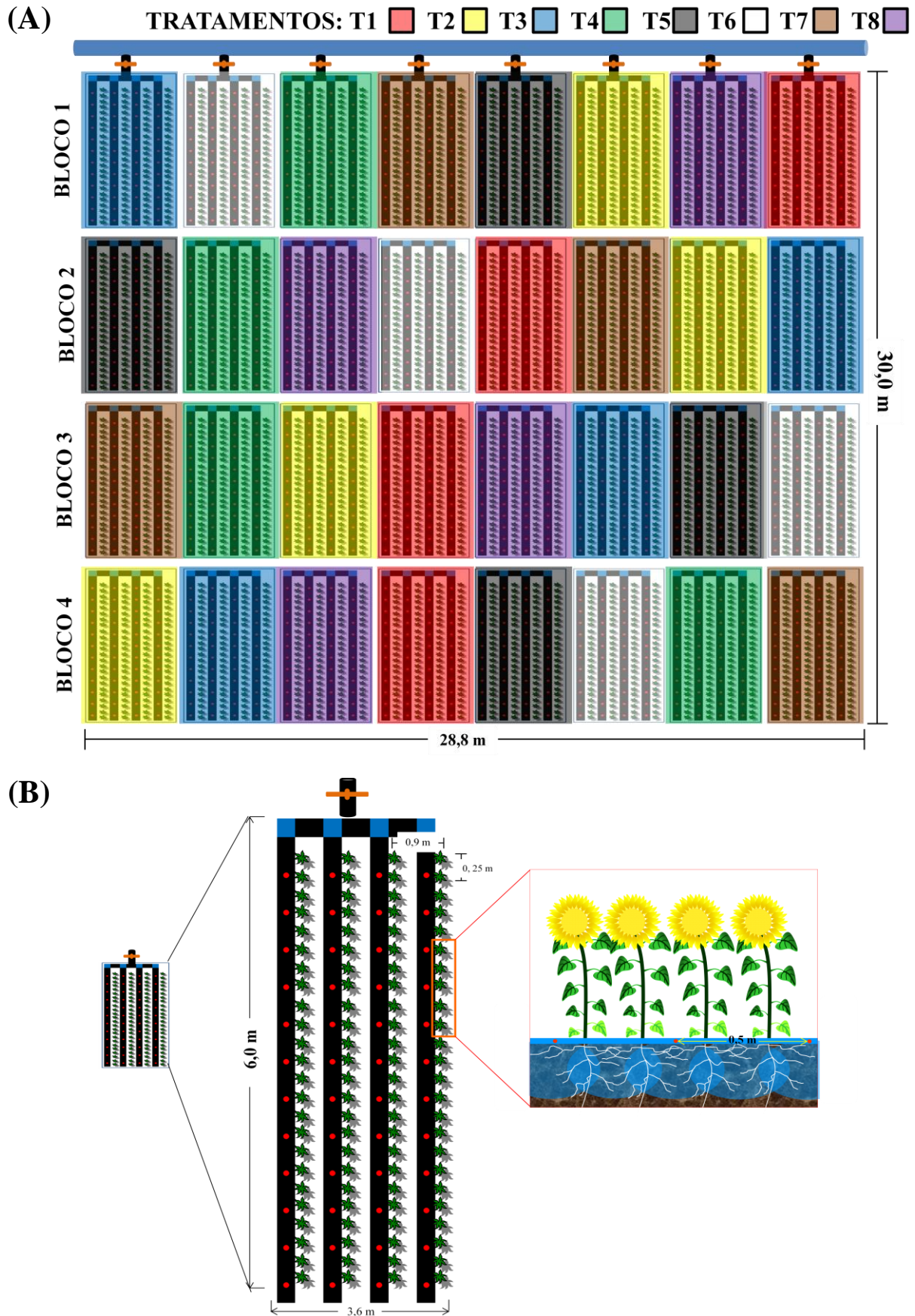


Figura 6 - Croqui geral ilustrando a distribuição dos tratamentos no campo experimental (A). Representação esquemática dos detalhes da parcela experimental (B). Pentecoste – CE, 2010.

2.4 Instalação e condução da cultura

2.4.1. Preparo da área

A área do experimento foi preparada de forma convencional e constaram de aração, gradagem cruzada e aberturas de sulcos espaçados de 0,9 m.



Figura 7 – Preparo convencional do solo da área experimental. Pentecoste – CE, 2010.

2.4.2 Adubação de fundação

Nos sulcos foram distribuídos os fertilizantes químicos da fundação, baseados na análise de solo e exigências nutricionais da cultura obedecendo às prescrições de Aquino *et al.* (1993). As quantidades necessárias de macronutrientes foram às seguintes: 30,00 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60,00 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 60,00 kg ha⁻¹ de potássio (K). Por ocasião do plantio, aplicou-se em fundação apenas parte desses valores, de tal forma que os fertilizantes usados nesta aplicação foram 7,20; 1,80 e 2,10 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente, sendo utilizados como fontes a uréia, o fosfato monoamônio (MAP) e o sulfato de potássio, respectivamente. Neste momento, aplicou-se ainda 10,00 kg ha⁻¹ de micronutrientes, na forma

comercial do fertilizante mineral FTE BR-12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo).

2.4.3 Semeadura e desbaste

As sementes utilizadas para a semeadura da cultivar de girassol Mutissol apresentaram 85% de germinação, conforme um teste padrão realizado antes do plantio, no Laboratório de Análise de Sementes do CCA/UFC, seguindo-se as recomendações prescritas nas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 1992). O espaçamento adotado foi de 0,9 m entre linhas, espaçadas de 0,25 m na linha. O plantio foi feito semeando-se em média de três a quatro sementes por cova (Figura 8 A). Aos 7 dias após a semeadura (DAS), observou-se uma germinação de aproximadamente 90%. No desbaste, realizado manualmente aos 15 DAS às plantas foram arrancadas rente ao solo, deixando-se apenas uma planta por cova, de forma a se obter o estande de plantas almejado pelo experimento (Figura 8 B).



Figura 8 – Semeadura (A) e planta de girassol após a realização do desbaste (B). Pentecoste – CE, 2010.

2.5 Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação

A água utilizada para abastecimento do sistema de irrigação era proveniente de um canal terciário suprido pela água oriunda do açude General Sampaio (Figura 9 A). O

resultado da análise química da qualidade da água de irrigação é apresentado na Tabela 4. Pelos resultados, constatou-se que de acordo com Ayers e Westcot (1999), a água de irrigação utilizada no experimento não demonstrava nenhuma restrição de uso para tal fim.

Tabela 4 – Características químicas da água de irrigação. Pentecoste – CE, 2010².

pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	RAS	Classificação
(-)	dS m ⁻¹	mmol _c L ⁻¹			(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	(-)	
7,67	0,50	0,0026	2,0348	0,8000	1,5700	1,8800	C ₁ S ₁

² pH - Potencial Hidrogeniônico, CE – Condutividade elétrica, RAS – Razão de adsorção de sódio, Classificação – Segundo Ayers e Westcot (1999).

Irrigou-se o experimento pelo método localizado, com o sistema do tipo gotejamento sobre linha. Os gotejadores eram do tipo autocompensantes, da marca Katif[®] com vazão média de 3,75 L h⁻¹, a uma pressão de serviço de 150 kPa, espaçados de 0,5 m na linha com um gotejador por duas plantas. O sistema ainda era composto por conjunto motobomba de 3,5 cv; cabeçal de controle, constituído por filtro de disco, tubo Venturi; tomada de pressão e registros; linha principal de PVC rígido; linha de derivação, que possuía um cavalete com hidrômetro e válvula anti-vacúo e linhas laterais de polietileno de diâmetro nominal de 16 mm, tendo no início de cada linha de irrigação um registro para controle da quantidade de água aplicada nos tratamentos (Figura 9 B, C, D e E).



Figura 9 – Componentes do sistema de irrigação. Adução (A), sistema motobomaba e filtro de disco (B), injetor de fertilizantes (C), linha principal (D), cavalete (E), linhas laterais (F). Pentecoste – CE, 2010.

Após a instalação do sistema de irrigação, procedeu-se a avaliação da uniformidade de distribuição de água no sistema, por meio da metodologia proposta por Keller e Karmeli, modificada por Deniculli *et al.* (1980), que consiste na coleta da vazão dos gotejadores em oito pontos ao longo da linha lateral e em quatro linhas laterais, ao longo da linha de derivação (Figura 10 A). De posse dos valores das vazões medidos em cada gotejador, calculou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema do sistema de irrigação (CUD), que foi de 90%, utilizando-se a equação 1:

$$CUD = \frac{\text{Média de } \frac{1}{4} \text{ das menores vazões}}{\text{Média de todas as vazões coletadas}} \times 100 \quad (1)$$

Após a semeadura, a área experimental foi irrigada diariamente com uma lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração de referência, estimada através da evaporação medida em um tanque tipo Classe “A” (Figura 10 B), a fim de garantir a uniforme do estande até o início da diferenciação dos tratamentos, que se deu aos 21 dias após a semeadura (DAS).

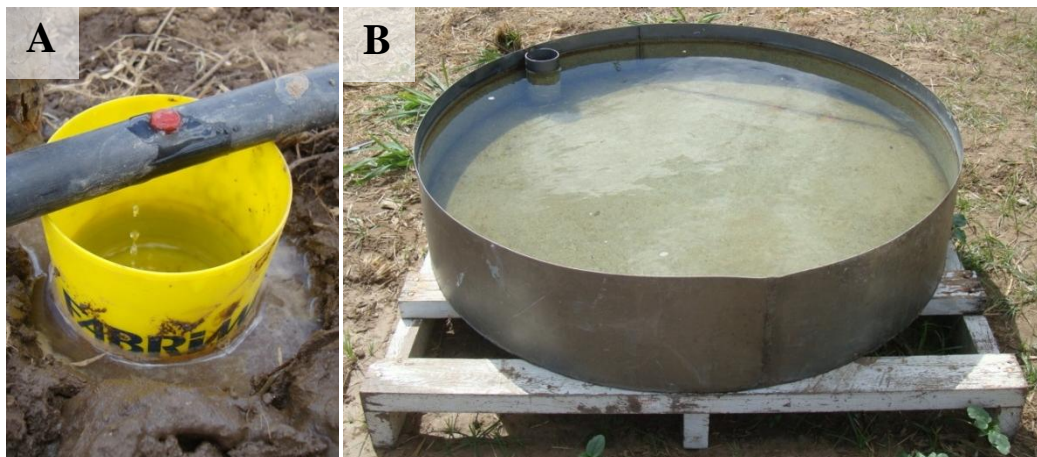


Figura 10 – Coleta das vazões durante a avaliação da uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação (A). Tanque evaporímetro do tipo Classe “A” na área experimental (B). Pentecoste – CE, 2010.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada através da equação 2 (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006):

$$ET_o = ECA \cdot Kt \quad (2)$$

em que,

ET_o - Evapotranspiração de referência estimada através do Tanque Classe “A” (mm);

ECA - Evaporação medida através do Tanque Classe “A” (mm);

Kt - Coeficiente de ajuste do tanque (adimensional).

O coeficiente de ajuste do tanque (Kt) foi calculado através da equação 3 proposta por Snyder (1992):

$$Kt = 0,482 + 0,24 \ln (F) - 0,00037 U + 0,0045 UR \quad (3)$$

em que,

Kt - Coeficiente de ajuste do tanque (adimensional);

F - Menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura (m);

U - Velocidade do vento (km dia^{-1});

UR - Umidade relativa do ar (%).

A irrigação total necessária foi calculada pela equação 4, proposta por Bernardo, Soares e Mantovani (2006):

$$ITN = \frac{LI \cdot PAM}{CUD} \quad (4)$$

em que,

ITN - Irrigação total necessária (mm);

LI - Lâmina de irrigação, referente à evapotranspiração de referência (ETo) (mm);

PAM - Percentagem de área molhada (Valor adotado 0,40);

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação (Obtido em avaliação de campo, $CUD = 0,90$).

Já o tempo de irrigação foi calculado a partir da equação 5:

$$T_i = \frac{ITN \cdot A_p}{Nef \cdot q_g} \quad (5)$$

em que,

T_i - Tempo de irrigação (h);

ITN - Irrigação total necessária (mm);

A_p - Área da faixa de plantio (m^2) ($A_p = 6 \times 0,9 = 5,4 \text{ m}^2$);

Nef - Número de emissores na faixa de plantio ($Nef = 12$);

q_g - Vazão do gotejador, L h^{-1} ($q_g = 3,75 \text{ L h}^{-1}$).

As unidades experimentais submetidas ao déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura receberam 50% da lâmina de água aplicada no Tratamento 1. Após o início da diferenciação dos tratamentos, a quantidade de água aplicada em cada tratamento passou a ser reposta a cada dois dias, e as lâminas aplicadas continuaram tendo por base a ETo . A suspensão da irrigação ocorreu aos 103 DAS, quando os aquênios já estavam com massa consolidada e resistente, conforme a orientação de Silva *et al.* (2007).

A partir dos 28 DAS, deu-se o início das adubações de cobertura por meio da fertirrigação, conforme o parcelamento da adubação previamente estabelecido em

consonância com a marcha de absorção de nutrientes da cultura, adaptada a partir da descrição de Castro e Farias (2005), apresentada na Tabela 5, através de um injetor de fertilizante tipo tubo Venturi (Figura 11).

Nas fertirrigações foi também utilizado a uréia, o fosfato monoamônico (MAP) e o sulfato de potássio como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, em virtude de se tratarem de fertilizantes solúveis em água. Também se procedeu à aplicação de Boro (B), utilizando como fonte o ácido bórico na dose de 4,00 kg de B ha⁻¹, conforme a recomendação de Lima *et al.* (2010). Ao longo das fertirrigações, a condutividade elétrica da solução nutritiva aplicada pelo sistema foi monitorada com condutivímetro digital portátil.

Tabela 5 – Valores percentuais (%) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e boro (B) aplicados na semeadura e ao longo das fertirrigações durante o desenvolvimento da cultura do girassol. Pentecoste – CE, 2010³.

DAS	N (%)	P (%)	K (%)	B (%)
Semeadura	11,58	6,25	7,45	0,00
28	18,95	21,88	21,58	17,47
35	18,95	21,88	21,58	17,47
42	12,11	18,75	18,32	21,08
49	12,11	18,75	18,32	21,08
56	5,26	6,25	3,88	6,33
63	5,26	6,25	3,88	6,33
70	7,89	0,00	2,48	5,12
77	7,89	0,00	2,48	5,12
TOTAL	100	100	100	100

³ Adaptado a partir de Castro e Farias (2005).

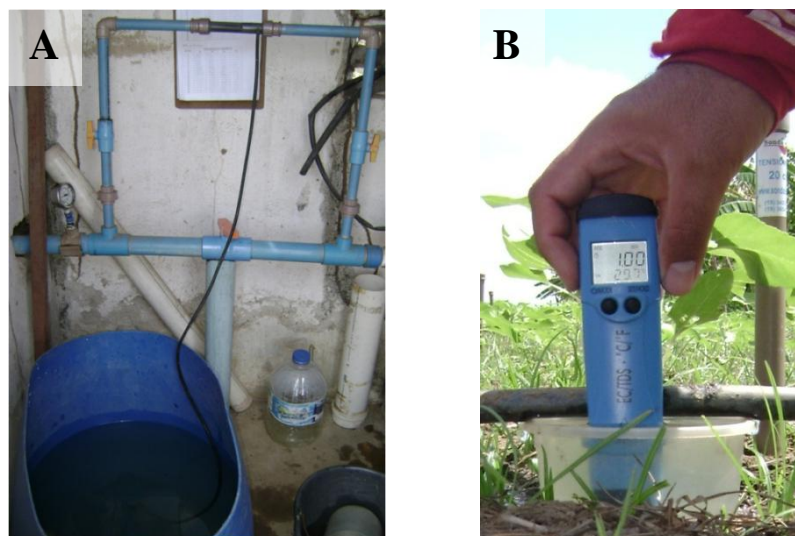


Figura 11 – Injeção da solução nutritiva no sistema de irrigação através do injetor do tipo Venturi (A). Monitoramento da condutividade elétrica da solução nutritiva aplicada pelo sistema de irrigação com condutivímetro digital portátil (B). Pentecoste – CE, 2010.

2.6 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários

Durante o ciclo da cultura foram realizadas duas capinas com auxílio de enxadas manuais, aos 21 e aos 42 DAS com o objetivo de eliminar as plantas infestantes e evitar a concorrência das mesmas com a cultura por água e nutrientes (Figura 12).



Figura 12 - Capina na cultura do girassol para eliminação das plantas infestantes. Pentecoste - CE, 2010.

Foram procedidos os tratamentos fitossanitários necessários, seguindo as recomendações sugeridas por Leite, Brighenti e Castro (2005), mediante a realização de três pulverizações com os inseticidas ORTHENE 750 BR e VERTIMEC[®] 18 EC, aos 13, 21 e 41 DAS.

2.7 Medições da temperatura foliar e das trocas gasosas

Foram realizadas medições da temperatura foliar e das taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ em folhas totalmente expandidas, ao término de cada estágio fenológico (52, 68 e 103 DAS) utilizando-se analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT (Portable Photosynthesis System - LI) da LICOR[®], que infere o diferencial entre CO₂ e H₂O em um

fluxo de ar que passa pela câmara onde está a unidade foliar que está sendo analisada. (Figura 13). Com os dados de trocas gasosas foi determinada a eficiência instantânea de uso da água, calculada pela razão entre fotossíntese e transpiração, e a eficiência intrínseca de uso da água, calculada pela razão entre fotossíntese e condutância estomática. As medições foram realizadas sempre no período da manhã.

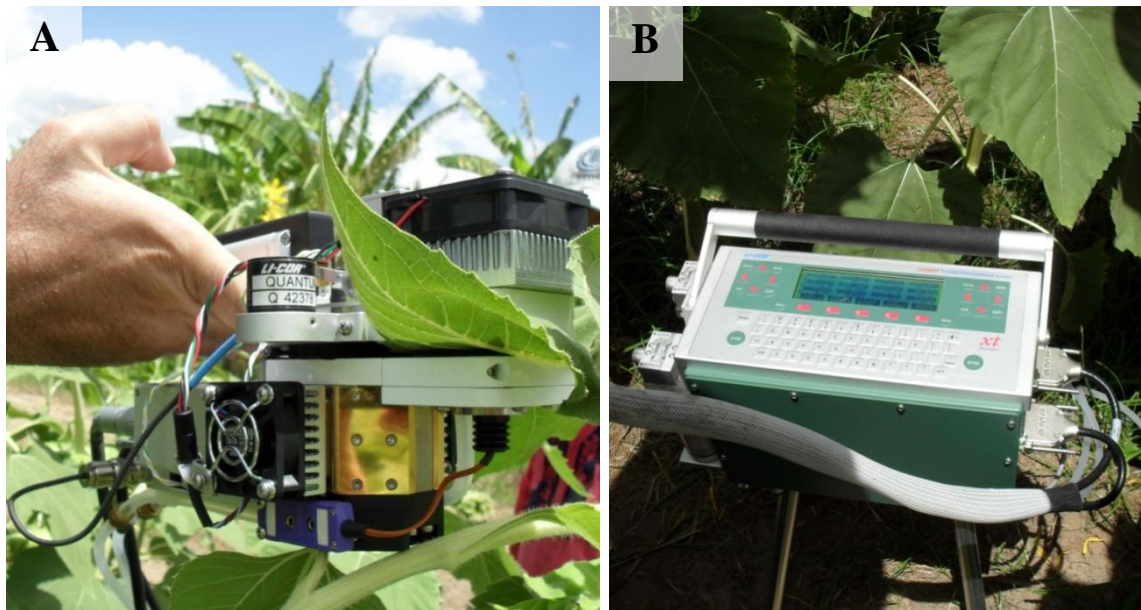


Figura 13 - Medições da temperatura foliar e das trocas gasosas nas folhas do girassol com o analisador a gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT. Câmara foliar do aparelho (A). Sistema de aquisição de dados (B). Pentecoste – CE, 2010.

2. 8 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, seguindo o esquema de parcelas subdivididas no tempo (tratamentos x épocas de avaliação), e quando houve efeito significativo da interação ou dos efeitos principais, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional para assistência estatística ASSISTAT 7.6 beta da Universidade Federal de Campina Grande (PARAÍBA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das análises das variâncias das variáveis fisiológicas do girassol para os dados de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), temperatura foliar (T_F), eficiência instantânea de uso da água ($A E^{-1}$) e eficiência intrínseca de uso da água ($A g_s^{-1}$) está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância das variáveis fisiológicas do girassol, submetidas à deficiência hídrica nos diferentes estádios fenológicos. Pentecoste – CE, 2010⁴.

F.V.	GL	Teste F						
		A	E	g_s	C_i	T_F	$A E^{-1}$	$A g_s^{-1}$
Blocos	3	0,17	0,89	0,98	0,86	1,96	0,99	0,94
Tratamentos (T)	7	0,79 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Resíduo (T)	21	-	-	-	-	-	-	-
Épocas (E)	2	139,01 ^{**}	11,86 ^{**}	20,75 ^{**}	7,31 ^{**}	28,75 ^{**}	178,89 ^{**}	0,81 ^{ns}
T x E	14	0,86 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,85 ^{ns}
Resíduo (E)	48	-	-	-	-	-	-	-
CV – T (%)	-	12,59	9,79	24,84	4,91	2,40	10,55	27,74
CV – E (%)	-	9,67	9,10	27,91	4,05	3,37	7,98	26,78

⁴ FV - Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; A – Fotossíntese ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$); E – Transpiração ($mmol m^{-2} s^{-1}$); g_s – Condutância estomática ($mol m^{-2} s^{-1}$); C_i – Concentração interna de CO_2 ($mmol m^{-2} s^{-1}$); T_F – Temperatura foliar ($^{\circ}C$); $A E^{-1}$ – Eficiência instantânea de uso da água ($mmol CO_2 mol^{-1} H_2O$); $A g_s^{-1}$ – Eficiência intrínseca de uso da água ($mmol m^2 s^{-1} H_2O$); ^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{**} – Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Com relação às trocas gasosas verificaram-se diferenças significativas apenas para os efeitos principais do fator época de avaliação, para todas as variáveis analisadas, no nível de 1% de probabilidade pelo teste F, com exceção da eficiência intrínseca de uso da água. Todavia, estes fatores em estudo (tratamentos e épocas de avaliação) variaram de modo independente entre si e não foi verificada significância entre as interações em nível de 5% de probabilidade, conforme o teste F da análise da variância (Tabela 6).

Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Carneiro (2011) que pesquisou o impacto do estresse hídrico através da suspensão total da irrigação sobre as trocas gasosas no girassol e evidenciou que a assimilação de CO_2 , assim como a concentração intercelular de CO_2 , não diferiram do tratamento controle (irrigadas diariamente) até o quinto dia após a interrupção do suprimento de água. Para este mesmo autor, a condutância estomática e a transpiração também apresentaram pequena variação entre os tratamentos.

No entanto, os resultados da presente pesquisa são divergentes dos obtidos por Cechin *et al.* (2010), quando constataram que após seis dias de estresse hídrico, imposto por meio da suspensão total do fornecimento de água, as variáveis fisiológicas fotossíntese,

condutância estomática e transpiração nas folhas de girassol foram reduzidas em função do estresse imposto.

A exposição das espécies vegetais ao déficit hídrico de forma suficientemente lenta e gradual, como foi realizado neste estudo, induz nas plantas a ativação de uma complexa série de adaptações morfofisiológicas de aclimatação ao estresse, no intuito de minimizar os efeitos negativos da escassez de água (SANTOS; CARLESSO, 1998). No entanto, as sequelas do estresse hídrico sobre os vegetais são muito variadas e dependem, sobretudo, da intensidade, bem como da duração do estresse ao qual a planta está sendo submetida (MENDES *et al.*, 2007).

Pelos dados obtidos, observa-se que a ausência de efeitos significativos do déficit hídrico sob as variáveis analisadas são indicativos de que as lâminas de irrigação que foram aplicadas nos tratamentos submetidos ao déficit ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento (50% da ETo) foram suficientes para garantir um status hídrico comparável ao do tratamento irrigado sem restrição hídrica (100% da ETo), fato, que possivelmente, ocorreu devido à adoção de ambos os níveis de irrigação proporcionar à manutenção do potencial hídrico foliar e, conseqüentemente da turgescência das células guardas dos estômatos, uma vez que os danos provocados pelo estresse hídrico variam conforme a intensidade de sua ocorrência (LIMA *et al.*, 2010). Isso condiz com informações de Silva *et al.* (2010 a), ao relatarem que plantas de feijão - caupi também submetidas à reposição de 50% da água perdida por evapotranspiração não apresentaram lesões no aparelho fotossintético, refletidas pelas inalterações nas trocas gasosas quando comparadas a reposição de 100% da água perdida por evapotranspiração.

Para Santos e Carlesso (1998), a deficiência hídrica quando imposta de forma controlada pode resultar em melhores eficiências fotossintéticas.

Carneiro (2011) ao analisar respostas não estomáticas do girassol mediante ao déficit hídrico discorre que o mesmo não foi capaz de acarretar efeitos na eficiência fotoquímica do fotossistema II. O que está de acordo com informações de Tezara, Driscoll e Lawlor (2008), ao observarem que em plantas desta espécie, quando a fotossíntese é inibida em decorrência do déficit hídrico, existe uma fração dos centros de reação do fotossistema II que permanecem abertos e são capazes de realizar todo trabalho fotoquímico, sem, contudo provocar alterações significativas nas trocas gasosas, sendo provavelmente o que ocorreu nesse estudo.

Estes resultados levam a crer que, possivelmente, a cultura do girassol pode também ter adotado outras estratégias visando aumentar sua tolerância diante das condições

de restrições hídricas, estratégias estas não analisadas na presente pesquisa como, por exemplo, o ajustamento osmótico, uma vez que para Nepomuceno *et al.* (2001), este mecanismo consiste na capacidade desenvolvida pelas plantas mediante ao estresse provocado por déficit hídrico de acumular ativamente açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol, assegurando a manutenção do potencial hídrico, com redução de seu potencial osmótico e, por conseguinte, conservando o turgor de suas células próximo ao nível ótimo.

Para estes autores, quando o turgor celular é mantido, processos como a condutância estomática, a assimilação de CO₂ e a expansão dos tecidos vegetais são parcial ou totalmente mantidas, ajustes estes que tem sido observado no girassol. O que contrapõe as informações de Cechin *et al.* (2010), e Carneiro (2011), os quais confirmaram que o potencial hídrico foliar diminuiu à medida que o período de déficit de água aumentou em plantas de girassol, evidenciando que, as reduções no potencial hídrico refletem diretamente as mudanças que ocorreram no potencial osmótico, decorrentes da restrição hídrica.

Vale ressaltar que medidas momentâneas de trocas gasosas podem não refletir o autêntico comportamento fisiológico da planta frente à condição de estresse ao longo de todo dia e, portanto, carecem ser avaliadas com certa precaução (SILVA *et al.*, 2010 b). A este respeito, Taiz e Zeiger (2009), reportam que no curso diário natural ocorre desbalanço entre a água absorvida pelo sistema radicular e a transpirada pelas folhas, independente da condição de suprimento hídrico em função da oscilação da demanda evaporativa da atmosfera ao longo do dia. Desse modo, é provável que em algum momento do dia pudesse ter sido detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, uma vez que aqueles tratamentos que não se encontravam sob limitado suprimento hídrico ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento, poderiam ser favorecidos em detrimento aos tratamentos submetidos ao déficit, levando-se em consideração a exigência diferenciada de água ao longo do ciclo cultural.

Outra hipótese que poderia explicar o fato das trocas gasosas em plantas de girassol não terem sido estatisticamente influenciadas pelas distintas estratégias de manejo da irrigação impostas ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento, pode ter sido o fato da presente pesquisa ter adotado uma irrigação de alta frequência (dois dias), embora o volume de água aplicado na condição de estresse tenha sido reduzido. O que é condizente com informações de Paiva *et al.* (2005), ao verificarem que os efeitos do déficit de água no solo acabam não exercendo influências nos processos fotossintéticos dos vegetais quando se adota uma irrigação de alta frequência, uma vez que nestas condições, um melhor "status" hídrico na planta é assegurado, de tal forma que as respostas das trocas gasosas nas plantas

cultivadas sob condições de déficit hídrico, acabam seguindo à mesma tendência das plantas sem restrição hídrica.

A comparação das médias das variáveis relacionadas às trocas gasosas para o efeito isolado do fator época de avaliação pode ser observada na Tabela 7. Constata-se que a maior taxa fotossintética foi verificada aos 52 DAS, com valor médio de $31,90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que diferiu significativamente das demais ($p \leq 0,05$), seguido da avaliação aos 68 e aos 103 DAS que também diferiram estaticamente entre si ($p \leq 0,05$), de tal forma que as taxas fotossintéticas foram decrescendo ao longo das distintas etapas fenológicas da cultura, com uma redução de aproximadamente 33,51%, ao se comparar os valores extremos (Tabela 7).

Tabela 7 – Fotossíntese, Transpiração, Condutância estomática, Concentração interna de CO_2 , Temperatura foliar e Eficiência instantânea de uso da água do girassol aos 52, 68 e 103 DAS. Pentecoste - CE, 2010⁵.

DAS	A	E	g_s	C_i	T_F	$A E^{-1}$
52	31,90 a	16,33 b	1,42 a	267,56 a	33,12 b	1,95 a
68	28,89 b	17,64 a	1,29 a	257,72 b	34,71 a	1,64 b
103	21,21 c	15,86 b	0,90 b	265,03 a	35,23 a	1,33 c
DMS	1,59	0,91	0,20	6,46	0,70	0,07

⁵ DAS – Dia após a semeadura; A - Fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); E - Transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); g_s – Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); C_i – Concentração interna de CO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); T_F – Temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$); $A E^{-1}$ – Eficiência instantânea de uso da água ($\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$); DMS – Diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme Taiz e Zeiger (2010), na medida em que as folhas crescem sua capacidade para produzir fotoassimilados aumenta até o alcance da maturidade, que consiste em seu crescimento final, fase na qual as taxas de fotossintéticas começam então a decrescer. Folhas velhas e senescentes eventualmente tornam-se amarelas e são incapazes de realizar a fotossíntese, pois a clorofila é degradada e o cloroplasto passa a perder sua funcionalidade, o que pode explicar, em parte, as reduções estatisticamente significativas observadas nas taxas fotossintéticas e na eficiência instantânea de uso da água, com o avanço do ciclo cultural (Tabela 7). Tais observações estão condizentes com resultados obtidos por Neves *et al.* (2009), ao relatarem que comportamentos semelhantes foram constatados no feijão de corda, e por Oliveira Júnior *et al.* (2007) em genótipos de milho doce e comum.

Segundo Kozłowski e Pallardy (1997), as variações que ocorrem nas taxas fotossintéticas dos vegetais em função das distintas etapas fenológicas estão ainda associadas às várias modificações que ocorrem nas folhas em nível morfológico, anatômico e fisiológico, em decorrência do processo de expansão foliar, onde se menciona: o desenvolvimento de tecidos foliares internos, frequência de estômatos e tricomas, síntese de clorofilas, aumento da condutância estomática, capacidade de transporte de elétrons, síntese de proteínas e atividade

da ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase/oxidase (Rubisco), além da redução na respiração mitocondrial.

Com relação à transpiração, o maior valor, com média de $17,64 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foi verificado na avaliação aos 68 DAS, cujo valor foi superior estatisticamente ($p \leq 0,05$) àqueles obtidos aos 103 e 52 DAS, que, no entanto, não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$), o que evidencia que neste estágio fenológico a cultura possui uma maior demanda hídrica (Tabela 7).

Tal constatação está em acordo com informações fornecidas por FAO (2011), ao relatar que ao se estimar os percentuais médios do total de água consumida nos diferentes períodos de crescimento da cultura, presume-se que aproximadamente 20% do total são utilizados durante o estágio vegetativo, 55% durante a floração, restando os demais 25% para o período de formação da produção, que corresponde às fases de enchimento e maturação dos aquênios.

Quanto à condutância estomática, foi observado que o maior valor médio ($1,42 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi registrado para a avaliação realizada aos 52 DAS, sendo superior estatisticamente ($p \leq 0,05$) apenas aos valores observados aos 103 DAS, cujo valor médio foi de $0,90 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 7), com uma redução de aproximadamente 37%, ao se comparar os valores extremos.

Embora não tenham sido detectadas diferenças significativas na condutância estomática entre os 52 e 68 DAS ($p \leq 0,05$), observa-se que a mesma se comportou de forma semelhante à fotossíntese, sugerindo que os declínios das taxas fotossintéticas estão eventualmente relacionados com o fechamento parcial dos estômatos, refletidos diretamente pelas reduções na condutância estomática (MACHADO *et al.*, 2002).

A concentração interna de CO_2 registrou o maior valor médio ($267,56 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para a avaliação realizada aos 52 DAS, sendo superior estatisticamente ($p \leq 0,05$) apenas aos valores observados aos 68 DAS, cujo valor médio foi de $257,72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 7). A ampliação da concentração interna de CO_2 entre os 68 e 103 DAS são indicativos de que de fato não houve restrição na aquisição de CO_2 por parte da cultura ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento, porém, quando o mesmo alcançava as células do mesófilo, o processo de fixação durante a fase de carboxilação era fortemente comprometido (HABERMANN *et al.*, 2007), fatos que, supostamente, podem estar relacionados à degradação do aparelho fotossintético em resposta ao processo natural de senescência foliar dos tecidos.

A respeito da temperatura foliar, observa-se uma tendência de elevação dos valores ao longo dos estádios de desenvolvimento da cultura, de tal forma que o valor máximo (35,23 °C) foi registrado aos 103 DAS, no qual não diferiu estatisticamente ($p \leq 0,05$) daquele apontado aos 68 DAS (34,71 °C). Em contrapartida, quando esta variável foi analisada aos 52 DAS, constatou-se o menor dos valores (33,12 °C), e este valor diferiu estatisticamente dos demais ($p \leq 0,05$) (Tabela 7). A inferioridade estatística da temperatura foliar nesta época de avaliação deve-se, certamente, as maiores taxas fotossintéticas constatadas também nesta época. Tal comportamento pode ser explicado por Tribuzy (2005), quando reportou que a fotossíntese é um dos mecanismos fisiológicos mais compassivos ao estresse térmico decorrente de elevadas temperaturas, e presume-se que o mesmo é apontado como o principal fator capaz de limitar a fixação de carbono nas distintas etapas do processo fotossintético, uma vez que pequenas oscilações de temperatura nos órgãos vegetais podem acarretar amplos efeitos sobre as atividades bioquímicas das folhas.

Aos 52 DAS pode-se considerar que a cultura do girassol utilizou a água de forma mais eficiente, em função do maior valor médio de eficiência instantânea de uso da água registrada nesta época de avaliação (1,95 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$), indicando que maior quantidade de CO_2 foi absorvida, em detrimento a uma menor perda de água, no qual diferiu estatisticamente dos verificados aos 68 DAS ($p \leq 0,05$), cujo valor foi de 1,64 $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ e dos mensurados aos 103 DAS (1,33 $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$), que por ventura apresentou o menor valor e também diferiu significativamente das demais épocas de avaliação ($p \leq 0,05$) (Tabela 7). Supostamente, estas diferenças são indícios dos efeitos da própria fase de crescimento sobre a fotossíntese, em decorrência da variação existente na demanda por fotossintetizados para os órgãos drenos ao longo do ciclo, conforme o relatado por Machado *et al.* (2002), de tal forma que com o avanço das fases floração e enchimento de aquênios, a fotossíntese é reduzida, todavia, em contrapartida, a transpiração se reduziu apenas na segunda fase (68 DAS), e voltou a alcançar aos 103 DAS valores estatisticamente similares aos observados aos 52 DAS.

Pode-se argumentar que a indução de déficit hídrico de uma forma mais severa poderia ter conduzido a diferenças mais significativas nos resultados obtidos. Desta forma, sugere-se que estudos posteriores sejam conduzidos sob diferentes intensidades de déficit hídrico ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, avaliando também variáveis como o potencial hídrico, bem como o curso diário das trocas gasosas, a fim de melhor caracterizar o comportamento fisiológico do girassol em resposta às limitações hídricas.

4 CONCLUSÕES

A temperatura foliar e as taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e as eficiências instantâneas e intrínsecas do uso da água observadas em plantas de girassol, não mostraram efeitos significativos em relação ao nível de déficit hídrico avaliado, independentemente da época em que os mesmos foram aplicados.

As épocas de avaliação influenciaram a maioria das variáveis analisadas relacionadas às trocas gasosas, com exceção da eficiência intrínseca de uso da água que não evidenciou variação nos estádios fenológicos considerados.

As trocas gasosas do girassol toleraram o déficit hídrico imposto, indicando que a cultura pode ser irrigada com 50% da ETo, nas diferentes fases de seu desenvolvimento sem danos no processo fotossintético.

O manejo da irrigação com déficit na cultura do girassol pode resultar em maior eficiência de uso da água por parte da cultura.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, A. B. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará.** Fortaleza: UFC, 1993. 247p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura.** 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. (FAO: Estudos Irrigação e Drenagem, 29).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- BEZERRA, F. M. L. *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 01, p. 5-10, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Brasília: 1992. 356p.
- CARNEIRO, M. M. L. C. **Trocas gasosas e metabolismo antioxidativo em plantas de girassol em resposta ao déficit hídrico.** 2011. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.
- CASTRO, C. ; FARIAS, J. R. B. F. Ecofisiologia do girassol. *In:* LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil.** Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.9, p. 163- 218.
- CASTRO, C. *et al.* Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência Agrotécnica.** Lavras, v. 30, n. 2, p. 214-220, mar.-abr., 2006.
- COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Girassol Multissol.** Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_produtos/Cati/_produtos/SementesMudas/cultivares/GIRASSOL-MULTISSOL.pdf>. Acesso em: 6 jan. ,2012.
- CECHIN, I. *et al.* Differential responses between mature and young leaves of sunflower plants to oxidative stress caused by water deficit. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n.06, p. 1290-1294, 2010.
- DENÍCULI, W. *et al.* Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.150, p155-162, 1980.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical. **Dados climatológicos:** estação de pentecoste. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/UFC, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio e Janeiro: Atual, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

HABERMANN, G. *et al.* CO₂ assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pêra' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 79-87, 2003.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1997. 427 p.

LEITE, R.M.V.B.C. ; BRIGHENTI, A.M. ; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 613p.

LIMA, A. D. *et al.* **Efeito da adubação borácica na cultura do girassol**. In.: CONGRESSO DE MAMONA, 4. ; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., João Pessoa, 2010. **Anais...** Disponível em: < <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/item/18357/1/FER-04.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2011.

LIMA, M. de A. *et al.* Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 654-663, 2010.

MACHADO, E. C. *et al.* Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranja 'Valência'. **Revista Scientia Agrícola**, São Paulo, v.59, n.1, p.53-58, 2002.

MENDES, F. S. *et al.* Níveis de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de mogno (*Swietenia macrophylla* King R.A) induzidas ao estresse hídrico e a reidratação. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n.2, p. 939-941, 2007.

NASCIMENTO, S. P. *et al.* Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.08, p.853-860, 2011.

NEPOMUCENO, A. L. *et al.* Tolerância à seca em plantas. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, São Paulo, v. 23, n.1, p. 12-18, 2001.

NEVES, A. L. R. *et al.* Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, (Suplemento), p.873-881, 2009.

NOGUEIRA, R. J. M. C. *et al.* Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.13, n.01, p.75-87, 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G. *et al.* Diferenças fisiológicas entre genótipos de milho doce (*su-1*) e milho comum durante o desenvolvimento. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.4, p.351-356, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crop Water Information: Sunflower**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_sunflower.html>. Acesso em 25 ago. 2011.

PAIVA, A. S. *et al.* Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.25, n.1, p. 161-169, 2005.

PARAÍBA. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **Assistat - Assistência Estatística, V - 7.6 beta**. Campina Grande, PB, 2011. Disponível para download em: <<http://www.assistat.com/indformp.html>>. Acesso em: 14 jan. 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 287-294, 1998.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J.P. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, Crookston, v. 21, n. 6, p. 901-903, 1981.

SILVA, A. R. A. *et al.* Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 57-64, jan. /mar. , 2011.

SILVA, C. D. S. *et al.* Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010 a.

SILVA, M. L. O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.482 – 488 , 2007.

SILVA, V. A. *et al.* Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.5, p.457 - 464, 2010 b.

SNYDER, R.L. **Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.118, n.6, p. 977-980, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2010. 819 p.

TEZARA, W.; DRISCOLL, S.; LAWLOR, D.W. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ assimilation and O₂ reduction in sunflower plants under water deficit. **Photosynthetica**, Netherlands, v.46, n. 1, p.127- 134, 2008.

TRIBUZY, E. S. **Variações da temperatura foliar e do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na amazônia central**. 2005. 84 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

UCHÔA, S. C. P. *et al.* Adubação de potássio em cobertura nos componentes de produção de cultivares de girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 01, p. 8-15, 2011.

CAPÍTULO 2

MORFOLOGIA E FITOMASSA DO GIRASSOL CULTIVADO COM DÉFICITS DE IRRIGAÇÃO EM SEUS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a morfologia, a produção e a partição de fitomassa do girassol, cv. Multissol, quando submetido a déficits de irrigação em Pentecoste – CE. Utilizou-se o delineamento estatístico em bloco ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas no tempo (8 x 3), com quatro repetições, sendo os tratamentos definidos em função da época de indução do déficit de irrigação nos estádios vegetativo, floração e formação da produção, correspondendo à ocorrência de déficit hídrico em 1, 2 ou 3 estádios, e três épocas de avaliação (aos 52, 68 e 110 dias após a semeadura). As variáveis estudadas foram: Altura da planta, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, produção de fitomassa seca dos constituintes da parte aérea (caule, folha, pecíolo e capítulo) e a participação de cada um deles em relação à produção de fitomassa seca total (partição). A altura da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule foram negativamente afetados pelos efeitos isolados dos déficits de irrigação e das épocas de avaliação. Os déficits de irrigação e as épocas de avaliação interagiram e afetaram a área foliar, a massa seca da folha, do pecíolo, do caule, do capítulo e total. A melhor resposta em ganhos de crescimento e de produção de fitomassa deu-se no tratamento sem déficit de irrigação em todo o ciclo. Os déficits de irrigação não modificaram a partição de fitomassa. O nível de irrigação equivalente a 50% da ETo comprometeu a morfologia e a produção de fitomassa quando aplicado em qualquer estágio de desenvolvimento.

Palavras - chave: *Helianthus annuus* L. Disponibilidade hídrica. Análise de crescimento. Características agrônômicas. Fases fenológicas.

CHAPTER 2**MORPHOLOGY AND BIOMASS OF SUNFLOWER PLANTS GROWN WITH IRRIGATION DEFICITS AT THEIR DEVELOPMENT STAGES**

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the morphology, biomass production and biomass partition of sunflower (Multissol cultivar) when subjected to irrigation deficit at Pentecoste - CE (Br). We used the experimental design of randomized blocks as split plots in time (8x3) with four replications, with the treatments defined by the time of irrigation deficit promotion at the vegetative, flowering and production formation stages corresponding to the occurrence of water deficit at stages 1, 2 or 3, and three evaluation periods (at 52, 68 and 110 days after sowing). The variables studied were: plant height, quantity of leaves, stem diameter, leaf area, dry phytomass production of the aerial part elements (stem, leaf, petiole and chapter) and the participation of each one in relation to total matter of dry phytomass production (partition). The plant height, leaf number and stem diameter were negatively influenced by the isolated effects of the irrigation deficits and evaluation periods. The irrigation deficits and evaluation periods interacted and affected the leaf area, leaf dry mass, petiole dry mass, stem dry mass, head dry mass and total dry mass. The best response in terms of growth and biomass production occurred in the treatment presenting no irrigation deficit throughout the cycle. The irrigation deficits did not change the biomass partition. The irrigation level equivalent to 50% of the ETo compromised morphology and biomass production, when applied at any development stage.

Keywords: *Helianthus annuus* L. Water availability. Growth analysis. Agronomic characteristics. Phenological phases.

1 INTRODUÇÃO

Originário da América do Norte, o girassol, *Helianthus annuus* L., é uma dicotiledônea anual adaptada as mais diversas condições edafoclimáticas, sendo cultivada em todos os continentes (FAGUNDES *et al.*, 2007).

Além da produção de grãos, o girassol vem sendo largamente cultivado objetivando o fornecimento de matéria-prima para a indústria alimentícia, e destaca-se como uma das promissoras oleaginosas potencialmente capazes de fomentar o programa Biodiesel no Brasil (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2011).

Entre as demais aplicações da cultura, menciona-se sua utilização como forrageira alternativa (OLIVEIRA *et al.*, 2003). Daí a importância de se avaliar características agrônomicas e morfológicas relevantes à utilização da espécie para tal fim (TOMICICH *et al.*, 2003). A este respeito, Mizubuti *et al.* (2002) compararam qualitativamente as silagens de milho, sorgo e girassol e evidenciaram que bromatologicamente as silagens de milho e girassol se assemelharam, e se caracterizaram por possuir uma qualidade nutricional superior, quando equiparadas ao sorgo.

Dentre os recursos utilizados pelas plantas, considera-se que a água é o mais requerido e, ao mesmo tempo o mais limitante. Desta forma, considera-se que a necessidade de se recorrer à prática da irrigação reflete o fato de que água é essencial para a produtividade dos vegetais, e o desenvolvimento dos mesmos é afetado de maneira bastante significativa pela disponibilidade hídrica, tanto pela sua falta ou excesso (REICHARDT; TIMM, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2010).

A deficiência hídrica exerce influências negativas sobre as plantas, e na maioria dos casos, os seus danos são mensurados mediante o acompanhamento dos processos que estão relacionados ao crescimento em geral, tais como as alterações que ocorrem a nível morfológico, bem como no acúmulo de biomassa por parte dos distintos órgãos vegetais (CARVALHO, 2004). Neste contexto, a análise de crescimento, além de descrever as condições morfofisiológicas dos vegetais, possibilita a avaliação do desenvolvimento dos mesmos como um todo, e a contribuição relativa dos diferentes órgãos no crescimento total. A partir dos dados de crescimento, podem-se ainda deduzir inferências acerca das eventuais causas de alterações nos padrões de crescimento entre as plantas cultivadas sob diferentes condições de manejo (BARREIRO *et al.*, 2006).

Os vegetais de cultivo anual em crescimento apresentam ao longo de seus ciclos diferentes estádios fenológicos, caracterizados por alterações que ocorrem na forma do organismo ou nos órgãos, e cada uma destas fases possui uma exigência diferenciada de água, uma vez que diferentes processos fisiológicos são preponderantes nos diversos estádios de desenvolvimento das plantas, e que alguns desses são mais sensíveis que outros à redução do potencial da água nos solos, e, por conseguinte, nos tecidos vegetais (GRIEU *et al.*, 2008).

Neste contexto, o conhecimento apenas da necessidade total d'água consumida pela cultura ao longo do ciclo não se traduz em um hábil manejo da irrigação (BEZERRA; ANGELOCCI; MINAMI, 1998). Por isso, Fereres e Soriano (2007), propuseram para aprimorar o manejo da irrigação a técnica da irrigação deficitária, que consiste na aplicação de lâminas de água inferiores às estimadas pelas metodologias que tradicionalmente determinam os requerimentos hídricos ao longo dos distintos estádios fenológicos.

O conhecimento do desempenho das espécies vegetais diante da aplicação do manejo da irrigação com déficit regulado pode ser de grande valia quando se almeja uma ampliação na eficiência de uso da água, e pode explicar a capacidade de tolerância e/ou sensibilidade a deficiência hídrica das culturas quando imposta ao longo de seus diferentes estádios fenológicos, uma vez que os efeitos dos déficits hídricos variam com os estádios em que os mesmos se manifestam, e estas respostas podem até apontar efeitos maléficos do déficit sob o crescimento, porém, podem resultar em um equilíbrio funcional entre a água empregada e a fitomassa produzida (TOUREIRO; SERRALHEIRO; OLIVEIRA, 2007).

Castro *et al.* (2006) estudaram a influência do estresse hídrico na produção de matéria seca total do girassol e observaram que as maiores produções foram obtidas nos tratamentos em que se aplicaram uma maior quantidade de água.

Segundo Leite, Brighenti e Castro (2005), quando a deficiência hídrica incide nos estádios iniciais da estação de cultivo do girassol, a planta manifesta a nível celular perdas no turgor, e conseqüentemente redução do crescimento, afetando de sobremaneira a morfologia de órgãos como raízes, folhas, pecíolos, caules e capítulos.

Toureiro, Serralheiro e Oliveira (2007) relatam que dentre os mecanismos fisiológicos adaptativos desenvolvidos pela cultura do girassol perante o déficit hídrico, destaca-se a aceleração do processo de senescência das folhas, que objetiva, desta forma, restringir a área foliar e conseqüentemente a superfície exposta às perdas por transpiração.

Diante dessas considerações, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos de déficits de irrigação aplicados nos diferentes estádios do desenvolvimento do girassol, sobre a morfologia, a produção e a partição de fitomassa seca.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As seções abaixo listadas encontram-se descritas nas respectivas páginas do Capítulo 1.

SEÇÕES	Página
2.1 Localização e caracterização ambiental da área experimental	56
2.1.1 Caracterização climática da região	57
2.1.2 Caracterização do solo	58
2.2 Material vegetal	59
2.3 Delineamento experimental e tratamentos	60
2.4 Instalação e condução da cultura	63
2.4.1. Preparo da área	63
2.4.2 Adubação de fundação	63
2.4.3 Semeadura e desbaste	64
2.5 Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação	64
2.6 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários	69

2.7 Variáveis analisadas

2.7.1 Morfologia

2.7.1.1 Altura de plantas

Ao final dos diferentes estádios fenológicos (52, 68 e 110 DAS), com o auxílio de uma trena métrica graduada em centímetros foram mensurados a altura da planta, sendo considerada a distância vertical do nível do solo até a altura da inserção do capítulo no caule. Foram amostradas dez plantas inseridas na área útil do experimento por parcela.

2.7.1.2 Número de folhas

Foi avaliado o número de folhas totalmente abertas por planta emitidas até o final de cada respectiva fase fenológica (52, 68 e 110 DAS), por meio da contagem direta das folhas, amostrando-se dez plantas inseridas na área útil do experimento.

2.7.1.3 Diâmetro do caule

Com o auxílio paquímetro digital, ao final dos diferentes estádios fenológicos (52, 68 e 110 DAS) foi mensurado o diâmetro basal do caule dos girassóis a uma altura de aproximadamente 5 cm da superfície do solo. Foram amostradas dez plantas inseridas na área útil do experimento por parcela, e o valor foi expresso em milímetros (mm).

2.7.1.4 Área foliar

A área foliar foi estimada ao final dos diferentes estádios fenológicos (52, 68 e 110 DAS), com base na dimensão de largura perpendicular ao alinhamento da nervura central, mensurada com uma régua, de todas as folhas vivas de quatro plantas inseridas na área útil do experimento (Figura 1), adotando o modelo proposto por Maldaner *et al.* (2009), conforme a equação 1:

$$AF = 1,7582 L^{1,7067} \quad (1)$$

em que,

AF - Área foliar da folha (m²);

L - Largura máxima da folha (m).

A área foliar totalizada por planta, expressa em m² planta⁻¹ foi obtida por meio do somatório de cada respectiva área foliar isoladamente.



Figura 1 – Mensuração da largura perpendicular ao alinhamento da nervura central em folhas de girassol para a estimativa da área foliar, por meio do modelo proposto por Maldaner *et al.* (2009). Pentecoste – CE, 2010.

2.7.2 Fitomassa

As coletas das plantas para as avaliações da produção de fitomassa da parte aérea foram realizadas ao término de cada estágio fenológico (52, 68 e 110 DAS) em cada parcela. As plantas foram coletadas rente ao solo, de forma aleatória, procurando-se amostrar plantas

normais e representativas de cada tratamento, em cada bloco. Cada amostra foi composta por quatro plantas (Figura 2).



Figura 2 – Coleta da planta de girassol para a avaliação da produção de fitomassa pelos distintos órgãos componentes da parte aérea. Pentecoste – CE, 2010.

Após as coletas, as plantas foram separadas em: parte vegetativa (caules, folhas e pecíolos) e em parte reprodutiva (capítulos) (Figura 3).

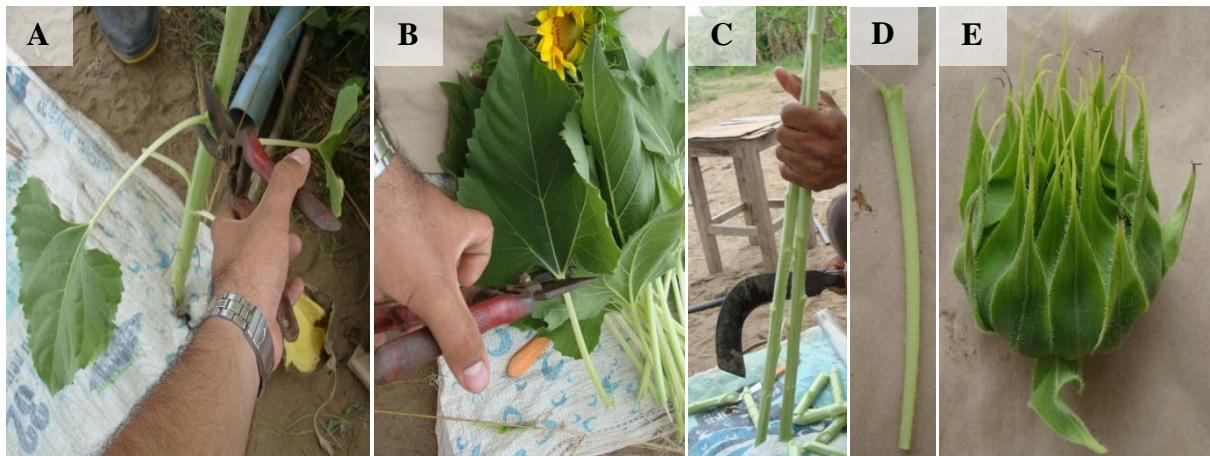


Figura 3 – Órgãos componentes da parte aérea do girassol. Separação do pecíolo do caule (A), separação do pecíolo da folha, segmentação do caule (C), pecíolo (D) e capítulo (E). Pentecoste – CE, 2010.

Em seguida, os diferentes órgãos foram pesados para quantificação da fitomassa fresca. Na sequência, as diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e foram colocadas para secar em estufa com circulação de ar forçado mantendo-se a temperatura na faixa de 65° a 70°C. O tempo de secagem foi determinado por pesagens das amostras até a manutenção de peso constante. Após a secagem, cada amostra foi pesada em

balança analítica para aferição da fitomassa seca acumulada em cada parte vegetal, e os valores foram expressos em gramas.

2.7.3 Partição de fitomassa

Como a produção de fitomassa seca de cada constituinte da parte aérea foi obtida separadamente, foi possível determinar a participação percentual de cada um deles em relação à total, conforme o método proposto por Benincasa (1988).

2.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, seguindo o esquema de parcelas subdivididas no tempo (tratamentos x épocas de avaliação), e quando houve efeito significativo da interação ou dos efeitos principais, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional para assistência estatística ASSISTAT 7.6 beta da Universidade Federal de Campina Grande (PARAÍBA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Morfologia

O resumo das análises das variâncias para os dados morfológicos de altura de plantas (A_P), número de folhas (N^o_F), diâmetro do caule (Φ_C) e área foliar (A_F), do girassol pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das análises de variância das variáveis morfológicas do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Pentecoste – CE, 2010¹.

FV	Teste F				
	GL	A_P	N^o_F	Φ_C	A_F
Blocos	3	11,20	15,56	1,51	0,72
Trat. (T)	7	21,83**	25,76**	71,19**	95,74**
Resíduo (T)	21	-	-	-	-
Épocas (E)	2	416,39**	3067,49**	113,83**	2449,00**
T x E	14	0,95 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,72 ^{ns}	16,41**
Resíduo (E)	48	-	-	-	-
CV – T (%)	-	4,44	5,11	4,28	7,38
CV – E (%)	-	3,54	6,78	0,74	6,26

¹ FV – Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; A_P – Altura de plantas (cm); N^o_F – Número de folhas (unidade); Φ_C – Diâmetro do caule (mm); A_F – Área foliar ($m^2 planta^{-1}$); ^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ** – Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

De acordo com os resultados, verificou-se que os efeitos principais dos tratamentos e das épocas de avaliação variaram independentemente, e influenciaram em nível de 1% de probabilidade pelo teste F, as características morfológicas A_P , N^o_F e Φ_C e nenhuma das interações foi significativa (Tabela 1). Com relação à A_F verificou-se efeito significativo para os efeitos principais dos tratamentos (T), das épocas de avaliação (E), bem como para a interação tratamentos x épocas de avaliação (T x E), pelo teste F ($p \leq 0,01$) (Tabela 1).

Os valores médios de A_P , N^o_F e Φ_C para os efeitos dos tratamentos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Médias das variáveis morfológicas altura de plantas - A_P , número de folhas - N^o_F e diâmetro do caule - Φ_C do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Pentecoste - CE, 2010².

Variáveis	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	DMS
A_P (cm)	176,30 ^a	168,60 ^{ab}	165,96 ^b	164,17 ^b	152,87 ^c	152,49 ^c	152,12 ^c	150,70 ^c	9,76
N^o_F (unidade)	23,90 ^a	23,43 ^a	22,67 ^a	22,73 ^a	20,15 ^b	20,03 ^b	20,51 ^b	20,26 ^b	1,51
Φ_C (mm)	24,39 ^a	21,52 ^b	21,12 ^b	22,05 ^b	19,61 ^c	19,03 ^c	18,82 ^{cd}	17,78 ^d	1,20

² Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Entre os tratamentos, o maior valor obtido de A_p foi de 176,30 cm no T1, que diferiu significativamente daquele verificado nos demais, exceto em T2, que por ventura se assemelhou ao T3 e T4. Por outro lado, a menor média foi verificada em T8, cujo valor foi de 150,70 cm, inferior em 14,52% ao ser comparado ao valor médio obtido em T1, o qual não diferiu dos valores médios mensurados em T5, T6 e T7 (Tabela 2).

Estes resultados podem ser explicados, levando-se em conta que provavelmente a deficiência hídrica acarretou reduções no potencial da água das células componentes do caule até o alcance de um nível de potencial hídrico inferior ao mínimo necessário para o desencadeamento do processo de alongamento celular dos entrenós, acarretando dentre as consequências, uma menor altura das plantas (NEZAMI *et al.*, 2008).

Com relação aos dados de número de folhas, observou-se que o déficit de irrigação no estágio vegetativo reduziu significativamente a variável morfológica em questão, de tal forma que nos tratamentos cultivados com 100% da ETo durante a fase vegetativa (T1, T2, T3 e T4) foram observados os maiores número de folhas, que se assemelharam entre si e foram superiores estatisticamente aos obtidos nos demais tratamentos, revelando que nesta característica morfológica, em função dos valores médios de todas as épocas de avaliação, as plantas não conseguiram expressar ao longo do ciclo características de recuperação dos efeitos da deficiência de água na qual se encontravam expostos durante a época vegetativa, o que era esperado, tendo em vista que segundo Leite, Brighenti e Castro (2005), na espécie, o número de folhas é definido precocemente, entre os dez a vinte dias após a emergência, fase na qual se procede à diferenciação celular. Dos resultados, constatou-se ainda que a irrigação deficiente durante todo o ciclo (T8) reduziu em aproximadamente 16% o número médio de folhas, comparando-se com o tratamento cultivado plenamente sem déficit (T1) (Tabela 2).

Estes resultados estão condizentes com informações de Nazarli *et al.* (2010), ao verificarem que o déficit hídrico mediante a irrigação com 0,75; 0,50 e 0,25% da capacidade de campo reduziu significativamente o número de folhas por planta no girassol. Segundo os autores, nesta espécie, as folhas constituem a principal fonte de produção de fotossintatos que são essenciais para o enchimento dos aquênios, e qualquer incidência de déficit hídrico independente do período de crescimento, acarreta reduções no desempenho agrônomo, em decorrência da redução do próprio número de folhas emitidas, bem como pela perda de turgescência das folhas remanescentes.

Em contrapartida, tais observações contrariam os relatos de Göksoy *et al.* (2004), que avaliaram a aplicação da irrigação plena e limitada ao longo dos diferentes períodos de crescimento do girassol e averiguaram que os treze tratamentos de irrigação avaliados não

foram capazes de exercer efeitos estatisticamente significativos sobre o número de folhas por planta. No entanto, os autores também corroboram com a presente pesquisa, quando constataram que a características altura das plantas respondeu significativamente à irrigação, onde a maior altura foi observada no tratamento em que a cultura foi plenamente irrigada durante todo o ciclo.

Segundo Karadoğan e Akgün (2009), o crescimento e o desenvolvimento das folhas exercem profundas influências no rendimento dos vegetais, e desempenham um papel vital no controle da perda de água pela espécie. Estes autores avaliaram os efeitos da remoção de folhas no desempenho agrônômico do girassol, e evidenciaram que a redução do número folhas restringiu significativamente o rendimento e a produção de aquênios, e os teores de óleo e proteína bruta no girassol. O que reforça a importância da manutenção de um adequado número de folhas como aparato fotossintético, capaz de acumular além de nutrientes, compostos orgânicos que serão posteriormente translocados para os órgãos reprodutivos e os aquênios (LIMA JUNIOR *et al.*, 2010).

Quanto ao Φ_C , à aplicação contínua de 100% da ETo durante todo o ciclo (T1) propiciou os melhores resultados, com um valor médio entre as épocas de avaliação de 24,39 mm, que diferiu estatisticamente de todos os demais tratamentos. Podendo-se inferir que a deficiência hídrica causa redução no crescimento, e atraso no desenvolvimento do caule (NELSON; MOSER, 1994). Entre T2, T3 e T4 não foram encontradas diferenças significativas na variável em questão, levando-se a crer que a irrigação sem déficit durante a fase vegetativa é capaz de favorecer o diâmetro do caule, porém não é suficiente para conferir as plantas o alcance de um valor máximo, limitado apenas pelo potencial genético da cultivar (Tabela 2).

Por outro lado, a exposição ao déficit hídrico durante a fase vegetativa e a irrigação plena em uma ou nas duas fases remanescentes não é suficiente para recuperar os efeitos do déficit sob a variável morfológica em questão, o que é evidenciado pela inferioridade estatística dos valores médios observados em T5, T6, T7 e T8, de tal forma que entre T1 e T8, mensura-se uma divergência em termos percentuais da ordem de 29% (Tabela 2).

Estes resultados são consistentes, haja vista que Nezami *et al.* (2008) relatam que, em condições de campo, um dos efeitos da redução na disponibilidade hídrica sob a morfologia do girassol é a redução do diâmetro do caule, em função do menor crescimento do raio do caule, e nestas condições, o crescimento da haste principal e dos ramos laterais são suprimidos e, assim, por conseguinte, é encerrada uma menor partição de matéria seca no

caule. Conforme Taiz e Zeiger (2010), é provável que o crescimento do caule seja influenciado pelos mesmos princípios que governam a restrição do crescimento das folhas diante do déficit hídrico.

Para Biscaro *et al.* (2008), elevados diâmetros do caule no girassol é uma característica considerada desejável, por conferir a cultura uma menor vulnerabilidade ao acamamento, e por favorecer a execução de práticas de manejo e de tratos culturais.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios das variáveis morfológicas altura de plantas - A_P , número de folhas - N^o_F , e diâmetro do caule - Φ_C , para os efeitos do fator épocas de avaliação (52, 68 e 110 DAS).

Tabela 3 - Médias das variáveis morfológicas altura de plantas - A_P , número de folhas - N^o_F , e diâmetro do caule - Φ_C aos 52, 68 e 110 dias após a semeadura (DAS). Pentecoste – CE, 2010³.

DAS	A_P (cm)	N^o_F (unidade)	Φ_C (mm)
52	158,66 b	29,05 b	20,27 c
68	181,70 a	30,99 a	20,50 b
110	140,84 c	5,08 c	20,84 a
DMS	3,43	0,89	0,09

³ As letras diferentes nas colunas indicam que as médias diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dos resultados, verificou-se que o maior valor de A_P (181,70 cm) foi registrado ao término do estágio de floração (68 DAS), e houve diferença estatística em relação às demais, de tal forma que ao final do ciclo (110 DAS) mensurou-se a menor das alturas, inferior em 23% quando comparado ao máximo valor, devido justamente ao maior encurvamento do caule na fase final do ciclo (Tabela 3). Estes resultados também estão condizentes com informações de Carvalho (2004), que obtiveram maior altura de plantas de girassol em pleno florescimento, e são superiores aos obtidos pelo autor que foi em média de 162 cm.

De acordo com Tomich *et al.* (2003), a altura de plantas é uma característica importante por ser, normalmente, positivamente correlacionada com as características de produção. Segundo os autores, em um ensaio conduzido em Sete Lagoas, MG este parâmetro morfológico nos treze genótipos avaliados variou em média de 178 a 268 cm para cultivares de porte baixo e alto, respectivamente, sendo os valores, portanto, inferiores aos obtidos nesta pesquisa aos 52 e 110 DAS.

O maior número médio de folhas foi observado aos 68 DAS (30,99), superior estatisticamente ao contabilizado aos 52 DAS (29,09), que passou a decrescer em seguida até a senescência, de tal forma que ao final do ciclo (110 DAS), registraram-se o menor dos valores (5,08), inferior em 84% ao ser comparado com o valor máximo (Tabela 3). Estes

resultados, são semelhantes aos obtidos por Amorim *et al.* (2007), que aferiram a diversidade genética entre 15 genótipos de girassol e verificaram que durante o florescimento, em média, os genótipos continham 29 folhas.

Tais resultados são ainda condizentes com informações de Neves *et al.* (2005), que mensuraram o número de folhas do girassol ornamental aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 e 70 dias após a emergência, e verificaram que houveram decréscimos no número de folhas, ao longo das avaliações, caracterizando o alcance da fase final da maturação, com a senescência e a perda de folhas, assim como ocorreu no presente trabalho.

Para o diâmetro do caule, houve diferenças estatísticas significativas entre as épocas de avaliação, mostrando que os valores foram estatisticamente crescentes com o avanço dos estádios de desenvolvimento da cultura, e os valores máximos (20,84 mm) ocorreram aos 110 DAS (Tabela 3). O incremento do diâmetro do caule em função dos estádios de desenvolvimento é importante no girassol e reflete os culminantes acúmulos de fitomassa seca ao longo do ciclo no caule, no intuito de sustentar a futura produção. Assim, em termos percentuais, estima-se que entre os 52 DAS, e os demais estádios houveram incrementos de 1,12 e 2,73%, entre os 68 e 110 DAS, respectivamente.

Segundo Leite, Brighenti e Castro (2005), ao final do ciclo, os girassóis para serem fortes e resistentes ao acamamento devem apresentar dentre suas características morfológicas elevados diâmetros de caules, a fim de sustentar a produção de capítulos com grande número de aquênios. Estes resultados estão condizentes com informações dos referidos autores, ao salientarem que os caules das cultivares de girassóis atualmente disponíveis atingem em média de 10 a 80 mm, sendo que os valores mensurados no presente estudo situam-se neste intervalo.

O desdobramento em teste de médias das interações significativas para a variável morfológica A_F pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Médias de área foliar – A_F (m^2 planta⁻¹) do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento aos 52, 68 e 110 dias após a semeadura (DAS). Pentecoste - CE, 2010⁴.

DAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	A_F (m^2 planta ⁻¹)							
52	7,31 ^{aA}	6,88 ^{aA}	6,85 ^{aA}	7,00 ^{aA}	4,55 ^{bA}	4,53 ^{bA}	4,54 ^{bA}	4,67 ^{bA}
68	6,35 ^{aB}	6,42 ^{aB}	6,65 ^{aA}	6,07 ^{aB}	4,37 ^{bA}	4,67 ^{bA}	4,17 ^{bA}	4,59 ^{bA}
110	2,18 ^{aC}	1,89 ^{abC}	1,75 ^{abcB}	1,63 ^{abcC}	1,51 ^{bcB}	1,28 ^{bcB}	1,19 ^{cbB}	1,12 ^{cbB}

⁴ Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($DMS_L = 0,62$; $DMS_C = 0,45$).

Estudando-se o efeito dos tratamentos dentro de cada época de avaliação, constatou-se que aos 52 DAS os tratamentos que não foram submetidos à deficiência hídrica durante o estágio vegetativo (T1, T2, T3 e T4), tiveram a A_F favorecida, superando estatisticamente aquelas obtidas nos demais tratamentos (Tabela 4).

O comportamento da A_F frente aos déficits de irrigação impostos pode ser explicado levando-se em conta as informações de Taiz e Zeiger (2010), que reportam o processo de expansão foliar do girassol como dependente do estado de turgidez celular, uma vez que proporcionalmente à redução do conteúdo de água da planta, as células constituintes das folhas se contraem e afrouxam a pressão de turgidez que outrora era exercida contra as paredes celulares, reduzindo a mesma e, por conseguinte comprometendo mecanismos que dependem de sobremaneira da turgidez, como a expansão foliar, por exemplo, de tal forma que a redução da área foliar no girassol é considerada a mais precoce resposta da cultura ao déficit hídrico, já que uma menor área foliar transpira menos e “tolera” de forma mais efetiva um limitado suprimento hídrico.

Estes mesmos autores também informam que a taxa fotossintética da folha do girassol tipicamente não é tão responsiva aos efeitos do déficit hídrico quanto à área foliar, a tal ponto que a expansão foliar na espécie chega a ser completamente inibida sob níveis moderados de estresse por escassez de água.

Aos 68 DAS, a variável A_F apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4). Semelhantemente, nesta variável, os tratamentos submetidos à deficiência hídrica no estágio vegetativo também registraram os menores valores, e diferiram estatisticamente dos tratamentos cultivados sem déficit durante este mesmo estágio (Tabela 4).

Ainda para esta época de avaliação, nos tratamentos T3 e T4, o déficit hídrico imposto até então apenas durante o estágio de floração não foi capaz de denotar diferenças estatisticamente significativas na A_F , quando comparados aos demais (Tabela 4). Essa resposta já era esperada, pois, a exposição ao déficit hídrico até o decorrido estágio por apenas 15 dias não foi capaz de afetar o fluxo de fitomassa pela espécie. A este respeito, Marques, Bernadi Filho e Santos (2009), salientam que os efeitos da deficiência hídrica sobre os vegetais variam com o tipo, a intensidade e a duração do estresse.

Com relação à avaliação realizada aos 110 DAS, presume-se que na A_F foram evidenciadas diferenças entre os tratamentos, de tal forma que os tratamentos T7 e T8 se assemelharam entre si, e denotaram os menores valores com relação aos demais, no entanto, em T5 e em T6, mesmo cultivados sob estresse durante a fase vegetativa, conseguiram ao

final do ciclo recuperar a área foliar no mesmo nível dos tratamentos T3 e T4, contudo, apenas T1 e T2 diferiram totalmente dos demais e, no entanto o T2 se assemelhou estatisticamente ao T1, que por sua vez também não diferiu de T2, T3 e T4.

Quanto aos efeitos das épocas de avaliação dentro de cada tratamento, ao que se relaciona a A_F foi verificado que entre T1, T2 e T4 constatou-se comportamento semelhante, de tal forma que os valores médios decresceram significativamente com o avanço dos estádios de desenvolvimento, de maneira que o maior dos valores foi obtido aos 52 DAS seguido dos 68 e 110 DAS, com denotação de diferenças estatísticas quando equiparados entre si. Condutas distintas foram detectadas entre T3, T5, T6, T7 e T8, onde os valores mensurados aos 52 e 68 DAS não diferiram estatisticamente entre si, e, porém são superiores estatisticamente apenas aqueles mensurados ao final do ciclo (110 DAS).

Zobiolo *et al.* (2010) constataram que o máximo de área foliar ($0,8 \text{ m}^2$) do girassol híbrido BRS 191 cultivado no estado do Paraná ocorre aos 68 dias após a emergência, valor inferior aos encontrados na referida pesquisa. Tais resultados ainda corroboram com informações de Neves *et al.* (2005), quando reportam que no girassol a variável área foliar se relaciona diretamente com o número de folhas, uma vez que um maior número de folhas evidentemente acarreta uma maior área foliar.

3.2 Fitomassa

O resumo das análises das variâncias para os dados de fitomassa, matéria seca da folha, do pecíolo, do caule, do capítulo e total do girassol está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo das análises de variância das variáveis de fitomassa do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Pentecoste - CE, 2010⁵.

FV	Teste F					
	GL	MS_F	MS_P	MS_{CAU}	MS_{CAP}	MS_T
Blocos	3	14,53	12,42	23,95	9,58	2,86
Trat. (T)	7	61,85**	16,61**	36,34**	16,04**	94,38**
Resíduo (T)	21	-	-	-	-	-
Épocas (E)	2	104,21**	97,82**	6,56**	178,73**	27,70**
T x E	14	2,61**	2,452*	2,78**	4,33**	5,02**
Resíduo (E)	48	-	-	-	-	-
CV - T (%)	-	8,34	15,33	11,32	23,23	7,51
CV - E (%)	-	20,35	25,28	18,76	34,72	16,21

⁵ FV - Fontes de variação; GL - Graus de liberdade; CV - Coeficientes de variação; MS_F - Matéria seca da folha (g planta^{-1}); MS_P - Matéria seca do pecíolo (g planta^{-1}); MS_{CAU} - Matéria seca do caule (g planta^{-1}); MS_{CAP} - Matéria seca do capítulo (g planta^{-1}); MS_T - Matéria seca total (g planta^{-1}); ns - Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Em relação às variáveis relacionadas à fitomassa MS_F , MS_P , MS_{CAU} , MS_{CAP} e MS_T , pode-se observar ainda na Tabela 5, que as mesmas foram influenciadas significativamente pelos efeitos principais dos fatores tratamentos (T) e épocas de avaliação (E), bem como para a interação tratamentos x épocas de avaliação (T x E), pelo teste F ($p \leq 0,01$), o que indica dependência entre os fatores da interação, de tal forma que existem diferenças entre os tratamentos, quando aplicados em cada distinta época de desenvolvimento da cultura (Tabela 5).

O desdobramento em teste de médias das interações significativas para as variáveis de fitomassa MS_F , MS_P , MS_{CAU} , MS_{CAP} e MS_T , pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Médias de fitomassa seca da folha - MS_F , do pecíolo - MS_P , do caule - MS_{CAU} , do capítulo - MS_{CAP} e total da parte aérea - MS_T (g planta⁻¹) do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento aos 52, 68 e 110 dias após a semeadura (DAS). Pentecoste – CE, 2010⁶.

DAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
MS_F (g planta ⁻¹)								
52	40,08 ^{aA}	41,46 ^{aA}	41,93 ^{aA}	40,90 ^{aA}	25,84 ^{bA}	24,86 ^{bA}	24,99 ^{bA}	24,23 ^{bA}
68	27,98 ^{aB}	28,81 ^{aB}	26,25 ^{aB}	27,39 ^{aB}	22,33 ^{aA}	21,47 ^{aA}	21,68 ^{aA}	21,82 ^{aA}
110	18,23 ^{aC}	18,48 ^{aB}	18,06 ^{aB}	12,17 ^{aC}	18,25 ^{aA}	12,14 ^{aB}	12,24 ^{aB}	11,91 ^{aB}
MS_P (g planta ⁻¹)								
52	21,72 ^{aA}	21,04 ^{aA}	20,67 ^{aA}	22,14 ^{aA}	12,24 ^{bA}	12,91 ^{bA}	12,63 ^{bA}	13,73 ^{bA}
68	12,11 ^{aB}	11,75 ^{aB}	12,35 ^{aB}	12,01 ^{aB}	10,03 ^{aA}	10,18 ^{aAB}	10,01 ^{aAB}	10,00 ^{aAB}
110	7,99 ^{aB}	8,16 ^{aB}	8,19 ^{aB}	5,54 ^{aC}	8,10 ^{aA}	5,68 ^{aB}	5,65 ^{aB}	5,59 ^{aB}
MS_{CAU} (g planta ⁻¹)								
52	62,99 ^{aA}	59,33 ^{abA}	58,92 ^{abA}	60,41 ^{abA}	43,87 ^{abB}	43,79 ^{abA}	42,45 ^{bA}	44,67 ^{abA}
68	66,92 ^{abA}	73,07 ^{aA}	74,94 ^{aA}	71,64 ^{aA}	48,33 ^{bB}	48,78 ^{bA}	49,20 ^{bA}	48,23 ^{bA}
110 ^o	66,20 ^{aA}	67,53 ^{aA}	67,39 ^{aA}	37,00 ^{bB}	67,28 ^{aA}	38,68 ^{bA}	35,43 ^{bA}	37,26 ^{bA}
MS_{CAP} (g planta ⁻¹)								
52	12,60 ^{aC}	10,59 ^{aC}	9,71 ^{aC}	10,73 ^{aB}	6,92 ^{aC}	5,79 ^{aB}	5,94 ^{aB}	6,37 ^{aB}
68	44,93 ^{aB}	43,46 ^{aB}	46,96 ^{aB}	46,48 ^{aA}	32,44 ^{aB}	32,17 ^{aA}	32,94 ^{aA}	32,58 ^{aA}
110	95,85 ^{aA}	108,53 ^{aA}	103,13 ^{aA}	50,70 ^{bA}	99,35 ^{aA}	49,26 ^{bA}	52,40 ^{bA}	50,28 ^{bA}
MS_T (g planta ⁻¹)								
52	137,38 ^{aB}	132,42 ^{aB}	131,23 ^{aB}	134,18 ^{aAB}	88,86 ^{bB}	87,34 ^{bA}	86,00 ^{bA}	89,00 ^{bA}
68	151,94 ^{abAB}	157,09 ^{aB}	160,50 ^{aAB}	157,51 ^{aA}	113,12 ^{bB}	112,60 ^{bA}	113,82 ^{bA}	112,63 ^{bA}
110	188,27 ^{aA}	202,70 ^{aA}	196,77 ^{aA}	105,40 ^{bB}	192,98 ^{aA}	105,76 ^{bA}	105,72 ^{bA}	105,04 ^{bA}

⁶ Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; MS_F ($DMS_L = 9,36$; $DMS_C = 8,46$); MS_P ($DMS_L = 5,82$; $DMS_C = 5,05$); MS_{CAU} ($DMS_L = 20,22$; $DMS_C = 17,57$); MS_{CAP} ($DMS_L = 28,65$; $DMS_C = 24,49$); MS_T ($DMS_L = 40,91$; $DMS_C = 36,36$).

Estudando-se o efeito dos tratamentos dentro de cada época de avaliação, constatou-se que aos 52 DAS os tratamentos que não foram submetidos à deficiência hídrica

durante o estágio vegetativo (T1, T2, T3 e T4), tiveram suas produções de MS_F , MS_P e MS_T , favorecidas, superando estatisticamente aquelas obtidas nos demais tratamentos (Tabela 6).

Os resultados de MS_F , MS_P , MS_{CAU} , MS_{CAP} e MS_T estão condizentes com informações de Santos *et al.* (2002), ao reportarem respostas diferenciadas sobre a acumulação de fitomassa no girassol em decorrência da variabilidade temporal da precipitação pluvial acumulada durante a estação de cultivo. Segundo estes autores, este comportamento é justificado pelo fato da distribuição da precipitação ter ocorrido de forma irregular durante os distintos estádios de desenvolvimento da cultura, em detrimento a própria quantidade total de precipitação pluvial incidente durante o ciclo. Tal fato, evidencia que os estádios fenológicos do girassol se distinguem quanto ao dispêndio de água, revelando assim a importância do adequado suprimento hídrico durante a fase vegetativa para a efetivação de um vigoroso crescimento por parte das plantas, refletido em elevadas produções de fitomassa.

Andrade e Abreu (2007) informam que a produção de matéria seca no girassol sob déficit hídrico é negativamente afetada, provavelmente, devido à redução da área foliar e consequente redução da radiação solar interceptada e utilizada na produção de biomassa.

Com relação à MS_{CAU} , até o presente estágio, apenas os tratamentos T1 e T7, diferiram estatisticamente entre si, porém, sem denotação de diferenças estatisticamente significativas com relação aos demais. Ainda para esta mesma época de avaliação, a MS_{CAP} não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 6). Este comportamento já era esperado, pois aos 52 DAS à cultura se enquadrava no estágio R4 (floração inicial) e até então, conforme Gomes *et al.* (2010), o processo de redistribuição de assimilados da fitomassa (fonte) para a produção de aquênios (dreno) não tinha de fato se iniciado (Tabela 6).

Para Zobiole *et al.* (2010), ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento do girassol, a ocasião de maior assimilação de nutrientes e acumulação de matéria seca se sucede no começo do florescimento até a fase de maturação fisiológica dos aquênios, onde o ponto de máxima é então alcançado.

Aos 68 DAS, apenas as variáveis, MS_{CAU} e MS_T apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 6). Semelhantemente, nestas variáveis, os tratamentos submetidos à deficiência hídrica no estágio vegetativo também registraram os menores valores, e diferiram estatisticamente dos cultivados sem déficit durante este mesmo estágio (Tabela 6). Estes resultados também são condizentes com informações de Nobre *et al.* (2010), ao relatarem que a produção de matéria seca está fortemente associada à lâmina de irrigação disponibilizada à cultura do girassol. Segundo estes autores, na medida em que se incrementou a reposição da necessidade hídrica na cultura do girassol, foram constatados

acréscimos na produção de fitomassa total da parte aérea, cujos maiores incrementos foram observados com a reposição de 120% da necessidade hídrica da cultura, mediante balanço hídrico.

Ainda para esta época de avaliação, nos tratamentos T3 e T4, o déficit hídrico imposto até então apenas durante o estágio de floração, não foi capaz de denotar diferenças estatisticamente significativas na MS_{CAU} , quando comparados aos demais (Tabela 6). Como abordado, este comportamento já era esperado, pois, a exposição ao déficit hídrico até o decorrido estágio por apenas 16 dias não foi capaz de afetar o fluxo de fitomassa pela espécie. Tal fato, reforça ainda mais a hipótese de que a magnitude dos efeitos do déficit hídrico sobre o girassol além de estar relacionada ao período de desenvolvimento, depende substancialmente da duração, da intensidade de ocorrência e da capacidade genética da planta em responder às mudanças na disponibilidade hídrica do solo (CASTRO; FARIAS, 2005).

Quanto à MS_T , os tratamentos T2, T3 e T4 não diferiram entre si e apresentaram os maiores valores quando equipados aos tratamentos T5, T6, T7 e T8, que do mesmo modo não diferiram estatisticamente quando comparados entre si (Tabela 6).

Com relação à avaliação realizada aos 110 DAS, foi observado que os déficits de irrigação aplicados ao longo do ciclo da cultura não interferiram significativamente nas variáveis MS_F e MS_P do girassol. Quanto às demais variáveis (MS_{CAU} , MS_{CA} e MS_T), constatou-se comportamento semelhante, de tal forma que os tratamentos T1, T2, T3 e T5 superaram estatisticamente aqueles observados nos demais tratamentos, que por ventura não difeririam significativamente quando comparados entre si (Tabela 6).

Uma observação importante é que a fitomassa total final (110 DAS) em T1 (sem déficit durante todo o ciclo) não superou estatisticamente todos os tratamentos. Cumpre salientar, que o tratamento T5, embora tenha sido exposto ao déficit hídrico durante o estágio vegetativo, conseguiu ao final do ciclo recuperar sua fitomassa nas variáveis MS_{CAU} , MS_{CAP} e MS_T , a um nível comparado estatisticamente a T1, de maneira que o mesmo não mais apresentou na presente avaliação sensibilidade ao nível de déficit hídrico imposto, mantendo a assimilação orgânica e alcançando valores que não diferiram estatisticamente dos tratamentos plenamente irrigados durante o estágio em questão (Tabela 6).

O que reforça a hipótese de que em alguns estágios de desenvolvimento as lâminas de irrigação podem ser reduzidas sem ocasionar decréscimos significativos na produção de biomassa, e discordam dos resultados obtidos por Castro *et al.* (2006), ao concluírem que a produção de fitomassa seca do girassol apresentou o mesmo comportamento independente das fases de exposição da cultura ao estresse hídrico, em que as maiores

produções foram obtidas nos tratamentos submetidos à maior disponibilidade de água, e dos relatos de Göksoy *et al.* (2004), ao discorrerem que o máximo acúmulo de matéria seca foi observado quando as irrigações foram aplicadas em sua totalidade ao longo do ciclo.

Por outro lado, o tratamento T4 embora irrigado com 100% da ETo durante a fase vegetativa, ao final do ciclo teve sua MS_T estatisticamente equiparada ao tratamento cultivado com irrigação deficitária em todo o ciclo (T8), mostrando ser a cultura, nos estádios de floração e formação da produção, bastante sensível ao déficit hídrico, e a essencialidade do adequado suprimento hídrico durante as fases críticas da cultura (floração e formação da produção), conforme discorreu Leite, Brighenti e Castro (2005), ao abordar que a exigência em água pela cultura vai se elevando proporcionalmente ao seu crescimento, de tal forma que entre a formação das flores nos capítulos e o amadurecimento dos aquênios e, por conseguinte, na formação do óleo e nos demais constituintes orgânicos dos aquênios, a água é um fator decisivo para se obter consideráveis rendimentos (Tabela 6).

Quanto aos efeitos das épocas de avaliação dentro de cada tratamento, ao que se relaciona à variável MS_F constata-se que a mesma exibiu um comportamento estatisticamente semelhante nos tratamentos T1 e T4, de tal forma que a mesma decresceu com o avanço dos estádios de desenvolvimento da cultura. Da mesma forma, nos tratamentos T2 e T3 apenas foram detectadas diferenças aos 52 DAS, quando equiparadas às demais. Contrariamente, nos tratamentos T6, T7 e T8, foi detectada inferioridade estatística apenas aos 110 DAS. Já o T5, não foi influenciado pelas épocas de avaliação (Tabela 6).

A MS_P contrariamente a MS_F , no T1 apenas diferiu estatisticamente aos 52 DAS, com relação às demais épocas, e nos tratamentos T6, T7, T8 foi detectada superioridade estatística apenas aos 52 DAS. Para os demais, constatou-se comportamento análogo a MS_F (Tabela 6).

Ao analisar a MS_{CAU} , observa-se que em T4 as avaliações procedidas aos 52 e aos 68 DAS não difeririam entre si, porém superaram estatisticamente àquela realizada ao final do ciclo (110 DAS). Inversamente, em T5 apenas a coleta decorrida aos 110 DAS ultrapassa estatisticamente as demais épocas. Quanto aos demais tratamentos, não se detectaram diferenças com relação aos efeitos dos distintos estádios de desenvolvimento da cultura (Tabela 6).

Ao que se relaciona a MS_{CAP} , infere-se que os tratamentos T1, T2, T3 e T5 exibiram desempenhos estatisticamente similares ao longo do ciclo cultural, de tal forma que foi constatada superioridade estatística entre as épocas de avaliação, com incrementos significativos desta variável com os estádios fenológicos, conforme a sequência $110 > 68 > 52$

DAS. Semelhantemente, em T4, T7 e T8 também foram constatados comportamentos estatisticamente similares, porém, com valores estatisticamente inferiores apenas ao mesurado no término do estágio vegetativo (Tabela 6).

Em se tratando da MS_T , presume-se pelos resultados que em T1 e T3 detectaram-se superioridade estatística da avaliação procedida aos 110 DAS, quando equiparadas à avaliação aos 52 DAS, porém aos 68 DAS, nestes mesmos tratamentos, o valor se assemelhou estatisticamente aos demais. Nos tratamentos T2 e T5, apenas o valor mensurado aos 110 DAS superou estatisticamente os demais. Por outro lado, entre T6, T7 e T8 não foram evidenciadas diferenças estatísticas ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (Tabela 6). Estes resultados corroboram com Tomich *et al.* (2003), ao mencionarem que a produção de matéria seca dos componentes morfológicos está condicionada, dentre outros fatores, ao estágio de desenvolvimento da planta.

3.3 Partição de fitomassa

Os valores médios da contribuição relativa percentual (%) da fitomassa seca da folha, do pecíolo, do caule e do capítulo na produção de fitomassa seca total do girassol nos diferentes tratamentos estudados podem ser observados na Figura 4.

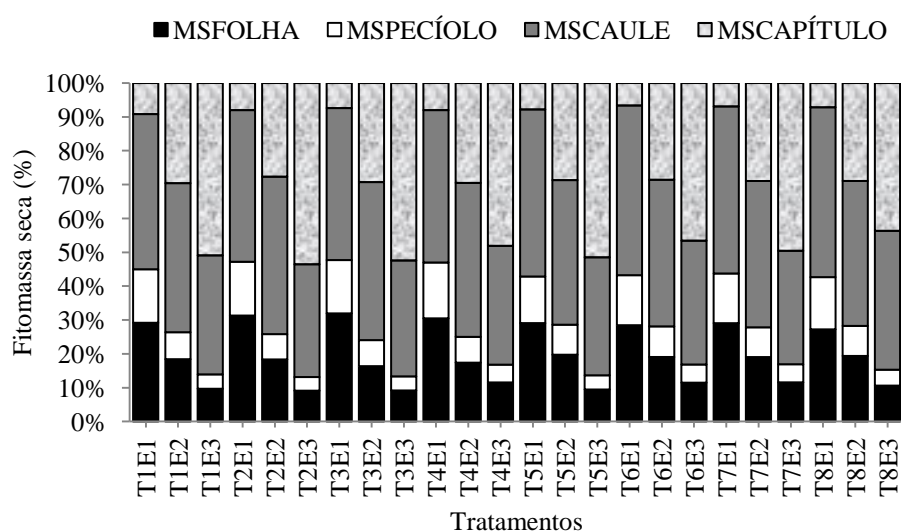


Figura 4 - Contribuição relativa percentual (%) da fitomassa seca da folha (MSFOLHA), do pecíolo (MSPECÍOLO), do caule (MSCAULE) e do capítulo (MSCAPÍTULO) na produção de fitomassa seca total do girassol cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento aos 52 (E1), 68 (E2) e 110 (E3) dias após a sementeira (DAS). Pentecoste - CE, 2010.

Pelos resultados, verificou-se que independente dos tratamentos, ao término de cada estágio fenológico os padrões de distribuição de massa seca entre os distintos órgãos da parte aérea da planta permaneceram praticamente semelhantes. Por outro lado, a partição de fitomassa se alterou pronunciadamente ao longo das épocas de avaliação (Figura 4).

Aos 52 DAS (E1) constatou-se que os caules e as folhas foram os órgãos que mais contribuíram para o acúmulo da matéria seca total, independente do tratamento (Figura 4). Tais observações, estão condizentes com os resultados obtidos por Zobiolo *et al.* (2010), ao relatarem que nos girassóis, a produção de matéria seca tem a seguinte sequência: caule > folha > aquênio > capítulo > pecíolo.

Aos 68 DAS, observam-se incrementos na produção de fitomassa seca dos capítulos, seguido da tendência de redução da fitomassa seca das folhas, enquanto que a fitomassa seca do caule se manteve praticamente inalterada (Figura 4). De acordo com Paranhos *et al.* (1995), durante os estádios iniciais do desenvolvimento espera-se que a planta empregue a maior fração de sua energia total disponível na formação dos órgãos que são capazes de deter a radiação solar, uma vez que o processo fotossintético é o mecanismo fisiológico no qual os processos vitais dos vegetais são assegurados.

Neste estudo, no entanto, grande parte dos constituintes assimilados até aos 68 DAS encontrava-se encerrado nos tecidos que compõem os caules, sendo que a partir de então, se observa mediante a contribuição percentual de fitomassa seca dos demais órgãos, que parte desses carboidratos produzidos, passou a ser translocados então para os capítulos (Figura 4).

Aos 110 DAS a fitomassa seca das folhas e dos pecíolos reduziram, enquanto a fitomassa seca do capítulo cresceu de forma bastante acentuada, em decorrência da concretização dos processos fisiológicos de enchimento e maturação dos aquênios (Figura 4). Estes resultados são condizentes com relatos de Bruginski e Pissaia (2002), quando também verificaram uma grande alteração na partição de massa seca em plantas de girassol entre os estádios de florescimento e de formação da produção, onde constataram que a porcentagem de massa seca de folha, caule e pecíolo diminuíram, enquanto a do capítulo foi incrementada.

Tal comportamento, pode ser explicado levando-se em conta as informações fornecidas por Zobiolo *et al.* (2010), ao relatarem que o enchimento dos aquênios se consolida a partir das reservas que são acumuladas nos diferentes órgãos vegetais, destacando-se, as folhas, os pecíolos, e o caule como as principais fontes de fotoassimilados para os capítulos e, por conseguinte, para os aquênios.

4 CONCLUSÕES

A altura da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule foram negativamente afetados pelos efeitos isolados dos déficits de irrigação e das épocas de avaliação.

Os déficits de irrigação e as épocas de avaliação interagiram e afetaram as variáveis área foliar, massa seca da folha, do pecíolo, do caule do capítulo e total do girassol.

O maior rendimento em termos de características morfológicas e de produção de fitomassa foi obtido a partir do tratamento cultivado sem déficit de irrigação.

Os déficits de irrigação não modificaram a partição de fitomassa entre os distintos órgãos que compõem a parte aérea do girassol, porém, a mesma se alterou ao longo das épocas de avaliação, como efeito dos próprios estádios fenológicos.

O déficit de irrigação inicializado na fase vegetativa acarretou maior redução no crescimento e na produção de fitomassa do girassol, porém quando aplicado apenas durante esta fase a fitomassa do caule, do capítulo e total conseguiram se equiparar ao cultivo sem déficit de irrigação durante todo o ciclo.

O nível de irrigação equivalente a 50% da ETo comprometeu a morfologia e a produção de fitomassa, quando aplicado em qualquer estágio de desenvolvimento.

Sob severas condições de escassez de água, seria melhor se o déficit de irrigação fosse aplicado apenas na fase de floração, tendo em vista sua menor duração em relação aos demais estádios fenológicos da cultura nas condições de Pentecoste – CE.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. P. *et al.* Divergência genética em genótipos de girassol. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, p. 1637-1644, 2007.
- ANDRADE, J. A.; ABREU, F. G. Influência da temperatura e do teor de humidade do solo na área foliar e acumulação de matéria seca durante o estabelecimento da ervilha, do milho e do girassol. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.30, p.27-37, 2007.
- BARREIRO, A. P. *et al.* Análise de crescimento de plantas de manjeriço tratadas com reguladores vegetais. **Revista Bragantia**, Campinas, v.65, p.563-567, 2006.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP. 1988. 42 p.
- BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Deficiência hídrica em vários estádios de desenvolvimento da batata. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.119-123, 1998.
- BISCARO, G. A. *et al.* Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, p. 1366-1373, 2008.
- BRUGINSKI, D. H.; PISSAIA, A. Cobertura nitrogenada em girassol sob plantio direto na palha: II – Morfologia da planta e partição de massa seca. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v.3, p.47-53, 2002.
- CARVALHO, D. B. de. Análise de crescimento de girassol em sistema de semeadura direta. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.2, p. 63-70, 2004.
- CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. F. Ecofisiologia do girassol. *In*: LEITE, R. M. V. B. C. ; BRIGHENTI, A. M. ; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.9. p. 163- 218.
- CASTRO, C. *et al.* Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 30, p. 214-220, 2006.
- FAGUNDES, J. D. *et al.* Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso (*Helianthus annuus* L.): fontes e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 987-993, 2007.
- FERERES, E. ; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal Experimental Botany**, London, v.58, p. 147-159, 2007.
- GOMES, E. P. *et al.* Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâmina de irrigação em semeadura direta na região do Arenito Caiuá, estado do Paraná. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 15, p. 373-385, 2010.

GÖKSOY, A.T. *et al.* Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 87, p.167-178, 2004.

GRIEU, P. *et al.* Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: apports de l'écophysiologie et de la génétique. **Revue Innovations Agronomiques**, Paris, v. 2, p. 37-51, 2008.

KARADOĞAN, T.; AKGÜN, İ. Effect of leaf removal on sunflower yield and yield components and some quality characters. **Helia**, v. 32, p. 123-134, 2009.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M. ; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 613p.

LIMA JUNIOR, I. S. *et al.* Desfolha artificial simulando danos de pragas na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L., Asteraceae). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 23-27, 2010.

MALDANER, I. C. *et al.* Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.1356-1361, 2009.

MARQUES, P. A. A.; BERNARDI FILHO, L.; SANTOS, A. C. P. Crescimento, produção de óleo essencial e trocas gasosas em orégano influenciados por diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p. 1888-1892, 2009.

MIZUBUTI, I. Y. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente das silagens de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) Moench) e girassol (*Helianthus annuus* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa/MG., v. 31, p. 267-272, 2002.

NAZARLI, H. *et al.* The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca/Romênia, v.2, p. 53-58, 2010.

NELSON, C.J.; MOSER, L.E. Plant factors affecting forage quality. *In*: FAHEY JUNIOR, G.R. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: Wisconsin ASA/CSSA/SSSA, 1994. Cap. 3, p.115-154.

NEVES, M. B. *et al.* Desenvolvimento de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) em vasos, em dois substratos com solução nutritiva e em solo. **Revista Científica**, Botucatu, v. 33, p. 127 - 133, 2005.

NEZAMI, A. *et al.* Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. **Journal Desert**, Teerã, v. 12, p. 99-104, 2008.

NOBRE, R. G. *et al.* Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.747-754, 2010.

OLIVEIRA, M. C. *et al.* Efeito da inclusão de bagaço de girassol na ração sobre o desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte. **Revista Portuguesa Zootecnia**, Vila Real/ PT., v. 10, p. 107-116, 2003.

PARAÍBA. Universidade Federal de Campina Grande. **Assistat - Assistência Estatística, V - 7.6 beta**. Campina Grande, PB, 2011. Disponível para download em: <<http://www.assistat.com/indformp.html>>. Acesso em: 14 jan. 2012.

PARANHOS, J. T.; MARCHEZAN, E. ; DUTRA, L. M. C. Acúmulo de massa seca em três cultivares de arroz irrigado com diferentes arquiteturas de plantas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, p. 55 - 60, 1995.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicação**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, p. 842-849, 2011.

SANTOS, A. C. *et al.* Variabilidade temporal da precipitação pluvial: Nível de nitrogênio no solo e produtividade de cultivares de girassol. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p.757-764, 2002.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2010. 819 p.

TOMICH, T. R. *et al.* Potencial forrageiro de cultivares de girassol produzidos na safrinha para ensilagem. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.55, p.756-762, 2003.

TOUREIRO, C. M.; SERRALHEIRO, R. P.; OLIVEIRA, M. R. Resposta das culturas do girassol e do milho a diferentes cenários de rega deficitária. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.30, p.33-47, 2007.

ZOBIOLE, L. H. S. *et al.* 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**, Campina Grande, v.14, p.55-62, 2010.

CAPÍTULO 3

COMPONENTES DE PRODUÇÃO, RENDIMENTOS E USO EFICIENTE DA ÁGUA NA CULTURA DO GIRASSOL EM RESPOSTA A REGIMES DE DÉFICIT HÍDRICO EM SEUS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, verificar a influência da irrigação plena e com déficit nos estádios vegetativo, floração e formação da produção do girassol, cultivar Multissol, sobre os componentes de produção (diâmetro do capítulo, massa de 1.000 aquênios e os teores de óleo e de proteínas), os rendimentos potenciais de produção de aquênios, óleo e proteínas, e os índices de eficiência de uso da água em produzir aquênios, óleo e proteínas nas condições edafoclimáticas do município de Pentecoste, Ceará. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e oito tratamentos; estes definidos em função da época de indução do déficit hídrico nos diferentes estádios fenológicos da cultura, correspondendo à ocorrência de déficit hídrico em um, dois ou três estádios. O déficit hídrico foi obtido aplicando-se metade da lâmina usada para o tratamento sem déficit. Foram observadas modificações no diâmetro dos capítulos, na massa de mil aquênios, no teor de óleo dos aquênios, no potencial de produção de aquênios, óleo e proteína, e na eficiência de uso da água na produção de aquênios e óleo nos déficits hídricos aplicados. O estágio de formação da produção foi o mais sensível ao déficit hídrico, ocorrido apenas neste, com redução no potencial de produção de aquênios de 13,90% em relação à testemunha. A deficiência hídrica aplicada sequencialmente nos estádios vegetativo e formação da produção provocou uma redução acentuada na produtividade de aquênios de 32,37% e, quando aplicada nos três estádios, causou uma redução na produtividade de 36,59% em relação à testemunha. A estratégia de manejo da irrigação com déficit durante os estádios vegetativo e de floração do girassol contribuiu para a obtenção de um potencial de produção de aquênios na cultura em um nível equiparado ao alcançado no cultivo sem déficit hídrico durante toda a estação de crescimento. Independentemente da fase fenológica, o déficit hídrico exerceu efeito benéfico na eficiência de uso da água na produção de aquênios. A incidência de déficit hídrico durante o estágio de floração foi mais vantajosa para a eficiência de uso da água na produção de óleo do que em qualquer outra fase, e não influenciou a eficiência de uso da água na produção de proteína, independentemente da etapa fenológica em que esse ocorreu.

Palavras – chave: *Helianthus annuus* L. Restrição de água. Produtividade. Otimização da irrigação. Composição química.

CHAPTER 3**PRODUCTION ELEMENTS, YIELDS AND WATER USE EFFICIENCY IN
SUNFLOWER CULTURE IN RESPONSE TO WATER DEFICITS DURING ITS
DEVELOPMENT**

ABSTRACT

The objective of this study was to verify the influence of full and deficit irrigation at stages vegetative, flowering and formative of production (of sunflower cv Multissol), about the components of production (head diameter, mass of 1000 achenes and oil and protein content), the potential income of producing achenes, oil and protein, and the efficiency indices of water use in producing achenes, oil and proteins in the conditions of soil and climate to be found on the municipality of Pentecoste, Ceara (BR). The experimental design was that of randomized blocks with four replications and eight treatments, these defined by the time of induction of water stress at different phenological stages of culture, corresponding to the occurrence of water deficit at one, two or three stages. The water deficit irrigation level was quantified as half the irrigation level corresponding to full irrigation. Changes were observed in capitulum diameter, in the mass of one thousand achenes, in the achene oil content, in the achene, oil and protein production potentials, and in the water use efficiency (in achene and oil production). The production formation stage was the stage most sensitive to water deficit, with a reduction in achene production potential of 13.90% compared to control. The water stress applied sequentially in the vegetative and production formation stages led to a marked reduction in achene productivity of 32.37% and, when applied in the three stages, caused a productivity reduction of 36.59%, compared to control. The irrigation deficit management strategy during the sunflower vegetative and flowering stages helped obtaining an achene production potential of a level similar to the one achieved in cultivation with full irrigation throughout the growing season. Regardless of the phenological phase, the water deficit exerted a positive effect on the water use efficiency in achene production. The incidence of water deficit during the flowering stage was more advantageous for the water use efficiency in the production of oil than at any other stage, and did not influence the water use efficiency in protein production, regardless of phenological stage on which it occurred.

Keywords: *Helianthus annuus* L. Water deficit. Productivity. Irrigation optimization. Chemical composition.

1 INTRODUÇÃO

A deficiência hídrica dos solos constitui um dos maiores entraves ao desenvolvimento da agricultura por comprometer significativamente grande parte das áreas cultivadas no mundo, principalmente as situadas em regiões semiáridas, restringindo o crescimento e a produção vegetal, provocando drásticos prejuízos socioeconômicos (MUNNS, 2002). No Brasil, este empecilho também é percebido, e de uma maneira particular na região Nordeste, na qual aproximadamente 54% de toda a sua extensão territorial se situa no domínio semiárido, que é caracterizada por apresentar um regime pluviométrico irregular e escasso, com longos períodos de seca (FAO, 2011).

Neste sentido, e em decorrência da instabilidade climática, a garantia do sucesso de cultivos em regiões semiáridas depende, dentre outras práticas, do uso de irrigação. Contudo, segundo o Plano Nacional de Recursos Hídricos a agricultura irrigada utiliza 69% da demanda nacional de água, porém, 36% do total alocado são perdidos principalmente por manejo inadequado (BRASIL, 2011). Aliado a este fato, constata-se que a disponibilidade de água em todas as regiões do mundo tem diminuído no sentido quantitativo e qualitativo, e esses fenômenos podem ser sentidos de forma mais intensa nas regiões áridas e semiáridas, nas quais a escassez crônica de água para usos diversos compromete a sobrevivência do próprio homem (SECKLER *et al.*, 1998). Neste contexto, o uso da irrigação com déficit se apresenta como uma alternativa agrônômica que objetiva maximizar a eficiência no uso da água, levando a resultados de produção com maior economia deste recurso (KIRDA, 2002).

Ao longo dos distintos estádios fenológicos nos quais as culturas atravessam durante o ciclo vital, distintas quantidades de água são requeridas devido principalmente às mudanças morfológicas e anatômicas que ocorrem durante o desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2010). Em restritas condições de água no solo, vários processos metabólicos podem ser influenciados, enquanto outros praticamente não são alterados, de tal forma que a produtividade final da cultura pode ou não manifestar as consequências da exposição ao déficit hídrico devido à adaptabilidade das plantas, bem como a duração e a magnitude do estresse, além da variabilidade genética (SANTOS; CARLESSO, 1998; MARINHO, 2011).

No exercício da irrigação deficitária, as plantas são expostas a uma condição de déficit hídrico de determinada magnitude nos quais as lâminas de irrigação podem ser reduzidas, sem acarretar significativos decréscimos na produtividade. Presume-se que com esta estratégia, a redução da produção resultante pode ser pequena, em comparação com os

benefícios obtidos através da economia de água, desta forma, a eficiência de uso da água pode ser então maximizada (TOUREIRO; SERRALHEIRO; OLIVEIRA, 2007).

Dentre as culturas oleaginosas cultivadas no Brasil, a do girassol é a que mais cresceu nos últimos anos, tanto em área de cultivo, como em produção devido principalmente a crescente importância das suas sementes como fonte de óleo e de proteína, e como matéria-prima para a produção de biodiesel (COSTA, 2010). No Estado do Ceará, particularmente, o girassol vem sendo cultivado como uma cultura de sequeiro. Entretanto, segundo Albaji *et al.* (2011), mundialmente, as pesquisas e as experiências dos agricultores têm constatado que o girassol responde positivamente à irrigação, com incrementos de rendimentos que chegam a variar de 100 a 200%, em comparação com os obtidos em condições de sequeiro.

Antes de implementar um programa de manejo de irrigação com déficit, é necessário o conhecimento das respostas da cultura ao estresse hídrico durante toda a temporada de cultivo, ou em algumas fases de desenvolvimento, no que diz respeito aos rendimentos, componentes e qualidade da produção e produtividade da cultura.

Algumas pesquisas avaliaram o comportamento da cultura do girassol sob irrigação com déficit. A exemplo, Göksoy *et al.* (2004), empregaram 14 distintas estratégias de irrigação, variando as lâminas de irrigação e irrigando o girassol em diferentes estádios de desenvolvimento e verificaram que as irrigações realizadas nos períodos de germinação, florescimento e enchimento de aquênios aumentaram a produtividade de aquênios, o teor de óleo e a massa de 1000 aquênios. Também Karam *et al.* (2007), estudaram os efeitos da irrigação com déficit aplicado em diferentes estádios de crescimento do girassol e constaram que a máxima eficiência do uso da água foi obtida no tratamento de máximo déficit hídrico. Estes mesmos autores também cientificaram que a irrigação com déficit na fase de floração deve ser evitada, enquanto na formação da produção pode ser uma prática aceitável, principalmente para as condições nas quais a água é um recurso naturalmente escasso.

Brighenti *et al.* (2004) apontaram que as condições edafoclimáticas predominantes em certa região podem modificar os resultados experimentais obtidos. Dessa maneira, há necessidade de repetir os trabalhos dentro das especificidades das mais variadas condições, principalmente no semiárido. Neste sentido, objetivou-se, com este trabalho, verificar a influência da irrigação plena e com déficit nos estádios vegetativo, floração e formação da produção do girassol, cultivar Multissol, sobre os rendimentos e as características agrônomicas de produção e de qualidade, além do cálculo dos índices de eficiência de uso da água nas condições edafoclimáticas do município de Pentecoste, Ceará, visando oferecer subsídios para um adequado manejo de irrigação deficitária para a cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As seções abaixo listadas encontram-se descritas nas respectivas páginas do Capítulo 1.

SEÇÕES	Página
2.1 Localização e caracterização ambiental da área experimental	56
2.1.1 Caracterização climática da região	57
2.1.2 Caracterização do solo	58
2.2 Material vegetal	59
2.3 Delineamento experimental e tratamentos	60
2.4 Instalação e condução da cultura	63
2.4.1. Preparo da área	63
2.4.2 Adubação de fundação	63
2.4.3 Semeadura e desbaste	64
2.5 Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação	64
2.6 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários	69

2.7 Colheita e beneficiamento

A colheita foi efetuada manualmente aos 110 DAS, utilizando-se de tesoura de poda e de sacos plásticos, seguindo as recomendações de Silva *et al.* (2009). Neste momento, a coloração dos capítulos variava de amarelo com bordas castanhas para o castanho amarelado (Figura 1A).

Depois de colhidos, os capítulos foram separados por tratamento e bloco, e em seguida foram devidamente identificados e colocados para completar o processo de secagem (Figura 1B).

Após a secagem, procedeu-se o beneficiamento dos capítulos de forma mecanizada, e para tanto, foi utilizada uma máquina debulhadora de milho da marca CEMAG[®], modelo DMC – 60, que foi devidamente ajustada para tal fim (Figura 1C).



Figura 1 - Colheita manual (A), secagem (B) e beneficiamento mecânico dos capítulos do girassol (C). Pentecoste – CE, 2010.

2. 8 Variáveis avaliadas

2.8.1 Componentes de Produção

2.8.1.1 Diâmetro do capítulo

Após a colheita, foi mensurada à distância de uma extremidade à outra do capítulo, com o auxílio de uma régua graduada. Para isso, foram utilizadas dez plantas inseridas na área útil do experimento por parcela, e o valor expresso em centímetros, representa a média das plantas amostradas (Figura 2).



Figura 2 - Medição do diâmetro do capítulo do girassol. Pentecoste – CE, 2010.

2.8.1.2 Massa de 1.000 aquênios

A massa de mil aquênios das parcelas foi determinada por meio da contagem direta dos aquênios e por meio da mensuração das respectivas massas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 1992). Para tanto, foi utilizada uma

balança com precisão de quatro casas decimais, e o valor apresentado foi expresso em gramas (Figura 3).



Figura 3 - Contagem (A) e pesagem (B) dos aquênios para determinação da massa de mil aquênios do girassol. Pentecoste – CE, 2010.

2.8.1.3 Potencial de produção de aquênios

A estimativa do potencial de produção de aquênios em kg ha^{-1} foi realizada por meio da pesagem da produção de aquênios beneficiados de dez plantas que se encontravam inseridas na área útil do experimento por cada parcela. De posse deste valor, foi calculada a média de produção de aquênios das plantas amostradas e foi obtido o rendimento de grãos por planta para cada parcela e repetição, este valor foi expresso em gramas.

Posteriormente, foi realizado o cálculo da estimativa do potencial de aquênios expressado em kg ha^{-1} para cada parcela, considerando a área ocupada por cada planta e o número total de plantas utilizado.

O potencial de produção de aquênios foi estimado então para um estande de colheita composto por 44.444 plantas ha^{-1} , conforme o espaçamento adotado para a cultura neste experimento.

2.8.1.4 Teor de óleo

De cada tratamento foram tomadas amostras de aquênios, as quais foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, para em seguida serem encaminhadas ao Laboratório de Fisiologia da Produção do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, para realização da determinação do teor de óleo, mediante o cálculo do extrato etéreo, segundo a metodologia proposta por Silva e Queiroz (2004).

Em laboratório, procedeu-se a moagem dos aquênios. Na sequência, em média 2 g de amostras de aquênios moído foi embrulhado em papel de filtro na forma de cartucho. Todos os tubos coletores onde as amostras foram inseridas foram pesados, para obtenção das respectivas taras. O cartucho de papel com a amostra de aquênio moído seguiu para o aparelho extrator de gordura TE - 044 da TECNAL[®] (Figura 4). Adicionou-se então em média 40 mL do solvente Hexano [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$] no tubo coletor, e este foi colocado sob o condensador. O aparelho foi mantido em funcionamento por um período de seis horas para a total extração do óleo, e para a conseguinte separação do solvente do mesmo.



Figura 4 - Aparelho extrator de gordura modelo TE - 044 da TECNAL[®] utilizado para a determinação do teor de óleo dos aquênios. Pentecoste – CE, 2010.

Após este período, os tubos coletores foram levados à estufa com circulação forçada de ar a 105 °C por um período de 1 hora, a fim de promover a evaporação completa de qualquer resquício de solvente. Em seguida, os tubos coletores foram levados ao dessecador para resfriamento e posterior pesagem.

Esta última massa foi subtraída da tara e resultou na massa de óleo extraída. De posse da massa da amostra de aquênios, e da respectiva massa de óleo, calculou-se a porcentagem de óleo da amostra em base seca.

2.8.1.5 Teor de proteína

Para a determinação do teor de proteína dos aquênios de girassol, também foram tomadas amostras de aquênios segundo o tratamento e o bloco, as quais foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, para em seguida serem encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, onde se determinou o teor de nitrogênio dos aquênios em base de massa seca, usando-se o procedimento Kjeldahl, de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2004), e os teores de proteína foram obtidos por meio do produto do teor de nitrogênio pelo fator 6,25.

Em laboratório, procedeu-se a moagem dos aquênios. Na sequência, pesou-se inicialmente 0,1 g de material moído em tubo de digestão de 300 mL. Adicionou-se uma medida padronizada de mistura catalizadora composta de 100 g de sulfato de potássio, 10 g de sulfato de cobre, e 3 mL de ácido sulfúrico concentrado. Em seguida, as amostras foram levadas a um bloco digestor, inicialmente ajustado a uma temperatura de 250 °C, que foi sendo elevada gradativamente até se atingir 400 °C (Figura 5 A). O extrato ficou pronto quando adquiriu a coloração verde. As amostras foram, então, retiradas do digestor. Após o resfriamento do extrato, foi transferido um pouco de água para o tubo de destilação, o qual, por sua vez, foi colocado em um destilador manual, cuja extremidade de saída ficou mergulhada em ácido bórico (Figura 5 B). Quando o volume de destilado atingiu 50 mL, o aquecimento foi desligado e o Erlenmeyer e os tubos de digestão foram retirados. O Erlenmeyer contendo a solução foi levado para titular com ácido sulfúrico (0,05 N). A titulação ocorreu até se verificar visualmente a mudança de cor, quando então foi anotado o volume de ácido utilizado (Figura 5 C).

Para a determinação do teor de nitrogênio da amostra utilizou-se a equação 1:

$$\% N = \left[\frac{(14 \cdot 0,05 \cdot 100)}{100} \right] \cdot (Vol. H_2SO_4 - Vol. branco) \quad (1)$$

em que,

%N - Porcentagem de nitrogênio (%);

Vol. H₂SO₄ - Volume de ácido consumido até o ponto de viragem (mL);

Vol. branco - Volume de ácido consumido até o ponto de viragem do branco (mL).

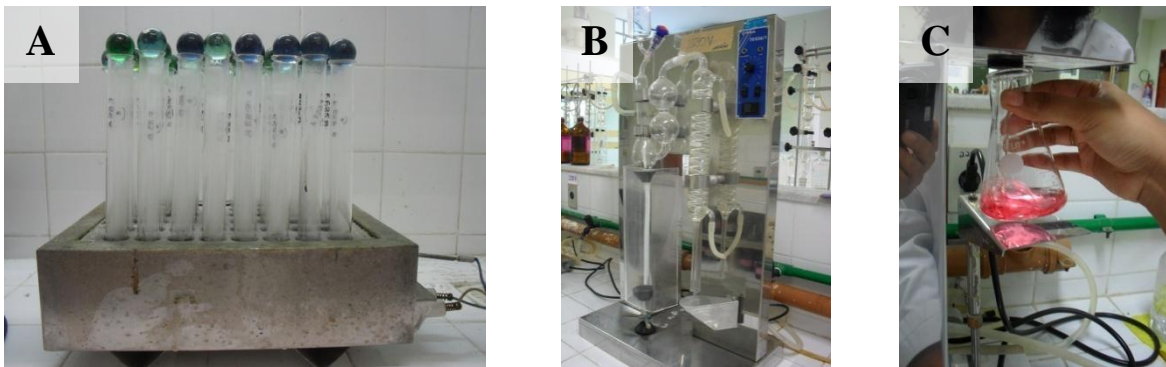


Figura 5 – Etapas de digestão (A), destilação (B) e titulação (C) das amostras de aquênios de girassol durante a execução do método Kjeldahl para a determinação do teor de proteínas. Pentecoste – CE, 2010.

2.8.2 Rendimentos e uso eficiente da água

2.8.2.1 Potencial de produção de óleo e de proteína

O potencial de produção de óleo e de proteína em kg ha⁻¹ foi estimado para cada parcela a partir dos valores do potencial de produção de aquênios, e dos respectivos percentuais de óleo e de proteína correspondentes aos mesmos, conforme é expresso na equação 2:

$$PP_{\text{ÓLEO (PROTEÍNA)}} = \frac{PP_{\text{AQUÊNIOS}} \cdot T_{\text{ÓLEO (PROTEÍNA)}}}{100} \quad (2)$$

em que,

PP_{ÓLEO (PROTEÍNA)} – Potencial de produção de óleo e de proteína (kg ha⁻¹);

PP_{AQUÊNIOS} – Potencial de produção de aquênios (kg ha⁻¹);

T_{ÓLEO (PROTEÍNA)} – Teor de óleo e de proteína dos aquênios (%).

2.8.2.2 Eficiência de uso da água na produção de aquênios, óleo e proteína

A eficiência do uso da água (EUA) em produzir aquênios, óleo e proteína em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ foi determinada para cada parcela por meio da relação entre a produtividade de aquênios, de óleo e de proteínas em kg ha^{-1} (PFEP) e a lâmina total de água aplicada na irrigação de cada unidade experimental (W) durante todo o ciclo, em milímetros (mm), conforme a equação 3, proposta por Doorenbos e Kassam (1994):

$$EUA_{FEP} = \frac{PFEP}{W} \quad (3)$$

em que,

EUA_{FEP} – Eficiência de uso da água na produção da fração econômica produzida (aquênios, óleo e proteína) ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

PFEP – Potencial de produção da fração econômica produzida (aquênios, óleo e proteína) (kg ha^{-1});

W – Lâmina total de água aplicada (mm);

2.9 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise da variância, as médias obtidas nos diferentes tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional para assistência estatística ASSISTAT 7.6 beta da Universidade Federal de Campina Grande (PARAÍBA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Componentes de Produção

Pelo resumo das análises das variâncias para os dados de diâmetro do capítulo (Φ_{CAP}), massa de mil aquênios ($M_{1.000A}$), potencial de produção de aquênios ($PP_{AQÊNIOS}$), teor de óleo dos aquênios ($T_{ÓLEO}$) e teor de proteína dos aquênios ($T_{PROTEÍNA}$), verificou-se que os tratamentos utilizados influenciaram significativamente as características em estudo, em nível de 1% de probabilidade pelo teste F, com exceção para a variável teor de proteína ($T_{PROTEÍNA}$), que não variou de forma estatisticamente significativa entre os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo das análises das variâncias para os dados de diâmetro do capítulo (Φ_{CAP}), massa de mil aquênios ($M_{1.000A}$), potencial de produção de aquênios ($PP_{AQÊNIOS}$), teor de óleo dos aquênios ($T_{ÓLEO}$) e teor de proteína dos aquênios ($T_{PROTEÍNA}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Pentecoste - CE, 2010¹.

F.V.	GL	Teste F				
		Φ_{CAP}	$M_{1.000A}$	$PP_{AQÊNIOS}$	$T_{ÓLEO}$	$T_{PROTEÍNA}$
Blocos	3	0,44 ^{ns}	1,16 ^{ns}	2,59 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,45 ^{ns}
Tratamentos (T)	7	63,74 ^{**}	165,98 ^{**}	422,50 ^{**}	219,73 ^{**}	1,10 ^{ns}
Resíduo (T)	21	-	-	-	-	-
CV – T (%)	31	3,34	1,94	1,55	1,50	10,18

¹ FV - Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; (**) - Significativo a 1% de probabilidade, (ns) - Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

3.1.1 Diâmetro do capítulo

Na comparação entre as médias dos efeitos dos tratamentos, observou-se que o maior diâmetro do capítulo ocorreu com o tratamento T1, com média de 22,90 cm. Este valor não diferiu estatisticamente do obtido com o tratamento T5 que foi de 21,64 cm, que por sua vez não divergiu dos valores médios verificados nos tratamentos T2 e T3, cujos valores foram de 20,43 e 21,23 cm, respectivamente. Por outro lado, a menor média foi verificada com o tratamento T8, cujo valor foi de 16,15 cm, o qual não diferiu estatisticamente do diâmetro do capítulo verificado nos tratamentos T4 e T6, que foram de 17,01 e 16,64 cm, respectivamente. Já a média verificada no tratamento T4 também não diferiu estatisticamente do valor aferido no tratamento T7 (18,35 cm), conforme pode ser visualizado na Figura 6.

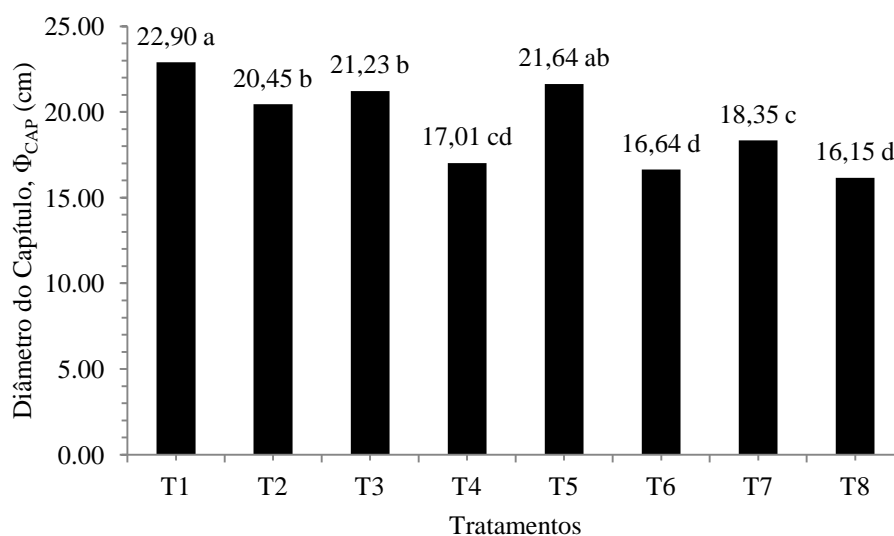


Figura 6 – Diâmetro do capítulo do girassol (Φ_{CAP}), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 1,53301), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

De uma maneira geral, o diâmetro do capítulo variou de 16,15 a 22,90 cm em função dos tratamentos, situando-se dentro da variação de 6 a 50 cm, estabelecida por Frank e Szabo (1989) para a cultura. No entanto, partes dos valores médios encontrados para a variável em questão superam o limite superior preconizado por Smiderle, Mourão Junior e Gianluppi (2005) e Mello *et al.* (2006). Segundo os referidos autores, o diâmetro dos capítulos das cultivares comerciais de girassol varia entre 12,9 cm a 20,0 cm. Porém, os melhores resultados de diâmetro do capítulo situam-se próximos do valor preconizado por CATI (2012) como característico da cultivar (22 cm).

De acordo com Cetiom (1983), quando os diâmetros dos capítulos superam os 17 cm, os mesmos tendem a resultar em menor produção, em decorrência da menor produção de grãos cheios. Em contrapartida, Jain *et al.* (1978) salientam que capítulos muito reduzidos são reflexos das limitações que ocorreram ao longo do desenvolvimento da cultura, e que esta característica exerce grande influência na produção de aquênios.

Segundo Gomes, Ungaro e Vieira (2003), o diâmetro dos capítulos é um apropriado parâmetro para analisar o desenvolvimento e a produtividade das plantas, sendo, além disso, afetado pela deficiência hídrica. Assim, pelos resultados, constatou-se que o déficit hídrico durante todo o ciclo (T8) reduziu em média 29,47%, o diâmetro do capítulo comparando-se com o tratamento sem déficit (T1). Tais resultados são condizentes com informações de Santos *et al.* (2012), quando constataram também redução do diâmetro devido à deficiência hídrica em um ensaio que objetivou avaliar o desempenho de cultivares de

girassol, semeados em diferentes épocas nas condições ambientais da região Sul do Estado do Tocantins. Para os autores, esta constatação foi atribuída ao veranico que incidiu durante a fase do ciclo vital na qual as plantas encontravam-se no início do período vegetativo.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Gomes (2005), ao relatarem que o diâmetro do capítulo aumentou conforme diminuiu o déficit hídrico. Segundo este autor, os menores valores para este componente de produção foram encontrados no tratamento sem suplementação hídrica e o maior, no tratamento sempre irrigado.

O déficit aplicado em apenas um estágio fenológico, como nos tratamentos T2, T3 e T5, reduziu o diâmetro do capítulo em 10,69; 7,31 e 5,51%, respectivamente, em relação ao tratamento T1. A maior redução percentual da variável em questão para o tratamento T2 dentre os referidos tratamentos, indica a necessidade de um suprimento adequado de água no estágio de formação da produção para a obtenção de um máximo diâmetro no capítulo. Para Silva *et al.* (2007), é possível obter maior produção de grãos em função de maiores tamanhos médios de capítulos. O que é condizente com informações fornecidas por Lobo e Grassi Filho (2007), ao discorrerem que o diâmetro do capítulo acarreta consequências diretas sobre o número de aquênios encerrados por capítulo, que é um componente de produção determinante para a produtividade final.

O déficit hídrico imposto apenas nos estádios floração (T3) e/ou vegetativo (T5), não resultou em grandes reduções no diâmetro do capítulo, possivelmente, devido à menor exigência hídrica da cultura durante o estágio vegetativo, e ao próprio intervalo de tempo do estágio fenológico de floração na cultura, que foi bastante curto, quando equiparado aos demais (16 dias).

Já o déficit aplicado em dois estádios fenológicos, como nos tratamentos T4, T6 e T7, reduziu o diâmetro do capítulo em 25,70; 27,34 e 19,89%, respectivamente, em relação ao tratamento T1, sendo que as maiores penalizações por déficit hídrico no diâmetro do capítulo incidiram justamente nos tratamentos submetidos ao déficit durante a fase de floração/formação da produção, o que reforça a hipótese de que a ocorrência de déficit hídrico durante estes estádios afeta intensamente as variáveis relacionadas à produção de aquênios (GUSE, 2009).

Estes resultados estão também em consonância com relatos de Göksoy *et al.* (2004), ao verificarem que os efeitos da irrigação plena e limitada aplicada ao longo dos diferentes períodos de desenvolvimento do girassol sob a variável diâmetro do capítulo foram também significativos. Segundo estes autores, os tratamentos de irrigação aplicados em duas

fases de desenvolvimento, bem como a irrigação plena e limitada em três fases de desenvolvimento promoveram incrementos no diâmetro do capítulo.

Acréscimos no diâmetro do capítulo como resultado da irrigação em diferentes momentos do desenvolvimento da cultura foram também relatados por outros autores como Karami (1977) e Jana, Misra e Kar (1982).

3.1.2 Massa de 1.000 aquênios

Na Figura 7 estão contidas as médias da massa de mil aquênios nos diferentes tratamentos estudados. Pelos resultados, verificou-se que a massa de mil aquênios variou de 65,44 para 93,04 g em função dos diferentes tratamentos. Segundo EMBRAPA (2012), nos genótipos comerciais, a massa de 1.000 aquênios varia de 30 a 60 g, sendo, portanto, os valores mensurados na presente pesquisa superiores aos preconizados pelos referidos autores, o que pode estar associado ao componente genético, uma vez que conforme CATI (2012) a massa média de 1.000 aquênios da cultivar Multissol se situa em torno das 70 g. Contudo, os valores que foram alcançados em alguns tratamentos (T1 e T3) ainda são superiores.

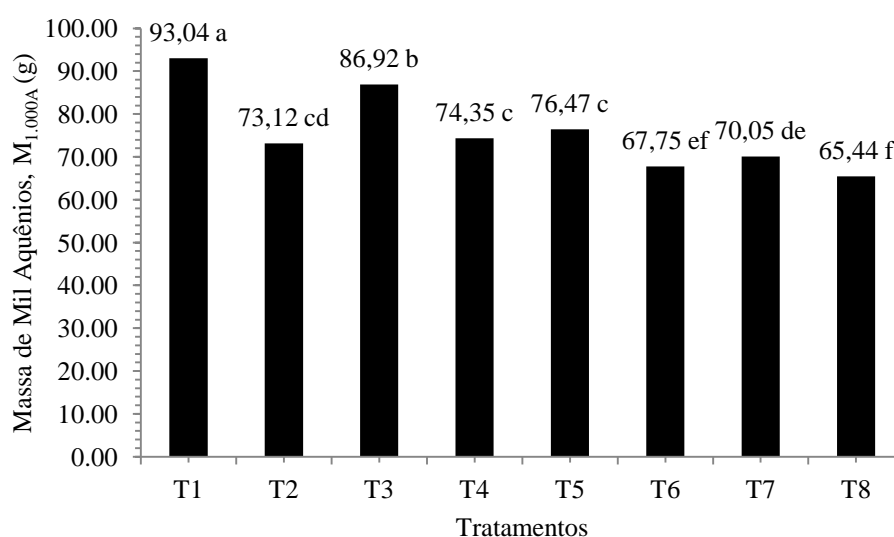


Figura 7 – Massa de mil aquênios do girassol ($M_{1.000A}$), cv. Multissol, em resposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 3,50914), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

O maior valor para a variável em questão, com média de 93,04 g foi verificado com o tratamento T1, cujo valor foi superior estatisticamente àqueles obtidos nos demais tratamentos, seguido do valor alcançado em T3 (86,29 g) que também diferiu estatisticamente dos demais. Observa-se ainda que entre os tratamentos T4 e T5, não se denotaram diferenças estatisticamente significativas, e que para estes tratamentos, os valores médios foram de 74,35 e 76,47 g, respectivamente. Quanto aos valores médios obtidos em T2 (73,12 g), constata-se similaridade estatística entre o mesmo (T2) e T7 (70,05 g). Já os valores obtidos em T7 se assemelharam estatisticamente aqueles obtidos em T6 (67,75 g), que por sua vez não diferem dos valores obtidos em T8, onde se constatou o menor dos valores, com média de 65,44 g (Figura 7). Vieira (2005) discorre que quando ocorre algum problema de estresse ambiental, inclusive por déficit hídrico durante a fase de desenvolvimento dos aquênios (formação da produção), ocorre formação de sementes menores, mal formadas e de baixo vigor.

Resultados semelhantes foram obtidos por Göksoy *et al.* (2004), que utilizaram quatorze diferentes estratégias de manejo de irrigação na cultura do girassol, por meio da variação das lâminas de irrigação, alternando também os momentos de se proceder à irrigação ao longo dos diferentes estádios fenológicos da cultura e verificaram que as irrigações procedidas nas fases de germinação, florescimento e enchimento de aquênios aumentaram a massa de 1.000 aquênios em girassol.

O déficit hídrico durante todo o ciclo (T8) reduziu em 29,66% a massa de 1.000 aquênios, comparando-se com o tratamento sem déficit (T1). Tal fato, suscita a hipótese de que em condições de restrição hídrica os aquênios de girassol têm seu enchimento prejudicado em função de uma maior incidência percentual de aquênios anormais ou “chochos”, uma vez que a fase de enchimento de aquênios (formação da produção) caracteriza-se por ser um período de forte competição por assimilados entre os próprios aquênios, sendo, portanto, essencial um suprimento hídrico adequado nesta fase, a fim de se assegurar uma homogeneidade entre o conteúdo de fotoassimilados encerrado nos mesmos (UNGARO; NOGUEIRA; NAGAI, 2000). O que é condizente com informações de Amorim *et al.* (2008), ao relatarem que em condições de déficit hídrico, a porcentagem de aquênios normais pode atingir índices próximos a apenas 75%.

Segundo Connor e Hall (1997), restrições na disponibilidade hídrica durante a estação de cultivo podem reduzir o acúmulo de matéria seca nos aquênios e reduzir a massa encerrada nos mesmos. O que vai de encontro com informações relatadas por Hall *et al.* (1985) e Dosio *et al.* (1998) ao discorrerem que o estresse hídrico durante o período de

enchimento de aquênios pode acarretar menor peso de 1000 aquênios e conseqüentemente redução na produção.

Entre os tratamentos que sofreram déficit em dois estádios fenológicos (T4, T6 e T7), a massa de 1.000 aquênios foi reduzida em 20,08; 27,18 e 24,70%, respectivamente, sendo que em relação à T1, o tratamento que sofreu déficit nos estádios vegetativo e formação da produção (T7) apresentou maior redução da massa de 1.000 aquênios em relação ao tratamento sem déficit (T1). O que está de acordo com informações de Sezen *et al.* (2011), ao observarem que quando o déficit hídrico ocorre após a fase vegetativa, durante a floração e as demais etapas do ciclo vital, exerce mais influência sobre as características que são inerentes aos aquênios, em detrimento ao próprio efeito exercido sob o desenvolvimento vegetativo do girassol.

O déficit hídrico imposto apenas no estágio de floração (T3) resultou em decréscimos de apenas 6,57% na massa de 1.000 aquênios, quando comparados a T1, possivelmente, devido também ao intervalo de tempo deste estágio fenológico da cultura nas condições nas quais a pesquisa foi desenvolvida ter sido bastante curto. Os outros tratamentos submetidos ao déficit hídrico em somente um dos estádios fenológicos, T2 (formação da produção) e T5 (estádios vegetativo), tiveram sua massa de 1.000 aquênios restringida em 21,40 e 17,81%, respectivamente, comparando-se com o tratamento que foi conduzido sem déficit durante os três estádios fenológicos (T1).

Segundo Castro e Farias (2005), quando a cultura do girassol é exposta permanente ao déficit hídrico, os prejuízos na produtividade final estão mais associados à redução do número de aquênios cheios por capítulo, do que as próprias conseqüências dos efeitos do déficit sob o peso médio dos 1.000 aquênios. De tal forma que para Guse (2009), a componente de produção massa de 1.000 aquênios nem sempre apresenta relação direta com a produtividade total. O que diverge de Demir *et al.* (2006), ao reportarem que a redução na disponibilidade hídrica do solo durante a estação de crescimento da cultura, especificamente durante a fase de formação da produção, resultou em reduções significativas na massa de 1.000 aquênios, em decorrência da diminuição do intervalo de tempo destinado ao enchimento dos aquênios sob tal situação.

3.1.3 Potencial de produção de aquênios

A comparação de médias para os valores do potencial de produção de aquênios pode ser observada na Figura 8. Dos resultados, constatou-se que os tratamentos T1 e T3 conferiram os maiores potenciais de produção de aquênios, cujos valores foram em média 4.537,90 e 4.420,31 kg ha⁻¹, respectivamente, os quais não diferiram estatisticamente entre si, revelando a importância do adequado suprimento de água nos três estádios do ciclo do girassol estudados, corroborando com os resultados obtidos por Demir *et al.* (2006) e por Sezen *et al.* (2011), onde constataram que o mais elevado rendimento de aquênios de girassol foi obtido no tratamento em que as irrigações foram plenamente realizadas durante os estádios de crescimento, floração e enchimento/maturação dos aquênios.

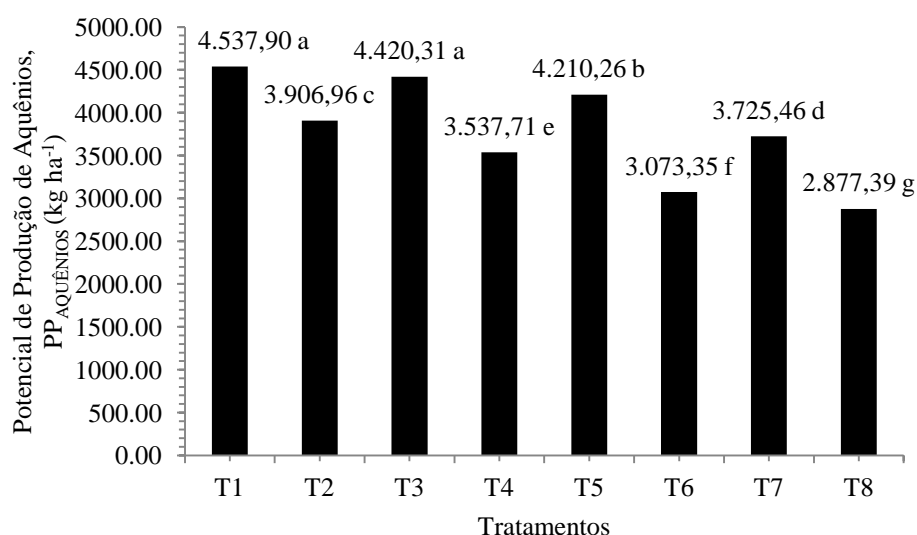


Figura 8 – Potencial de produção de aquênios do girassol (PP_{AQUÊNIOS}), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 139,61100), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

Os máximos potenciais de produção de aquênios de 4.537,90 e 4.420,31 kg ha⁻¹ em T1 e T3, respectivamente, estão entre os mais altos já relatados na literatura sob condições experimentais e aproximam-se dos resultados observados por Göksoy *et al.* (2004), Amabile *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2011), que obtiveram as produtividades de 4.056,00; 4.777,00 e 4.222,76 kg ha⁻¹, respectivamente, para os genótipos Sanbro, BRSG 10 e Catissol 01, respectivamente. Por outro lado, estes valores são superiores aos encontradas por vários autores. A exemplo, estudos desenvolvidos por Oliveira *et al.* (2008) com objetivo de

conhecer o comportamento produtivo de cultivares de girassol em diferentes áreas do Nordeste brasileiro constataram que as médias de produtividade variaram de 1.996,00 a 2.623,00 kg ha⁻¹. Tal comportamento é comum em culturas irrigadas, uma vez que nestas condições as culturas melhor expressam os seus potenciais produtivos (SOUZA, 2007).

A similaridade estatística entre os tratamentos T1 e T3 suscita a possibilidade de se adotar o manejo da irrigação com déficit durante o estágio de floração, no intuito de reduzir o uso de água pela cultura, mantendo a produção de forma satisfatória e equiparada ao tratamento cultivado sem déficit (SAMPAIO, 2010), tendo em vista que o déficit ocorrido apenas neste estágio, não provocou efeito negativo sobre o potencial de produção de aquênios com relação ao tratamento T1, reforçando a hipótese de que o efeito do déficit hídrico sobre a produção das culturas está vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento das plantas (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Estes resultados são também semelhantes aos obtidos por Göksoy *et al.* (2004), ao verificarem que o maior rendimento de aquênios foi obtido a partir do tratamento que não foi submetido ao déficit hídrico durante todo o ciclo, seguido dos tratamentos em que a irrigação foi realizada no início e no final da floração, enquanto o menor rendimento foi obtido no tratamento que não foi irrigado. Estes autores ainda contrastam os presentes resultados, ao afirmarem que em se tratando de irrigação com déficit no girassol, devem ser evitadas reduções na lâmina de irrigação durante o estágio de floração.

Estes resultados ainda contradizem os relatos de Robelin (1967), que destaca a sensibilidade do girassol ao estresse hídrico durante a floração, uma vez que durante essa fase, o capítulo torna-se o principal dreno pelos assimilados. Para o autor, a incidência de déficit nesta época acarreta uma considerável redução na produção de aquênios. Porém, estes resultados, são consistentes, possivelmente, devido à menor duração deste estágio fenológico com relação aos demais (16 dias) e confirmam informações de Kramer (1995), ao afirmar que os efeitos do déficit hídrico sobre a maioria das culturas variam de acordo com sua duração, intensidade e período de ocorrência ao longo do ciclo cultural.

Na sequência, os potenciais de produção de aquênios obtidos nos demais tratamentos, T5 (4.210,26 kg ha⁻¹), T2 (3.906,96 kg ha⁻¹), T7 (3.725,46 kg ha⁻¹), T4 (3.537,71 kg ha⁻¹), T6 (3.073,35 kg ha⁻¹) e T8 (2.877,39 kg ha⁻¹) diferiram estatisticamente entre si, caracterizando assim resposta da cultura a disponibilidade hídrica do solo. Porém, independente do tratamento, todos os potenciais de produção de aquênios superaram a produtividade máxima de 2.500,00 kg ha⁻¹, determinada por CATI (2012), como o limite de produção imposto geneticamente. Todos estes valores ainda superam a média de

produtividade nacional prevista por CONAB (2012) para a safra 2010/2011, que é de 1.256,00 kg ha⁻¹, refletindo a adaptabilidade da cultura e, especificamente da cultivar Multissol, as condições edafoclimáticas e as práticas culturais nas quais a pesquisa foi conduzida. Conforme Dall'Agnol, Vieira e Leite (2005), as baixas produtividades geralmente obtidas nos cultivos brasileiros podem ser justificadas pelo baixo uso de tecnologias na produção, já que o girassol é na maioria dos casos tratado como uma cultura secundária.

Assim, os potenciais de produção de aquênios alcançados em todos os tratamentos condizem com as informações de Unger (1990), quando discorreu que a capacidade da cultura do girassol em manter produtividades relativamente altas em condições de deficiência hídrica é resultado de sua capacidade de extração de água do solo pelas raízes, mesmo que a mesma se encontre retida em baixos potenciais.

Ao se comparar os potenciais de produção de aquênios obtidos nos tratamentos expostos ao déficit hídrico em apenas um estágio fenológico (T2, T3 e T5) com os valores mensurados no tratamento T1, verificou-se que em termos percentuais a restrição de água durante os estádios de formação da produção, floração e vegetativo acarretou na variável em questão reduções de aproximadamente 13,90; 2,59 e 7,22%, respectivamente, sendo que o efeito do déficit hídrico entre estes tratamentos afetou em maior proporção o estágio de formação da produção. O que é condizente com informações de Castiglioni *et al.* (1997), ao verificarem que a falta de água durante esta fase ocasiona problemas no enchimento e na massa de 1.000 aquênios, que irão refletir, conseqüentemente, em redução na produtividade potencial de aquênios. Segundo Castro e Farias (2005), é provável que a incidência de déficit hídrico após o florescimento (formação da produção), quando as folhas já atingiram o seu tamanho máximo proporcione a senescência precoce das mesmas. Segundo estes autores, essa redução no aparato fotossintético decorrente da senescência foliar reduz fortemente a translocação de fotoassimilados para os grãos, restringindo ainda o peso dos mesmos, e conseqüentemente a produtividade final.

O déficit aplicado em dois estádios fenológicos, como nos tratamentos T4, T6 e T7 reduziu o potencial de produção de aquênios em 22,04; 32,27 e 17,90%, respectivamente, em relação ao tratamento T1, sendo que os déficits nos estádios vegetativo e de formação da produção resultaram em um maior comprometimento na produção em relação ao tratamento sem déficit. Estes resultados são condizentes com relatos de Castro *et al.* (2006), quando verificaram que as plantas que sofreram estresse hídrico no enchimento de aquênios (formação da produção) tiveram menor produção de aquênios. A este respeito, Roger-Estrade *et al.* (2003), também salientam que a restrição hídrica durante a formação da produção pode

exercer uma influência muito negativa sobre o rendimento de aquênios, em função da maior susceptibilidade da cultura ao abortamento dos grãos.

A irrigação deficiente durante todo o ciclo (T8) mostrou o menor potencial de produção de aquênios e reduziu em 36,59% esta variável, comparando-se com o tratamento plenamente irrigado durante todo o ciclo (T1). Resultados semelhantes foram obtidos por Sezen *et al.* (2011), ao verificarem que os rendimentos de sementes na cultura do girassol diminuíram com o aumento do nível de estresse hídrico. Segundo estes autores, o rendimento de sementes de girassol variou consideravelmente devido às diferenças no conteúdo de água do solo em resposta à irrigação e as precipitações ocorridas ao longo do período experimental. Também Minuzzi *et al.* (2009), constataram que na cultura da soja o rendimento de sementes foi prejudicado em função do estresse hídrico ocorrido durante a estação de cultivo. Para os autores, sob estresse hídrico não há germinação do grão de pólen ou formação do tubo polínico, com isso, a fertilização do óvulo é impedida e, conseqüentemente, a semente não é formada.

3.1.4 Teor de óleo

O teste de comparação de médias para os valores do teor de óleo dos aquênios nos diferentes tratamentos utilizados pode ser observado na Figura 9.

Pelos resultados, verificou-se que o uso da irrigação de forma adequada durante todo o ciclo da cultura (T1), promoveu os maiores teores de óleo, superando estatisticamente aqueles valores obtidos nos demais tratamentos, com valor médio de 43,18%, seguido do tratamento T3 que também divergiu estatisticamente de todos os demais, cujo valor médio foi de 41,71% (Figura 9).

Na seqüência, os tratamentos T2 e T5 resultaram nos valores de 38,49 e 37,61%, respectivamente, e não diferiram estaticamente entre si, seguidos do tratamento T7, cujo teor de óleo dos aquênios foi de 35,54%, no qual também divergiu estatisticamente dos demais. Por outro lado, o menor teor de óleo nos aquênios foi observado no tratamento caracterizado pela condição de deficiência hídrica nos três estádios fenológicos (T8), onde o valor médio foi de 32,64%. Contudo, a média deste último tratamento também não diferiu daquela obtida nos tratamentos T4 e T6, nos quais os valores foram de 33,51 e 32,46%, respectivamente (Figura 9).

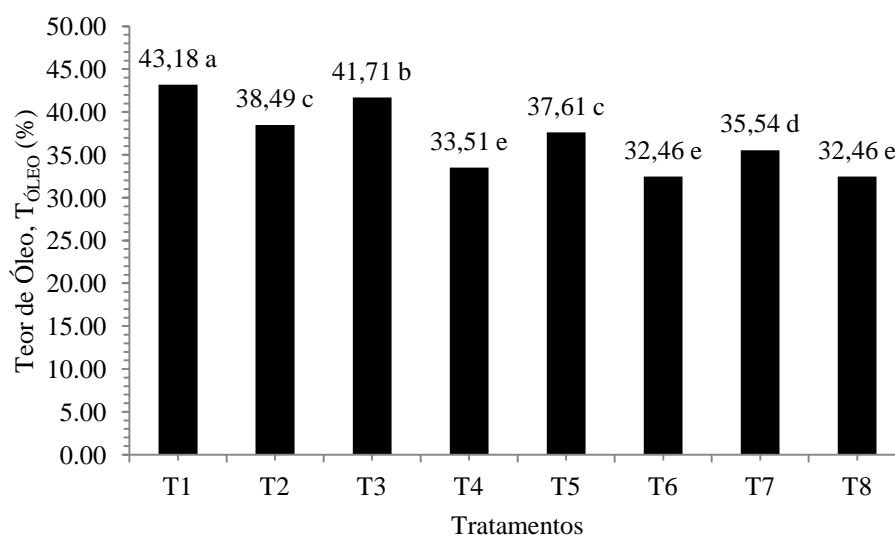


Figura 9 – Teor de óleo dos aquênios do girassol ($T_{\text{ÓLEO}}$), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 1,31571), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

Kakida *et al.* (1981) ressaltam que os aquênios de girassol se caracterizam por possuir um teor de óleo que varia dependendo do genótipo de 30 a 48%. Assim, pelos resultados, constata-se que os presentes valores se adéquam ao referido intervalo, independentemente do tratamento estudado. Tal fato, reforça a hipótese de que o teor de óleo nos aquênios é influenciado por vários fatores, destacando-se além da particularidade genética inerente a cada cultivar, as características ambientais, sobremaneira a deficiência hídrica que por ventura venha a incidir em determinados estádios fenológicos, ao longo do ciclo da cultura (TALHA; OSMAN, 1975). Estes valores estão também dentro da amplitude (30 a 50 %) de valores indicados por CATI (2012) como os esperados para a cultivar de girassol Multissol.

Maia *et al.* (1994) ao estudarem a caracterização química de doze cultivares de girassol no município de Iguatu - CE com uma precipitação pluvial de 510,40 mm durante a condução do experimento observaram que o teor de óleo das mesmas variou de 35,6% a 44,3%, valores estes bastantes similares aos obtidos no presente trabalho. Também Araujo *et al.* (1994) no intuito de avaliar o percentual do óleo dos genótipos de girassol nas condições edafoclimáticas do estado do Ceará verificaram que o teor de óleo oscilou de 35,67 a 44,32%.

Tais resultados, são semelhantes aos obtidos por Flagella *et al.* (2002), que relataram que o uso da irrigação favoreceu a produção de aquênios com um maior percentual de óleo, e por Silva *et al.* (2011), ao verificarem que na medida em que a lâmina de irrigação disponibilizada para a cultura decresceu, ocorreram decréscimos na porcentagem de óleo dos

aquênios, e por Sezen *et al.* (2011) que observaram aumento no conteúdo de óleo, com o aumento da quantidade de água disponibilizada a cultura via irrigação. Por outro lado, esses resultados discordam dos obtidos por Feitosa (2011), Lima (2011) e Silva (2005), que não evidenciaram efeitos significativos da disponibilidade hídrica do solo condicionada também pela aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre esta variável na cultura. Demir *et al.* (2006) e Göksoy *et al.* (2004), também constataram que a percentagem de óleo não foi significativamente afetada pela irrigação plena e com déficit.

Segundo Lobo e Grassi Filho (2007), o conteúdo total de óleo presente nos aquênios de girassol além de ser regido pelos limites impostos pelas características genéticas da cultivar, deriva do balanço entre a deposição de lipídeos, proteínas e outras substâncias. Desse modo, é provável que a maior disponibilidade hídrica tenda a elevar o teor de óleo, justamente por reduzir o teor relativo das demais substâncias que compõem os aquênios de girassol.

De acordo com Merrien e Milan (1992) são a partir dos constituintes da degradação da glicose que se procede a biossíntese do óleo de girassol sob a atividade da enzima Acetil - CoA carboxilase, que conduz a repartição de assimilados disponíveis entre a proteogênese (formação de proteínas) e a lipidogênese (formação do óleo) e nas situações nas quais a energia não é um fator limitante, como no caso de adequado suprimento hídrico, por exemplo, a planta encaminha os assimilados prioritariamente para a produção de óleo, o que pode justificar os incrementos observados para a variável em questão quando as necessidades hídricas da cultura foram plenamente atendidas durante todo o ciclo (T1).

A irrigação deficiente durante todo o ciclo (T8) reduziu em 24,82% o teor de óleo dos aquênios, comparando-se com o tratamento cultivado sem déficit hídrico (T1). O estresse durante a fase vegetativa (T5), de floração (T3) e de formação da produção (T2) reduziram o teor de óleo dos aquênios em 12,89; 3,40 e 10,86%, respectivamente, em relação à testemunha, sendo que a restrição de água durante a fase vegetativa afetou em maior proporção a variável em questão.

É possível que a insignificante duração da fase de floração durante o ciclo cultural (16 dias) tenha contribuído com estes resultados, uma vez que, Marinho (2011) salientam que os efeitos do déficit hídrico sob os vegetais são influenciados pela duração, e pela magnitude do estresse. Tal constatação está em desacordo com informações de Robelin (1967), ao afirmarem que quando o déficit hídrico advém no florescimento, o mesmo acarreta dentre suas consequências reduções no teor de óleo nos aquênios. Contudo, tais resultados vão de

encontro com informações de Castro *et al.* (2006), que verificarem maior teor de óleo no tratamento cultivado com estresse hídrico a partir do início do florescimento.

As condições de déficit em dois estádios, como nos casos dos tratamentos T4 (floração e formação da produção), T6 (vegetativo e formação da produção) e T7 (vegetativo e floração) acarretaram reduções de respectivamente 22,90; 24,81 e 17,68%, no conteúdo de óleo encerrado nos aquênios. Observa-se então, que as fases que apresentaram maior sensibilidade à restrição no suprimento de água, no que se diz respeito ao teor de óleo dos aquênios são o estágio vegetativo e o de formação da produção, visto que o tratamento T6 apresentou maior efeito da penalização por déficit hídrico nesta variável, justamente pelo fato deste tratamento abranger quase que totalmente o ciclo da cultura, o que pode também justificar sua similaridade estatística ao tratamento T8. Tais observações também estão condizentes com informações de Doorenbos e Kassam (1994), ao relatarem que para o teor de óleo, a formação da produção é o período mais sensível ao déficit hídrico.

Segundo Lobo e Grassi Filho (2007), o rendimento de óleo na cultura do girassol é entre as características agronômicas, um parâmetro importante, devido ao seu alto conteúdo, bem como pela sua elevada concentração de ácidos graxos insaturados. No que diz respeito à composição dos ácidos graxos, Flagella *et al.* (2002) observaram que em condições de déficit hídrico ocorre uma diminuição no conteúdo dos ácidos oléicos e esteáricos, e sob irrigação sucede-se um aumento dos ácidos linoléicos e palmíticos.

3.1.5 Teor de proteína

Apresenta-se, na Figura 10, o resultado do teste de médias para os valores dos teores de proteína obtidos nos tratamentos estudados. Dos resultados, verifica-se que não houve influência dos regimes de déficit hídrico sob a variável em questão (Figura 10). O que corrobora com resultados obtidos por Andrade (2000), ao constatar que a disponibilidade hídrica do solo não exerceu influência no teor de proteína dos aquênios de girassol. Porém, estes resultados estão em desacordo com informações de Gomes (2005), quando o mesmo constatou que ocorreu um aumento no teor de proteína nos aquênios de girassol à medida que a suplementação hídrica diminuiu. No entanto, segundo este autor não ocorreram mudanças substanciais nos teores de proteína, independente da cultura ter sido irrigada em suas fases críticas (formação do botão floral e enchimento de aquênios) ou ter sido cultivada sem

suplementação hídrica durante todo o ciclo, o que reforça os resultados da presente pesquisa. Rodríguez *et al.* (2002) também verificaram que o déficit hídrico promoveu uma redução na concentração de proteína nos aquênios de girassol.

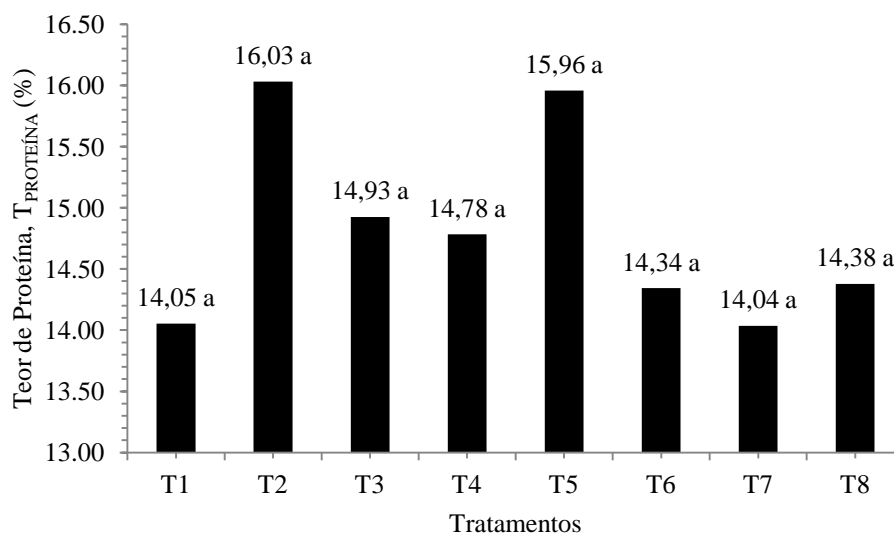


Figura 10 – Teor de proteína dos aquênios do girassol (T_{PROTEÍNA}), cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 3,57816), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

Os valores médios obtidos para os teores de proteína variaram de 14,04 a 16,03% (Figura 10). De acordo com Carrão – Panizzi e Mandarino (2005), em média, a composição química centesimal dos aquênios de girassol apresenta aproximadamente 24% de proteína em base seca. Por outro lado, estes mesmos autores reforçam que esta mesma composição varia amplamente com o genótipo, com as condições edafoclimáticas e nutricionais predominantes durante a estação de cultivo, e com a própria posição ocupada pelo aquênio no capítulo. Portanto, os valores encontrados no presente estudo foram inferiores aos observados por eles e por Sachs *et al.* (2006), que relataram que o teor de proteínas nos aquênios da variedade EMBRAPA 122 V2000 variou de 20,9 a 27,4%. Também Faleiro, Silva Júnior e Silva (2001) informam que em média o teor de proteína registrado foi de 21,9%.

Bittencourt, Sader e Moraes (1990) verificaram que durante o processo de desenvolvimento e maturação dos aquênios de girassol ocorrem flutuações nos teores de proteína. Segundo estes autores, para a cv. ‘IAC-ANHANDY’ os teores de proteína tiveram um valor mínimo de 13,73% aos 33 dias após florescimento (d.a.f.) e máximo de 18,23% aos 54 d.a.f. e para a cv. ‘CONTISOL’, 12,92% aos 16 d.a.f. e 19,42% aos 37 d.a.f.

A aplicação do déficit hídrico não influenciou os teores de proteína nos aquênios de girassol nem mesmo quando esse déficit foi aplicado durante todo o ciclo. Este comportamento não era esperado, pois Gomes (2005) discorreu que no caso de restrição hídrica, na cultura do girassol, os assimilados são orientados para a síntese de produtos que requerem um menor custo energético, como as proteínas. Em contrapartida, de acordo com Costa *et al.* (2008), o déficit hídrico, na tentativa de manter os níveis de água na folha, assim como o balanço osmótico celular, acentua a atividade das enzimas proteolíticas, que quebram as proteínas estocadas nas plantas, e acarretam ainda uma redução na síntese e no acúmulo de proteínas. O que corrobora com Fumis e Pedras (2002), ao relatarem que sob a influência do déficit hídrico, a síntese de proteínas é inibida e a degradação de proteínas é acelerada.

Assim, estes resultados são ainda divergentes dos obtidos por Alahdadi, Oraki e Khajani (2011), ao verificarem que quando a disponibilidade de água diminuiu, ocorre um aumento do teor de proteína e uma diminuição no teor de óleo nos aquênios de todos os híbridos de girassol estudados. Os autores citados informam que nas condições nas quais a cultura foi plenamente irrigada, a mesma apresentou os menores teores de proteína (32,54%), enquanto um leve estresse hídrico resultou em um maior valor percentual (36,77%), porém um intenso déficit de água também diminuiu o teor de proteínas (34,96%).

Albrecht *et al.* (2008) avaliaram a influência da antecipação da época de semeadura na composição química da soja, e verificaram que em virtude da deficiência hídrica decorrente da execução da semeadura em um período caracterizado por um predomínio de precipitações pluviais irregularmente distribuídas no tempo ocorreram distúrbios bioquímicos nas biossínteses de óleo e de proteínas. Segundo estes autores, existe uma correlação negativa entre os conteúdos de óleo e de proteínas, na composição química dos grãos de soja, que pode ser explicada pela concorrência dessas duas vertentes pelos esqueletos carbônicos.

Com estes resultados, pode-se presumir que o fato do aumento do teor de óleo dos aquênios não ter sido acompanhado por uma redução proporcional no teor de proteína destes, independente da presença ou ausência do déficit hídrico ao longo dos distintos estádios fenológicos, indica provavelmente, que houve uma redução de outros componentes nos aquênios que não as proteínas, como por exemplos, os teores de carboidratos ou de resíduos minerais, em favorecimento ao aumento do conteúdo total de óleo encerrado nos aquênios.

A este respeito, Chaves (1991) e Cordeiro (2007) reportam que sob déficit hídrico ocorre um acúmulo ou uma manutenção nos teores de açúcares que pode ser decorrente da restrição à síntese de proteínas e da própria hidrólise das reservas de amido.

3.2 Rendimentos e uso eficiente da água

O resumo das análises das variâncias para os dados do potencial de produção de óleo ($PP_{\text{ÓLEO}}$), potencial de produção de proteína ($PP_{\text{PROTEÍNA}}$), eficiência de uso da água na produção de aquênios ($EUA_{\text{AQÊNIOS}}$), eficiência de uso da água na produção de óleo ($EUA_{\text{ÓLEO}}$) e eficiência do uso da água na produção de proteína ($EUA_{\text{PROTEÍNA}}$) pode ser observado na Tabela 2. Pelos resultados, verificou-se que todas estas variáveis foram significativamente influenciadas pelos tratamentos estudados, em nível de 1% de probabilidade conforme teste F, com exceção da eficiência do uso da água na produção de proteína, na qual seguiu a mesma tendência de variação do teor de proteína dos aquênios, justamente por ser o resultado da combinação entre o potencial de produção de aquênios e o respectivo conteúdo médio de proteína dos mesmos.

Tabela 2 - Resumo das análises das variâncias para os dados de potencial de produção de óleo ($PP_{\text{ÓLEO}}$), potencial de produção de proteína ($PP_{\text{PROTEÍNA}}$), eficiência de uso da água na produção de aquênios ($EUA_{\text{AQÊNIOS}}$), eficiência de uso da água na produção de óleo ($EUA_{\text{ÓLEO}}$) e eficiência do uso da água na produção de proteína ($EUA_{\text{PROTEÍNA}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Pentecoste - CE, 2010².

F.V.	GL	Teste F				
		$PP_{\text{ÓLEO}}$	$PP_{\text{PROTEÍNA}}$	$EUA_{\text{AQÊNIOS}}$	$EUA_{\text{ÓLEO}}$	$EUA_{\text{PROTEÍNA}}$
Blocos	3	0,84 ^{ns}	1,48 ^{ns}	2,37 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,67 ^{ns}
Tratamentos (T)	7	400,12 ^{**}	9,45 ^{**}	13,70 ^{**}	66,00 ^{**}	1,70 ^{ns}
Resíduo (T)	21	-	-	-	-	-
CV - T (%)	31	2,64	11,66	1,64	2,50	11,10

² FV - Fontes de variação; GL - Graus de liberdade; CV - Coeficientes de variação; (**) - Significativo a 1% de probabilidade; (ns) - Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

3.2.1 Potencial de produção de óleo

A comparação de médias para os valores do potencial de produção de óleo pode ser observada na Figura 11. Dos resultados, constatou-se que os tratamentos com as maiores médias para o potencial de produção de aquênios foram também os que conferiram os maiores potenciais de produção de óleo (T1 e T3). No tratamento T1, com irrigação plena durante todo o ciclo, foi registrado o maior valor (1.959,80 kg de óleo ha⁻¹), que diferiu estatisticamente de todos os demais tratamentos, seguido do tratamento T3 (1.843,62 kg de óleo ha⁻¹), o qual exibiu também um valor médio que foi estatisticamente distinto dos valores obtidos nos demais tratamentos.

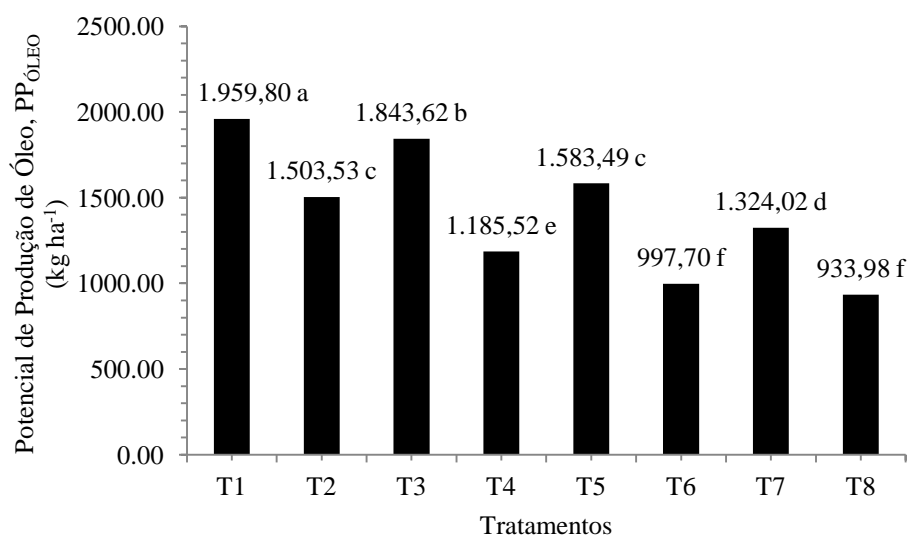


Figura 11 – Potencial de produção de óleo (PP_{ÓLEO}) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais (DMS = 88,88850), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

Estes resultados se assemelham aos obtidos por Silva *et al.* (2007), ao observarem que a produtividade de óleo também seguiu um comportamento semelhante àquele observado para a produção de aquênios. Com estes resultados, os autores concluíram que o fator mais importante para a produção de óleo na cultura do girassol é além do teor inerente da semente, a produção de aquênios. Os autores também corroboram com os presentes resultados ao salientarem que ocorreu um aumento relativo na produtividade de óleo dos aquênios de girassol em função do favorecimento da disponibilidade hídrica do solo condicionado pela aplicação de distintas lâminas de água. No entanto, são divergentes destes resultados os obtidos por Andrade (2000), que trabalhando com lâminas de reposição de água (100% e 50% da ETc) na cultura do girassol não observou efeitos significativos deste fator sobre a produção de óleo nos aquênios.

Entre os tratamentos T5 (1.583,49 kg de óleo ha⁻¹) e T2 (1.503,53 kg de óleo ha⁻¹) não houve diferença estatística, já os tratamentos T7 e T4, tanto diferiram entre si, como também dos demais, e os seus respectivos valores médios foram de 1.324,02 e 1.185,52 kg de óleo ha⁻¹. Entre as médias dos demais tratamentos testados (T6 e T8), cujos valores foram de 997,70 e 933,98 kg de óleo ha⁻¹, respectivamente, não se verificou diferença estatisticamente significativa (Figura 11).

As produtividades potenciais de óleo obtidas em todos os tratamentos foram superiores as médias obtidas por Porto, Carvalho e Pinto (2007), que variou entre 718 e 937

kg de óleo ha⁻¹, em 11 cultivares de girassol avaliadas quanto à adaptabilidade e estabilidade em diferentes ambientes das Regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil.

O estresse hídrico na fase vegetativa (T5) proporcionou uma redução de 19,20% no potencial de produção de óleo em relação à testemunha (T1), já na fase de floração (T3) e de formação da produção (T2) a redução foi de 5,92 e 23,28%, respectivamente, indicando que a restrição de água foi prejudicial para a variável em questão conforme o estágio de desenvolvimento da planta, sendo o dano maior para a insuficiência de irrigação no estágio de formação da produção.

Por outro lado, as plantas irrigadas com déficit durante os estádios vegetativo e de floração (T7), vegetativo e formação da produção (T6), e floração e formação da produção (T4) apresentaram redução de 32,44; 49,09 e 39,50%, em relação à testemunha (T1), sendo que, dentre estas, os efeitos do estresse hídrico foram mais expressivos na fase vegetativa e de formação da produção.

Já o estresse hídrico aplicado em todas as fases fenológicas (T8) ocasionou uma diminuição do potencial de produção de óleo de 52,34%, quando também equiparado ao tratamento que foi continuamente irrigado com a lâmina referente a 100% da ETo durante todo o ciclo (T1).

Sezen *et al.* (2011) comparam os efeitos de diferentes regimes de irrigação nos rendimentos de óleo do girassol e averiguaram acréscimos nesta variável com o aumento da quantidade de água de irrigação. Segundo os autores, os maiores rendimentos médios de óleo (1.778,00 kg ha⁻¹) foram obtidos nos tratamentos em que se procedeu a irrigação com a reposição completa da capacidade de campo durante todo o ciclo.

Desse modo, percebe-se que o potencial de produção de óleo, que é o resultado da combinação entre potencial de produção de aquênios e o conteúdo de óleo dos mesmos, seguiu as mesmas tendências de variação da produtividade de aquênios e de óleo em função dos tratamentos estudados, e que o mesmo foi influenciado pelos mesmos fatores que regem o comportamento dos mesmos de forma isolada, conforme foi anteriormente abordado, o que leva a supor que possivelmente existe uma correlação positiva e significativa entre estas duas características. Sugerindo que este componente (potencial de produção de aquênios) é o que mais influencia no rendimento de óleo no girassol. Motivo pelo qual se deve manejar a cultura, a fim de se obter a máxima produtividade de aquênios, o que inevitavelmente condicionará elevados rendimentos de óleo por unidade de área.

3.2.2 Potencial de produção de proteína

Com relação ao potencial de produção de proteína, na Figura 12, pode ser observada a comparação das médias dos dados nos distintos tratamentos estudados.

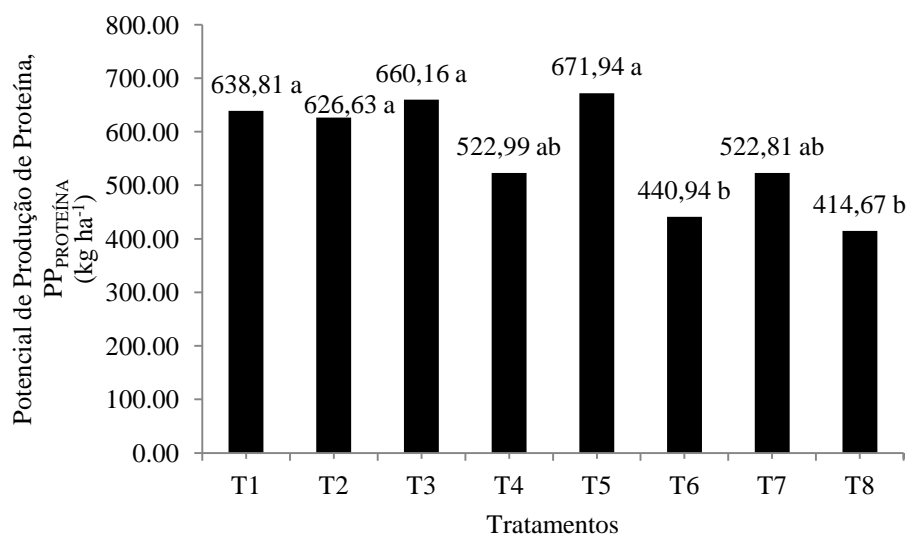


Figura 12 – Potencial de produção de proteína ($PP_{\text{PROTEÍNA}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais ($DMS = 155,61170$), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

Pelos resultados, constatou-se que a exposição da cultura ao déficit hídrico durante a fase vegetativa conferiu o maior potencial de produção de proteína, $671,94 \text{ kg ha}^{-1}$, no tratamento T5. Entretanto, este valor não foi superior estatisticamente aquele obtido no tratamento no qual a cultura foi submetida ao déficit durante a fase de floração (T3), nem tão pouco do valor médio mensurado no tratamento em que não houve restrição no suprimento hídrico da cultura (T1), cujos valores médios foram de $660,16$ e $638,81 \text{ kg de proteína ha}^{-1}$, respectivamente. Em termos percentuais, estes tratamentos tiveram seus potenciais de produção de proteína reduzidos em 1,75 e 4,93%, quando comparados a T5. E por ventura, as médias destes tratamentos ainda não diferiram estatisticamente daquela resultante do tratamento T2, em que a cultura foi conduzida sob déficit durante a formação da produção ($626,63 \text{ kg de proteína ha}^{-1}$), porém inferior em 6,74%, quando confrontada com o máximo valor obtido para esta variável (Figura 12).

A restrição da irrigação nos estádios de floração/formação da produção (T4) e vegetativo/floração (T7) conferiu os potenciais de produção de proteína de $522,99$ e $522,81 \text{ kg}$

ha⁻¹, respectivamente e também não diferiram estatisticamente entre si e nem dos demais (T1, T2, T3 e T5) e as quedas em relação à T5 foram de 22,16 e 22,19%, respectivamente (Figura 12).

As médias destes últimos tratamentos (T4 e T7) também não diferiram daquelas registradas nos tratamentos T6 (déficits nos estádios vegetativo e de formação da produção) e T8 (déficits durante os três estádios fenológicos), que também se assemelharam entre si, e os seus respectivos valores médios foram de 440,94 e 416,67 kg de proteína ha⁻¹, com decréscimos de 34,37 e 38,28%, respectivamente ao serem relacionados com T5.

Apesar de não ter havido diferença estatística entre os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T7, cumpre salientar que ao contrário do que aconteceu com o potencial de produção de óleo, a maior média para a variável em questão não foi obtida naquele tratamento em que se constatarem os maiores potenciais de produção de aquênios, nem de proteína, o que pode ser atribuído à ausência de diferença estatística para a variável teor de proteína frente aos tratamentos avaliados. Com estes resultados, pode-se supor que este comportamento é coerente, uma vez que o potencial de produção de proteína resulta da multiplicação do rendimento de aquênios pelos percentuais de proteína para cada respectivo tratamento. O que é condizente com informações de Kolchinski e Schuch (2004) ao verificarem que na cultura da aveia, os incrementos obtidos na concentração de proteína favoreceram a produção de proteína por unidade de área.

Santos (2009) avaliou os efeitos de três disponibilidades hídricas (cultivo com déficit hídrico nos estádios reprodutivos, cultivo sob condições naturais de campo, e cultivo irrigado durante todo o ciclo) sob o rendimento de proteína em dez cultivares de soja e aferiu que embora o teor de proteína dos grãos tenha sido favorecido pelo déficit hídrico, o potencial de produção de proteínas (rendimento) foi superior nos cultivos sob condições naturais de campo e no irrigado, justamente devido ao maior rendimento de grãos apresentado nestes respectivos tratamentos, em resposta ao incremento na disponibilidade hídrica do solo de forma natural (precipitações) ou artificial (irrigação).

De acordo com este autor, os teores de proteína e os rendimentos estão relacionados ao “fator diluição”, uma vez que nos tratamentos nos quais os rendimentos de grãos foram menores, houve um maior acúmulo de proteína nos mesmos, e quando houve uma maior quantidade de grãos, a tendência foi à maior distribuição entre eles, o que de fato não pode ser comprovado na presente pesquisa, devido à ausência de efeitos significativos dos tratamentos estudados sob o teor de proteína dos aquênios.

3.2.3 Eficiência de uso da água na produção de aquênios

Na Figura 13 se encontram os resultados médios, para os diferentes tratamentos, em relação à variável eficiência do uso de água na produção de aquênios, onde se verificam diferenças estatisticamente significativas decorrentes das implicações causadas pelos déficits hídricos aplicados sobre a capacidade do girassol de reverter o volume de água aplicado em aquênios.

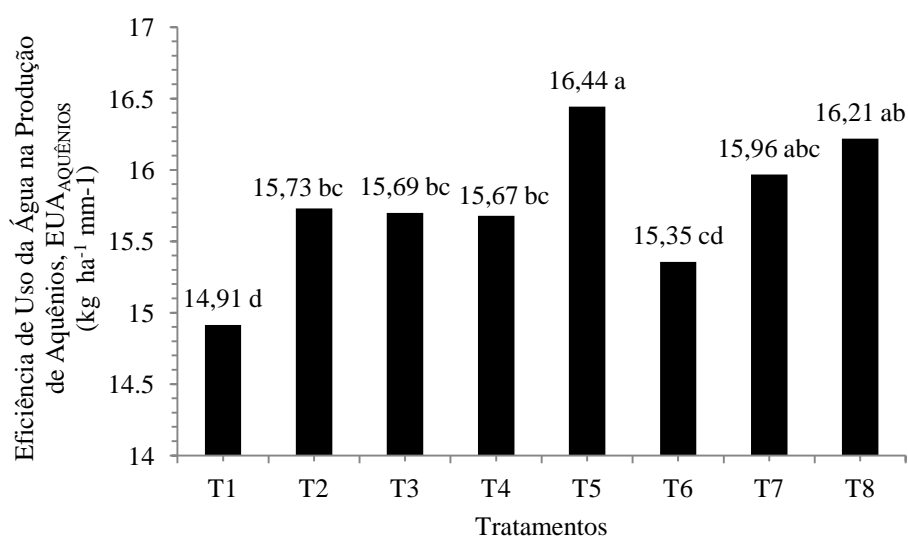


Figura 13 – Eficiência de uso da água na produção de aquênios ($EUA_{AQUÊNIOS}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais ($DMS = 0,61458$), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

De acordo com os resultados de comparação de médias pelo teste de Tukey, é possível observar que a maior eficiência de uso de água na produção de aquênios foi verificada no tratamento em que a cultura foi submetida ao déficit hídrico durante o estágio vegetativo (T5), com valor médio de $16,44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, seguido dos tratamentos T8 (déficit durante todo o ciclo) e T7 (déficits nos estádios vegetativo e de floração), com médias que não diferiram estaticamente entre si de $16,21$ e $15,96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente (Figura 13).

Estes resultados obtidos em T5 estão em consonância com relatos de Doorenbos e Kassam (1994), ao discorrerem que as fases de desenvolvimento da cultura do girassol se distinguem quanto aos requerimentos hídricos, sendo que o consumo de água se eleva proporcionalmente do período vegetativo ao florescimento. Com isso, presume-se que a

redução da lâmina de irrigação durante o estágio vegetativo pode ser uma estratégia adotada em campo, a fim de maximizar a eficiência de uso da água pela cultura.

Por outro lado, a menor eficiência de uso de água na produção de aquênios foi observada com o tratamento plenamente irrigado nos três estádios fenológicos estudados (T1), onde o valor médio foi de $14,91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Contudo, este valor foi similar estatisticamente ao registrado em T6 ($15,35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), que por ventura também foi exposto por um menor intervalo de tempo ao déficit, onde o mesmo sucedeu apenas durante o estágio de floração (Figura 13).

Estes resultados estão em consonância com os obtidos por Albaji *et al.* (2011), que objetivando compreender os efeitos da irrigação plena, da irrigação com déficit regulado e da secagem parcial da zona radicular sobre a eficiência do uso da água na produção de aquênios de girassol, constataram que a máxima eficiência de uso da água foi alcançada nos tratamentos submetidos ao déficit, e que a mínima foi associada ao tratamento no qual o requerimento hídrico foi plenamente atendido.

O déficit aplicado nos estádios de formação da produção (T2), floração (T3) e a partir da floração até o final do ciclo (T4), cujos valores médios foram de 15,73; 15,69 e 15,67 $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente, não tiveram diferenças significativas na variável em questão, mesmo com a alteração nos níveis de água ao longo dos períodos de crescimento (Figura 13). Possivelmente, as limitações hídricas impostas a esses estádios de desenvolvimento não foram suficientes para provocar grandes variações na eficiência de uso da água na produção de aquênios da cultura quando equiparados entre si.

Os decréscimos observados na eficiência de uso da água na produção de aquênios para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T6, T7 e T8, foram de aproximadamente 9,30; 4,33; 4,52; 4,65; 6,61; 2,89 e 1,36%, respectivamente, em relação à T5.

Jana *et al.* (1982), Rawson e Turner (1983) também avaliaram a viabilidade da irrigação com déficit no girassol, a fim de verificar se era possível economizar água de irrigação de forma expressiva e sem acarretar penalidades significativas na produtividade de aquênios e constataram a possibilidade de alcançar o rendimento ótimo da cultura sob as práticas de irrigação com déficit, permitindo até mesmo certo nível de perda de rendimento, porém com retornos mais elevados em termos de maximização de eficiência de uso da mesma, na conversão da fração de interesse econômico.

Diante desses resultados, supõe-se que a cultura certamente seguiu a tendência de favorecer e maximizar a eficiência de uso de água na produção de aquênios sob déficit hídrico em detrimento as práticas tradicionais de manejo da irrigação, sobretudo devido à constatação

de similaridade estatística entre T8 e T5, uma vez que esta variável não aumentou com o volume de água aplicado na irrigação (T1) e nem tão pouco, a maior eficiência de uso de água foi constatada no nível mais alto de déficit água disponível no solo (T8), o que corrobora com as informações de Souza *et al.* (2000) quando mencionam que na maioria das vezes, o aumento da eficiência de uso da água é obtido como consequência do decréscimo da quantidade de água aplicada.

Kirda (2002) discorre que o girassol se mostra como uma cultura apta para as práticas de irrigação com déficit, onde pode ser imposta uma redução da evapotranspiração durante até mesmo todo o período de crescimento sem comprometimento substancial da produtividade.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Sezen *et al.* (2011) que verificaram também maior eficiência de uso da água de irrigação na produção de aquênios quando a cultura do girassol foi irrigada com 50% da capacidade de campo durante todo o ciclo. Para os autores, em situação de escassez de água, esta estratégia de manejo da água de irrigação é a mais aceitável, justamente por maximizar o rendimento de aquênios do girassol por unidade de água aplicada.

Estes resultados são também condizentes com informações de Toureiro, Serralheiro e Oliveira (2007) que conduziram um ensaio para avaliar e caracterizar o comportamento da cultura do girassol conduzido sob três estratégias de gestão da água de irrigação e evidenciaram que quando a irrigação era realizada após a cultura ter consumido 30% do conteúdo de água disponível (maior nível de déficit), a eficiência do uso da água pela cultura foi superior.

Contudo, estes resultados são divergentes dos obtidos por Rodrigues e Pereira (2008), quando constataram que o manejo da irrigação deficitária no girassol não se revelou uma opção tecnicamente favorável a cultura, visto que a economia de água de irrigação não compensou os decréscimos de produção obtidos, pois as diferenças entre as produtividades obtidas com e sem déficit hídrico acabaram não justificando a adoção de um manejo de irrigação com déficit hídrico na cultura.

Segundo Castro e Farias (2005), o girassol mesmo sendo considerado uma espécie vegetal tolerante ao déficit hídrico devido ao seu sistema radicular ser potencialmente capaz de atingir elevadas profundidades, o mesmo é caracterizado por utilizar a água de uma maneira pouco eficiente, uma vez que se relata que cada litro de água consumido pela cultura se converte em menos de 2 g de matéria seca. Todavia, deve-se considerar que os referidos autores sugerem que a cultura apresenta ainda um comportamento incoerente no que se

relaciona à sua baixa eficiência no uso da água, já que em condições de deficiência hídrica a mesma aumenta de maneira bastante considerável, o que reforça ainda mais os resultados obtidos pela presente pesquisa.

3.2.4 Eficiência de uso da água na produção de óleo

A eficiência de uso da água na produção de óleo em função dos tratamentos estudados apresenta-se na Figura 14. Pelos resultados do teste de Tukey, constata-se que esta variável alcançou o valor máximo de $6,54 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, no tratamento de segunda maior lâmina total de água (T3 - déficit na floração), que é estatisticamente similar a $6,44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, inferior a T3 em apenas 1,63%, obtido como média do tratamento plenamente irrigado em toda a estação de cultivo (T1), que por sua vez resultou na máxima quantidade de água aplicada.

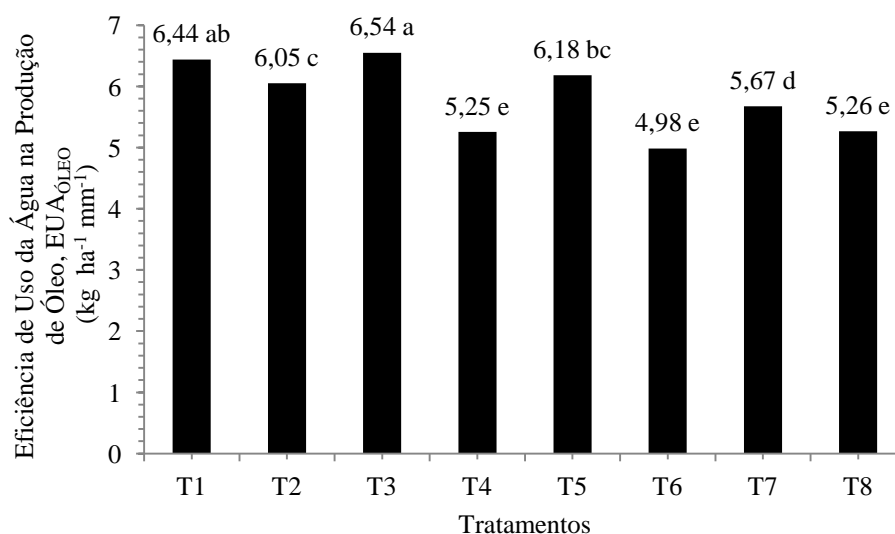


Figura 14 – Eficiência de uso da água na produção de óleo ($EUA_{\text{ÓLEO}}$) do girassol, cv. Multissol, em reposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais ($DMS = 0,34530$), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

Tal comportamento pode indicar que ao contrário do que aconteceu na eficiência de uso da água na produção de aquênios, à medida que as lâminas totais de irrigação aumentaram, ocorreu uma tendência de acréscimo na eficiência do uso de água na produção de óleo. Estes resultados podem ser explicados, levando-se em conta o aumento da

produtividade de aquênios e do teor de óleo dos mesmos das plantas cultivadas nos tratamentos sujeitos aos efeitos do déficit por um menor intervalo de tempo.

Neste sentido, estes resultados, são semelhantes aos obtidos por Barros Junior *et al.* (2008), em pesquisas com as cultivares de mamona BRS-149 e BRS-188, Silva e Beltrão (2000), com a cultivar de amendoim BR 1 e Lacerda (2006) com a cultivar de mamona Paraguaçu que observaram maximização da eficiência de uso de água com o incremento do volume de água aplicado na irrigação, uma vez que as maiores eficiências do uso da água por essas oleaginosas foram obtidas nos tratamentos com nível mais alto de água, ou seja, de uma maneira geral, as plantas apresentaram maior capacidade de reverter o volume de água consumido em produção de interesse econômico, sempre que o conteúdo de água no solo foi aumentando, indicando que as mesmas apresentam sensibilidade em suas respostas à disponibilidade hídrica do solo.

Verificou-se ainda que quando se aplicou o déficit hídrico durante o período vegetativo (T5), a respectiva média de $6,18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, não diferiu estatisticamente daquelas obtidas em T1 e em T2 ($6,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), com decréscimos médios da ordem de 5,55 e 7,55%, respectivamente, ao serem comparadas com T3 (Figura 14).

A ausência de déficit hídrico apenas durante a formação da produção (T7) resultou no valor de $5,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, que diferiu estatisticamente de todos os demais, inferior em 13,33% com relação a T5 (Figura 14).

Com relação aos demais tratamentos (T8, T4 e T6) observou-se que as correspondentes médias ($5,26$; $5,25$ e $4,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) não diferiram estatisticamente entre si e foram estatisticamente inferiores àquelas obtidas em todos os demais (Figura 14). Desta forma, o estresse hídrico nestas respectivas fases proporcionou uma redução de 19,60; 19,76 e 23,87% na eficiência de uso da água na produção de óleo em relação à T3.

Silva (2005) observou influência significativa dos fatores lâminas de água e cultivares para a eficiência com que o total de água aplicada na cultura do girassol converteu-se em produção de óleo. No entanto, estes resultados são divergentes dos obtidos pelo referido autor que verificou que os tratamentos mais sujeitos ao déficit hídrico promoveram uma maior eficiência do uso da água na produção de óleo quando comparados com os tratamentos nos quais se aplicou as maiores lâminas de irrigação.

De um modo geral, independente do tratamento, a média dos valores de eficiência de uso da água na produção de óleo se situou em torno de $5,80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, portanto, pode-se afirmar que estes valores são inferiores aos citados por Silva (2005) que relata eficiência de uso da água na produção de óleo de 1,72 e $1,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, para as cultivares H250 e H251,

respectivamente. Tal comportamento pode ser explicado, ao menos parcialmente, levando-se em conta a existência da variabilidade genética entre os genótipos de girassol para as características de interesse agrônomo (AMORIM *et al.*, 2008). É provável ainda que o manejo cultural aplicado, bem como, as condições ambientais predominantes durante a condução do experimento também tenham contribuído com a obtenção destes favoráveis resultados.

Para Aiken e Lamm (2012), o limite superior de eficiência de uso da água em oleaginosas, como o girassol, por exemplo, é provavelmente determinado pelas próprias características que são inerentes ao metabolismo do tipo C₃, que regula a fixação de CO₂ nestas espécies, bem como pelos elevados requerimentos energéticos que são exigidos para a biossíntese de óleo durante os processos de metabolismo de lipídeos. Segundo estes autores, a maximização da eficiência de uso da água nas oleaginosas pode ser alcançada quando o gerenciamento do abastecimento de água é realizado com o objetivo de minimizar as perdas por evaporação durante o crescimento vegetativo, e quando também se assegura um suprimento hídrico adequado durante os estádios de floração e enchimento das sementes.

3.2.5 Eficiência de uso da água na produção de proteína

Os valores da eficiência no uso da água na produção de proteína para cada respectivo tratamento estão dispostos na Figura 15. Verificou-se, com base nos resultados do teste de Tukey, que ao contrário da eficiência de uso da água na produção de aquênios, os valores médios da variável em questão não variaram de forma estatisticamente significativa com os tratamentos estudados, sendo que as médias se situaram dentro do intervalo compreendido entre 2,09 e 2,62 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Tais resultados sugerem que a irrigação plena e com déficit em diferentes estádios fenológicos do girassol não se traduziu em um uso diferenciado de água pela cultura ao que se relaciona a produção de proteína, visto que a eficiência de uso da água na produção de proteína não foi afetada pelo déficit hídrico, independente do estágio de desenvolvimento no qual o mesmo foi imposto. Tal fato, também pode ser explicado em decorrência da ausência da constatação de efeito estatisticamente significativo da variável teor de proteína diante dos tratamentos nos quais a cultura foi submetida, uma vez que apenas a variação isolada do

potencial de produção de proteína não foi suficiente para provocar mudanças substanciais nesta variável.

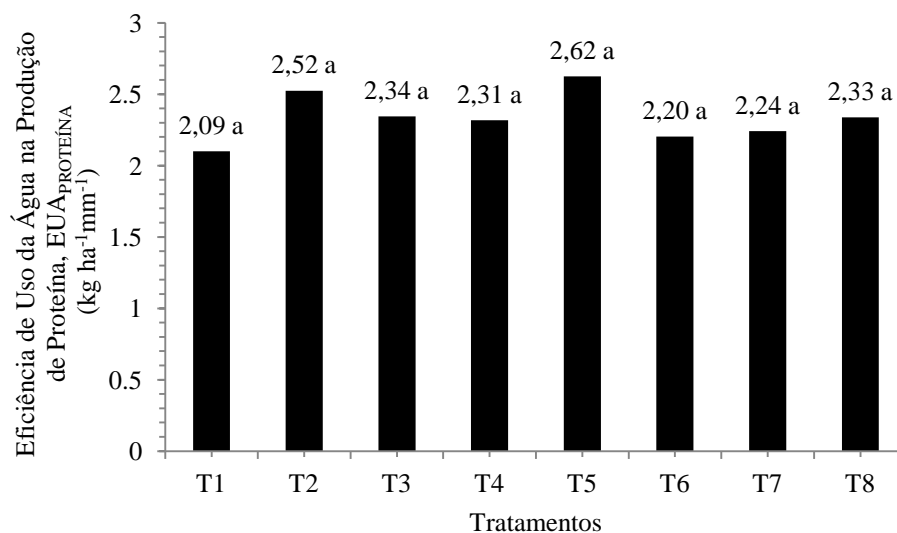


Figura 15 – Eficiência de uso da água na produção de proteína ($EUA_{PROTEÍNA}$) do girassol, cv. Multissol, em resposta a irrigação plena e a regimes de déficit hídrico em seus diferentes estádios de desenvolvimento. As médias seguidas por letras iguais ($DMS = 0,61527$), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Pentecoste – CE, 2010.

Desta forma, estes resultados podem ser considerados consistentes e confirmam informações de Santos e Carlesso (1998), ao afirmarem que a diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos que estão relacionados ao crescimento, ao desenvolvimento e a produtividade dos vegetais, enquanto que outros são relativamente insensíveis.

4 CONCLUSÕES

Foram observadas modificações no diâmetro dos capítulos, na massa de mil aquênios, no teor de óleo dos aquênios, no potencial de produção de aquênios, óleo e proteína, e na eficiência de uso da água na produção de aquênios e óleo nos déficits hídricos aplicados.

O teor de proteína dos aquênios e a eficiência de uso da água na produção de proteína se mostraram insensíveis ao déficit hídrico.

Tanto os componentes de produção, como os rendimentos tenderam a diminuir gradualmente com a redução do fornecimento de água à cultura ao longo dos estádios fenológicos estudados.

O estágio de formação da produção foi o mais sensível ao déficit hídrico, ocorrido apenas neste. A deficiência hídrica aplicada sequencialmente nos estádios vegetativo e formação da produção e, quando aplicada nos três estádios, provocou uma redução acentuada na produtividade de aquênios em relação à testemunha.

A estratégia de manejo da irrigação com déficit durante os estádios vegetativo e de floração do girassol contribuiu para a obtenção de um potencial de produção de aquênios na cultura em um nível equiparado ao alcançado no cultivo sem déficit hídrico durante toda a estação de crescimento.

Independentemente da fase fenológica, o déficit hídrico exerceu efeito benéfico na eficiência de uso da água na produção de aquênios.

A incidência de déficit hídrico durante o estágio de floração foi mais vantajosa para a eficiência de uso da água na produção de óleo do que em qualquer outra fase, e não influenciou a eficiência de uso da água na produção de proteína, independentemente da etapa fenológica em que esse ocorreu.

Em situação de escassez de água, pode-se adotar a estratégia de irrigação com déficit no nível de 50% da E_{To} , durante a fase de floração ou vegetativa, a fim de se ter um menor comprometimento dos rendimentos e da qualidade da final da produção do girassol.

REFERÊNCIAS

- AIKEN, R.; LAMM, F. **Water use of oilseed crops**. Disponível em: < http://www.ksre.ksu.edu/pr_irrigate/OOW/P11/Aiken11.pdf>. Acesso em 14. jan. 2012.
- ALAHDADI, I.; ORAKI, H.; KHAJANI, F. P. Effect of water stress on yield and yield components of sunflower hybrids. **African Journal of Biotechnology**, Istanbul/Turquia, v. 10, n.34, p. 6504-6509, Jul., 2011.
- ALBAJI, M. *et al.* Water productivity and water use efficiency of sunflower under conventional and limited irrigation. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Romênia, v. 9, n.1, p. 202-209, 2011.
- ALBRECHT, L. P. *et al.* Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Revista Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.865-873, 2008.
- AMABILE, R. F. *et al.* Comportamento de genótipos de girassol sob irrigação no Cerrado. *In*: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO GIRASSOL, 17. ; SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 5., 2007, Uberaba. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 201-204. (Embrapa Soja. Documentos, 292).
- AMORIM, E. P. *et al.* Correlações e análise de trilha em girassol. **Revista Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.307-316, 2008.
- ANDRADE, S. J. **Efeito de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. 2000. 94 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- ARAÚJO, C. N. *et al.* Caracterização do óleo das sementes de doze genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) obtidos sob condições climáticas do estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 6, p. 901-906, jun.. 1994.
- BARROS JUNIOR, G. *et al.* Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.350-355, 2008.
- BITTENCOURT, J. F. N.; SADER, R.; MORAES, R. M. de. Variação dos teores de proteína, óleo e ácidos oléico e linoléico durante a maturação de sementes de girassol. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 12, n.3, p. 76-88, 1990.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: 1992. 356 p.
- BRASIL. Ministério da Integração. **Pano nacional de recursos hídricos**. Disponível em: < http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=c37feae3-8169-4049-900b-e8160661f541&groupId=66920 > Acesso em: 07 nov. 2011.

BRIGHENTI, A. M. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do girassol. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.2, p.251-257, 2004.

CARRÃO – PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G. Produtos protéicos do girassol. *In:* LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M. ; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.4. p. 51 – 68.

CASTIGLIONI, V. B. R. *et al.* **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: EMBRAPA CNPSo, 1997. 24 p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 58).

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. F. Ecofisiologia do girassol. *In:* LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.9. p. 163 - 218.

CASTRO, C. *et al.* Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 30, n. 2, p. 214-220, mar.-abr., 2006.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Girassol Multissol**. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_produtos/SementesMudas/cultivares/GIRASSOL-MULTISSOL.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2012.

CETIOM. Physiologie de la formation du rendement chez le tournesol. **Information Techniques**, v.83, p.3-72. 1983.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 234, p. 1-16, 1991.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas: girassol**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&ordem=produto&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 6 jan., 2012.

CONNOR, J. D. ; HALL, A. J. Sunflower physiology. *In:* SCHNEIDER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1997. p. 113-181. (Series of monographs, 35).

CORDEIRO, Y. E. M. **Aspectos biofísicos e bioquímicos de plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*/ King) sob dois regimes hídricos**. 2007. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

COSTA, D. M. **Estudo da secagem infravermelho de sementes de girassol**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Tiradentes, Aracaju, 2010.

COSTA, R. C. L. *et al.* Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.)Walp. Cultivars under water stress. **Journal of Agronomy**, Praga, v.7, n.1, p. 98-101, 2008.

DALL'AGNOL, A.; VIEIRA, O. V.; LEITE, R. M. V. B. C. Origem e histórico do girassol. *In*: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.1. p. 1 – 14.

DEMIR, A. *et al.* Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. **Irrigation Science**, Co Kildare, Ireland, v. 24, p. 279 – 289, 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOSIO, G. A. A. *et al.* Efecto de cortos períodos de reducción de la radiación incidente sobre los componentes del rendimiento en aceite en las plantas de girasol. *In*: REUNIÓN NACIONAL DE FISILOGIA VEGETAL, 22., Mar del Plata, **Resúmenes...** Mar del Plata, 1998. p.162-163.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de produção - Girassol**. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaogirassol>>. Acesso em: 6 janeiro 2012.

FALEIRO, H. T.; SILVA JÚNIOR, R. P.; SILVA, L. F. Caracterização de grãos de girassol (*Helianthus annuus* L.) ao longo do período de colheita em dois municípios do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.31, n.2, p.163-168, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistical Databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

FEITOSA, D. R. C. **Comportamento do girassol no Vale do Curu, Ceará, sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio**. 2011. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FLAGELLA, Z. *et al.* Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. **European Journal of Agronomy**, Toulouse, France, v.17, n.1, p. 221–230, 2002.

FRANK, J.; SZABO, L. A. **A napraforgó *Helianthus annuus*, L.** Budapest: Akadémiai Kiadó, 1989. 178 p.

FUMIS, T. F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetido a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.449-453, 2002.

GÖKSOY, A.T. *et al.* Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 87, p. 167-178, May, 2004.

GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. Influência da suplementação hídrica na altura de planta, diâmetro de capítulo, peso de sementes e produção de grãos. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GIRASSOL, 3.; REUNIÃO NACIONAL DA CULTURA DE GIRASSOL, 15., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: CATI, 2003. CD-ROM.

GOMES, E. M. **Parâmetros básicos para a irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2005. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GUSE, F. I. **Produtividade, severidade de mancha de alternaria e deficiência hídrica em diferentes épocas de semeadura do girassol em Santa Maria – RS**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

HALL, A.J. *et al.* Timing of water stress effects on yield components in sunflower. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GIRASOL, 11., 1985, Mar del Plata. **Actas...** Mar del Plata: ASAGIR/ISA, 1985. t.1, p. 131-136, 1985.

JAIN, K.K.; VAISH, D. *et al.* Studies on hollow seednes in sunflower. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 8., Minneapolis, USA, 1978. **Annals...** International Sunflower Association, 1978. p.138-147.

JANA, P. K. ; MISRA, B. ; KAR, P.K. Effects of irrigation at different physiological stages of growth on yield attributes, yield, consumptive use, and water use efficiency of sunflower. **Indian Agriculturist**, Calcuta, v.26, p. 39-42, 1982.

KAKIDA, J. *et al.* Cultivares de girassol. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 7, n. 82, p. 76-78, 1981.

KARAM, F. *et al.* Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, Bushland, v.90, p.213–223, 2007.

KARAMI, E. Effect of irrigation and plant population on yield and yield components of sunflower. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 47, p. 15 – 17, 1977.

KIRDA, C. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Deficit irrigation practices**. Corporate Document Repository 22. 1 ed. Rome, 2002. cap. 1, p. 3-10.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. Relações entre a adubação nitrogenada e a qualidade de grãos e de sementes em aveia branca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, mar - abr, 2004.

KRAMER, P.J. **Plant and soil water relationships. A modern synthesis**. New Delhi: McGraw-hill, 1995. 482p.

LACERDA, R. D. de. **Resposta da mamoneira BRS 188 - Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

- LIMA, A. D. **Interação entre lâminas de irrigação e coberturas do solo, e adubação borácica na cultura do girassol**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2011.
- LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, Temuco, v. 7, p. 16 - 25, 2007.
- MAIA, G. A. *et al.* Composição química de doze cultivares de girassol obtidas sob condições climáticas do estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1.273-1280, ago. 1994.
- MARINHO, L. B. Irrigação **plena e com déficit em pimenta cv. Tabasco em ambiente protegido**. 2011. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- MELLO, R. *et al.* Características fenológicas, produtivas e qualitativas de híbridos de girassol em diferentes épocas de semeadura para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v.35, n.3, p.672 - 682, 2006.
- MERRIEN, A.; MILAN M. J. **Physiologie du Tournesol**. Paris: Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains, 1992. p. 21-27.
- MINUZZI, A. *et al.* Rendimento, teores de óleo e proteínas de quatro cultivares de soja, produzidas em dois locais no estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 04, p. 1047-1054, 2009.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Innsbruck , v.25, p.239 - 250, 2002.
- OLIVEIRA, I. R. *et al.* Comportamento de Cultivares de Girassol no Agreste e Tabuleiros Costeiros do Nordeste Brasileiro na Safra de 2007. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROBIENERGIA; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS, 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de biocombustíveis e bioenergia, 2008. 1 CD- ROM.
- PARAÍBA. Universidade Federal de Campina Grande. **Assistat - Assistência Estatística, V - 7.6 beta**. Campina Grande, PB, 2011. Disponível para download em <<http://www.assistat.com/indformp.html>>. Acesso em: 14 jan. 2012.
- PORTO, W.S.; CARVALHO, C. G. P.; PINTO, R. J. B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.491-499, 2007.
- RAWSON, H. M.; TURNER, N.C. Irrigation timing and relationship between leaf area and yield in sunflower. **Irrigation Science**, Co Kildare, v.4, p. 167-175, 1983.
- ROBELIN, M. Action et arrière-action de la sécheresse sur la croissance et la production du tournesol. **Annales Agronomiques**, Paris, v. 18, n. 6, p. 579-599, 1967.

RODRIGUES, G.; PEREIRA, L.S. Avaliação dos impactos económicos da rega deficitária no perímetro de rega da Vigia. **Revista Ecosistemas**, Madrid, v.17, n.1, p. 86-106, Enero, 2008.

RODRÍGUEZ, D. J. *et al.* Characterization of Proteins from Sunflower Leaves and Seeds: Relationship of Biomass and Seed Yield. *In*: JANICK, J. ; WIPKEY, A. (Ed.). **Trends in New Crops and New Uses**. Alexandria: ASHS Press , 2002 . p. 143-149.

ROGER-ESTRADE, J. *et al.* Le tournesol. *In*: **Éléments pour la conduite des principales grandes cultures et prairies**. Paris, Institut Nationale Agronomique Paris Grignon, Departement AGER, 2003. 21p.

SACHS, L. G. *et al.* Efeito de NPK na produtividade e componentes químicos do girassol. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 533-546, out./dez., 2006.

SAMPAIO, A. H. R. **Irrigação com déficit hídrico e eficiência do uso de água em Lima ácida “Tahiti” no semiárido baiano**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010.

SANTOS, E. L. **Desempenho de cultivares de soja sob déficit hídrico**. 2009. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

SANTOS, E. R. *et al.* Efeito de épocas de semeadura sobre cultivares de girassol, no Sul do Estado do Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 199-206, jan-mar, 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SECKLER, D. *et al.* **World water demand and supply, 1990 to 2025: scenarios and Issues**. New York: International Water Management Institute, 1998. 41p. (Research Report 19).

SEZEN, S.M. *et al.* Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. **Agricultural Water Management**, Bushland, v. 98, p. 1153 –1161, 2011.

SILVA, A. R. A. *et al.* Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 57-64, jan./mar., 2011.

SILVA, D. J. ; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 235p.

SILVA, H. P. *et al.* Momento ideal para a colheita do girassol em função da coloração do dorso dos capítulos. **Revista Agrarian**, Dourados, v.2, n.4, p.41-48, abr./jun., 2009.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. de M. Incremento de fitomassa e produtividade do amendoineiro em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.4, n.2, p.111-121, 2000.

SILVA, M. de L. O. e. **Aplicações de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. 2005. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SILVA, M. L. O. *et al.* Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.482 – 488, 2007.

SMIDERLE, O. J. ; MOURÃO JUNIOR., M. ; GIANLUPPI, D. Avaliação de cultivares de girassol em savana de Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 3, p. 331-336, 2005.

SOUZA, A. dos S. **Manejo cultural da mamoneira: época de plantio, irrigação, espaçamento e competição de cultivares**. 2007. 211f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUSA, V. F. *et al.* Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.183-188, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2010. 819 p.

TALHA, M. ; OSMAN, F. Effect of soil water stress on water economy and oil composition in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.84, p.49-56, 1975.

TOUREIRO, C. M. ; SERRALHEIRO, R. P. ; OLIVEIRA, M. **Economia de água com rega deficitária, uma aproximação ao conceito de água útil para rega**. Disponível em: <http://www.us.es/ciberico/archivos_word/178b.doc>. Acesso em 14 jan. 2012.

TOUREIRO, C. M.; SERRALHEIRO, R. P.; OLIVEIRA, M. R. Resposta das culturas do girassol e do milho a diferentes cenários de rega deficitária. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.30, p.33-47, jan., 2007.

UNGARO, M. R. G.; NOGUEIRA, S. S.S.; NAGAI, V. Parâmetros fisiológicos, produção de aquênios e fitomassa de girassol em diferentes épocas de cultivo. **Revista Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.205 - 211, 2000.

UNGER, P. W. Sunflower. *In*: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 775-794. (Agronomy, 30).

VIEIRA, O. V. **Ponto de maturação ideal para colheita do girassol visando alta qualidade da semente**. 79 f. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia/ Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CAPÍTULO 4

COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE AO DÉFICIT HÍDRICO PARA A CULTURA DO GIRASSOL NAS CONDIÇÕES DO SEMIÁRIDO CEARENSE

RESUMO

Com o objetivo de determinar os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) da cultura do girassol nos estádios isolados e no ciclo total da cultura para as condições do semiárido cearense, um experimento de campo foi conduzido no município de Pentecoste, Ceará. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e oito tratamentos, definidos em função da época de indução do déficit hídrico nos três estádios fenológicos do girassol (vegetativo, floração e formação da produção), correspondendo à ocorrência de déficit hídrico em um, dois ou três estádios. O déficit correspondeu à aplicação da metade da lâmina de irrigação do tratamento sem déficit hídrico. Os valores de K_Y foram obtidos através da relação entre a queda de rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração relativa, conforme o método de Doorenbos e Kassam (1994). As evapotranspirações (potencial e da cultura) foram calculadas pelo método do balanço hídrico no solo. Os resultados mostraram que, a sensibilidade ao déficit hídrico variou na seguinte ordem decrescente: formação da produção, vegetativo e floração, para déficit aplicado em apenas um estágio fenológico. Para as condições de déficit em dois estádios, o coeficiente K_Y indicou que a insuficiência de água exerce maior impacto sobre o rendimento de aquênios do girassol quando ocorre simultaneamente nos estádios vegetativo e de formação da produção. Como os valores de K_Y foram todos inferiores a 1, conclui-se que a cultura do girassol demonstrou uma baixa sensibilidade aos déficits hídricos aplicados na pesquisa.

Palavras - chave: *Helianthus annuus* L. Agrometeorologia. K_Y . Balanço hídrico. Evapotranspiração.

CHAPTER 4**WATER DEFICIT SENSITIVITY COEFFICIENTS FOR THE SUNFLOWER CULTURE IN THE CEARA SEMIARID CONDITIONS**

ABSTRACT

Aiming at determining the sunflower culture water stress (K_Y) sensitivity coefficients in individual stages and at the entire crop cycle for the conditions of the Ceara semiarid, a field experiment was conducted in the municipality of Pentecoste, Ceara (BR). The experimental design was that of randomized blocks with four replications and eight treatments, defined as a function of the time of induction of water deficit in the three sunflower phenological stages (vegetative, flowering and production formation), corresponding to the occurrence of water deficit in one, two or three stages. The water deficit irrigation level was half the applied water level corresponding to full irrigation. K_Y values were obtained through the relationship between the fall of relative income and the relative evapotranspiration deficit, according to the method of Doorenbos and Kassam (1994). The evapotranspirations (potential and culture) were calculated using the soil water balance method. The results showed that the water stress sensitivity varied in the following order: production formation, vegetative and flowering, for water deficit applied to only one developmental stage. For the deficit conditions in two stages, the coefficient K_Y showed that the lack of water has the greatest impact on sunflower achene yield when it occurs in the stages vegetative and production formation. Since the values of K_Y were all lower than 1, it is concluded that the sunflower culture showed a low sensitivity to the water deficits studied in this research.

Keywords: *Helianthus annuus* L. Agrometeorology. K_Y . Water balance. Evapotranspiration.

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma alternativa que visa aumento da produtividade das culturas, porém, apenas com um planejamento racional desta atividade, baseado em um projeto bem elaborado, é que os benefícios advindos desta prática poderão ser de fato obtidos. Neste sentido, com o aumento gradativo das áreas cultivadas, e a escassez de recursos hídricos e energéticos torna-se necessário aprimorar o manejo da irrigação visando uma melhor alocação do recurso água, do qual depende substancialmente a agricultura, buscando-se consolidar uma produção cada vez mais eficiente e rentável (LOPES *et al.*, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2011).

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a ausência de um programa de manejo tem sido a principal causa de insucesso da agricultura irrigada, uma vez que as práticas irrigatórias em uso são na maioria das vezes, baseadas em costumes herdados ou em conveniências particulares, acarretando dentre as consequências uma baixa eficiência na utilização da água na agricultura irrigada.

Dentre as estratégias propostas para maximizar este uso eficiente da água, destaca-se o emprego da estratégia de manejo da irrigação com déficit hídrico em estádios específicos de desenvolvimento da cultura que se mostram menos sensíveis, podendo-se então reduzir a lâmina de água aplicada, economizando água, acarretando mínimos efeitos sobre a produtividade, mantendo a mesma em um patamar satisfatório (MIORINI; SAAD; MENEGALE, 2011). Além disso, a água economizada pelo manejo da irrigação com déficit pode ser usada para irrigar outras áreas e/ou culturas. Com isso, os custos de oportunidade da água, podem ser largamente compensados pela perda econômica, devido à redução de rendimento consequente da restrição hídrica (ALI *et al.*, 2007).

No entanto, para subsidiar a apropriação da tecnologia do emprego da irrigação com déficit por parte dos produtores rurais torna-se necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das variações nas diferentes quantidades de água fornecida, dentro das mais distintas condições edafoclimáticas, a fim de identificar as fases de desenvolvimento que se caracterizam por um consumo menos intenso de água, e os períodos críticos, quando a sua falta ou insuficiência leva as maiores perdas de rendimento (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Dada a complexidade entre as relações encontradas entre cultura, clima, água e solo no âmbito da análise dos efeitos da água sob os rendimentos da cultura, Doorenbos e Kassam (1994), em FAO 33, propuseram uma metodologia que objetiva solucionar esta problemática, mediante o emprego de um reduzido número de informações que segundo os

autores, consegue integrar de forma sintetizada os processos biológicos, fisiológicos, físicos e químicos que regem a relação entre os rendimentos da cultura e o uso da água.

O procedimento desenvolvido pelos referidos autores tem seu fundamento baseado no modelo de função de produção que foi desenvolvido por Stewart *et al.* (1977), no qual presume que a produtividade e a evapotranspiração são consideradas em termos relativos com respeito a seus valores máximos. Assim, o efeito da falta de água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade potencial, ocorrida durante o ciclo da cultura é quantificado mediante a determinação do coeficiente K_Y , que é considerado uma medida da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico. No entanto, a principal modificação realizada por Doorenbos e Kassam (1994) em relação ao modelo original é o fato de que eles consideraram que um déficit hídrico de certa magnitude, expresso pela relação entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração da cultura pode ocorrer tanto de forma contínua durante todo o período de crescimento da cultura, como durante qualquer uma das fases específicas do crescimento, daí a importância do conhecimento dos coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y), nestas respectivas fases, a fim de gerenciar a programação da irrigação deficitária.

Os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico são também de grande utilidade nas pesquisas de modelagem agrometeorológica de previsão dos rendimentos dos cultivos, permitindo interpretar as variações de rendimento entre anos e regiões distintas, bem como a realização do zoneamento agrícola e a determinação das épocas de semeadura que se mostram menos vulneráveis aos riscos por déficit hídrico no cultivo de sequeiro (MARIN *et al.*, 2006).

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) vem ganhando importância no Brasil devido principalmente ao seu potencial de adaptação às mais diversas condições edafoclimáticas, e à sua aptidão para a produção de matéria prima para a indústria alimentícia e do biodiesel (GOMES *et al.*, 2010). Porém, pouco se sabe sobre os efeitos do déficit hídrico durante os diferentes estádios fenológicos da cultura do girassol nas condições do semiárido brasileiro. Muito embora a FAO apresente, no Boletim 33, os valores de K_Y desta cultura obtidos através da avaliação de resultados de pesquisas, Kaboosi e Kaveh (2010) enfatizam que os mesmos devem, preferencialmente, ser determinados para as condições locais nas quais serão eventualmente utilizados, devido, principalmente, à particularidade dos fatores ambientais que lhes são relacionados. Diante do exposto, objetivou-se, com este trabalho determinar os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) da cultura do girassol nos estádios isolados e no ciclo total da cultura para as condições do semiárido cearense, usando-se o modelo sugerido por Doorenbos e Kassam (1994).

2 MATERIAL E MÉTODOS

As seções abaixo listadas encontram-se descritas nas respectivas páginas do Capítulos 1.

SEÇÕES	Página
2.1 Localização e caracterização ambiental da área experimental	56
2.1.1 Caracterização climática da região	57
2.1.2 Caracterização do solo	58
2.2 Material vegetal	59
2.3 Delineamento experimental e tratamentos	60
2.4 Instalação e condução da cultura	63
2.4.1. Preparo da área	63
2.4.2 Adubação de fundação	63
2.4.3 Semeadura e desbaste	64
2.5 Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação	64
2.6 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários	69

2.7 Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y)

Para o cálculo dos coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do girassol (K_Y) foi utilizada a equação 1, descrita por Doorenbos e Kassam (1994), que quantifica a relação entre a redução do rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração.

$$K_Y = \frac{[1 - (Y_R Y_M^{-1})]}{[1 - (ETc ETpc^{-1})]} \quad (1)$$

em que,

K_Y - Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do girassol;

Y_R - Potencial de produção de aquênios dos tratamentos submetidos ao déficit hídrico (T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8) (kg ha^{-1});

Y_M - Potencial de produção de aquênios do tratamento que não sofreu déficit hídrico (T1) (kg ha^{-1});

ETc - Evapotranspiração da cultura acumulada no período de déficit hídrico (mm período^{-1});

ETPc - Evapotranspiração potencial da cultura acumulada no tratamento que não sofreu déficit hídrico, no mesmo período da ETc acumulada nos tratamentos sob déficit hídrico (mm período^{-1}).

2.7.1 Potencial de produção de aquênios

Este parâmetro foi mensurado conforme o método descrito na seção 2.8.1.3 Potencial de produção de aquênios (página 114) do Capítulo 3.

2.7.2 Evapotranspiração potencial da cultura e evapotranspiração da cultura

Para a estimativa das evapotranspirações (potencial da cultura e da cultura), empregou-se o método do balanço hídrico no solo com uma cultura agrícola, que tem fundamento básico na lei da conservação das massas, e é definido por Libardi (2005), como a

contabilização das entradas e saídas de água num dado volume de controle de solo, durante certo período de tempo (Figura 1).

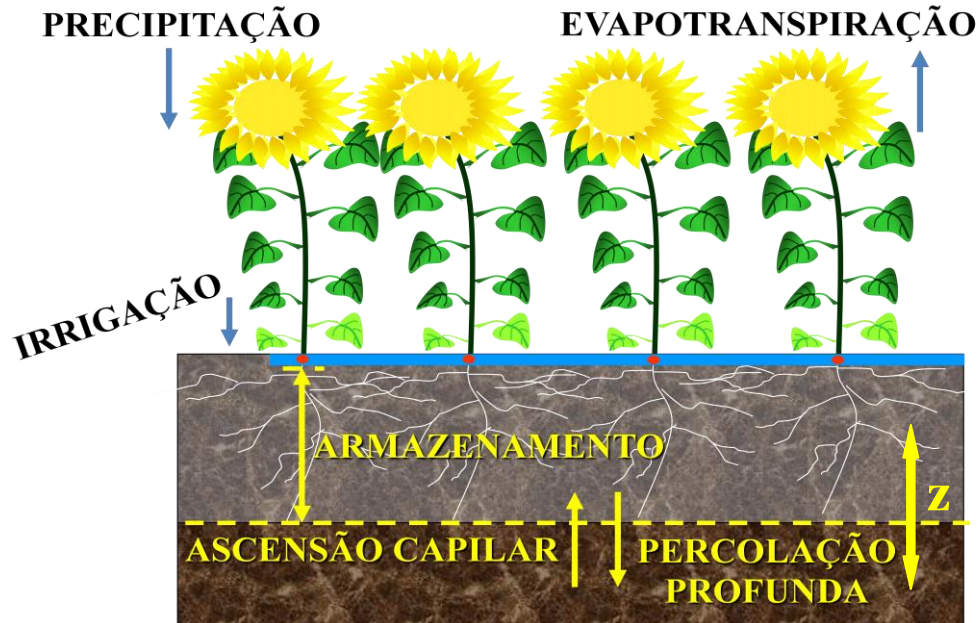


Figura 1 – Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico no solo com a cultura do girassol. Pentecoste – CE, 2010.

Reichardt e Timm (2004) descrevem a equação que define o balanço hídrico no solo com uma cultura agrícola de uma maneira simplificada, conforme é explicitando na equação 2.

$$P + I - ET \pm Q_z + ES = \pm \Delta h \quad (2)$$

P - Precipitação natural (mm);

I - Irrigação (mm);

ET - Evapotranspiração potencial da cultura ou da cultura (mm);

Q_z - Percolação profunda, quando é negativo ou ascensão capilar quando positivo (mm);

ES - Escoamento superficial, que entra (+) ou sai (-) (mm);

Δh - Variação da armazenagem da água do solo na camada de profundidade de 0 - z para o intervalo de tempo considerado do balanço.

A equação 2 é comumente utilizada para efeito de balanço hídrico, porém para seu uso em solos cultivados é necessário considerar uma profundidade do volume de solo em estudo, para as determinações dos componentes do balanço hídrico que corresponde à profundidade efetiva do sistema radicular. No caso em questão, a profundidade considerada foi de 0,40 m, uma vez que segundo Castro e Farias (2005), as raízes do girassol

desenvolvem-se principalmente nos primeiros 0,40 m de profundidade. As evapotranspirações foram então calculadas para o período compreendido entre os 21 e os 103 DAS.

2.7.2.1 Determinação dos componentes do balanço hídrico no solo

Como não houve registros de precipitação natural para os períodos nos quais o balanço hídrico foi realizado, este componente foi desprezado. As lâminas de irrigação aplicadas foram definidas em função dos respectivos tratamentos, conforme a metodologia que foi descrita na seção 2.5 Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação (página 64) do Capítulo 1. Para a estimativa da percolação profunda ou ascensão capilar, e para o cálculo da variação da armazenagem de água foram instalados três tensiômetros de punção da marca SONDATERRA[®] a $\frac{1}{2}$ da extensão da linha útil de plantas de duas das repetições (blocos), entre duas plantas úteis nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m (Figura 2 A).

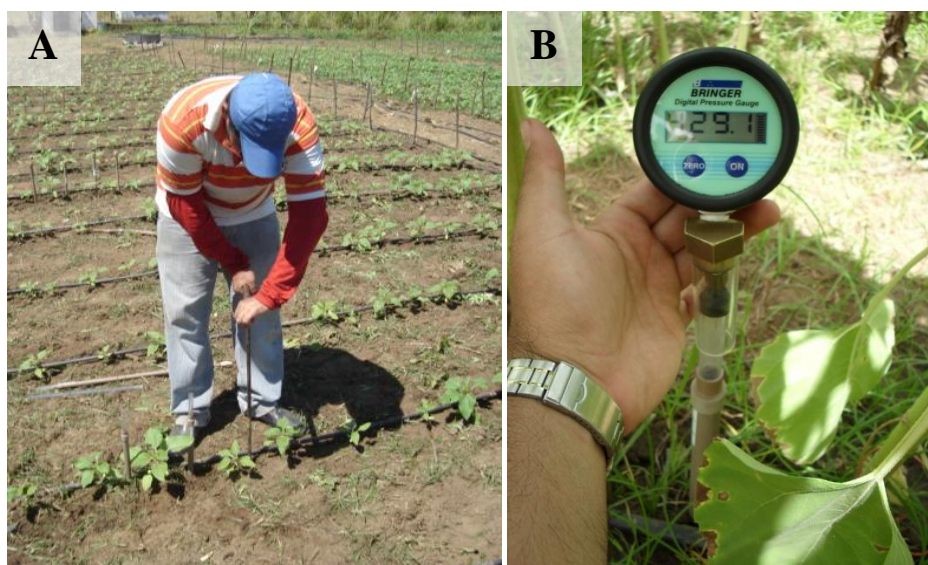


Figura 2 – Instalação dos tensiômetros de punção (A) e aferição das leituras (B). Pentecoste – CE, 2010.

As aferições das leituras destes tensiômetros foram realizadas diariamente, ao longo de todo o período no qual o balanço foi realizado, entre as 7 e 8 horas da manhã, auxiliado por um tensímetro digital também fabricado pela SONDATERRA[®] (Figura 2 B).

A fim de proceder à confecção das curvas características de água no solo, objetivando realizar a transformação dos potenciais matriciais registrados nos tensiômetros de punção em umidade volumétrica durante o desenvolvimento das etapas de cálculo que são

pertinentes ao balanço hídrico no solo, coletaram-se amostras indeformadas de solo em cilindros do tipo Uhland nas profundidades de 0,10, 0,30 e 0,50 m (Figura 3 A e B).

Tais amostras, foram devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, onde foram submetidas às tensões de 2, 20, 40, 60, 100, 330, 1.000, 5.000 e 15. 000 cm.c.a em placa de Haines, e em câmara de pressão de Richards (Figura 3), conforme método descrito em Libardi (2005). De posse dos valores de umidade da base de volume (θ , $m^3 m^{-3}$) e potencial matricial da água no solo (Ψ_m , cm.c.a) foram obtidos os parâmetros α , n e m da equação de Van Genuchten (1980), através do o software Soil Water Retention Curve – SWRC, v 3.0 β (DOURADO NETO *et al.*, 2001), cujos valores são apresentados na Tabela 1.

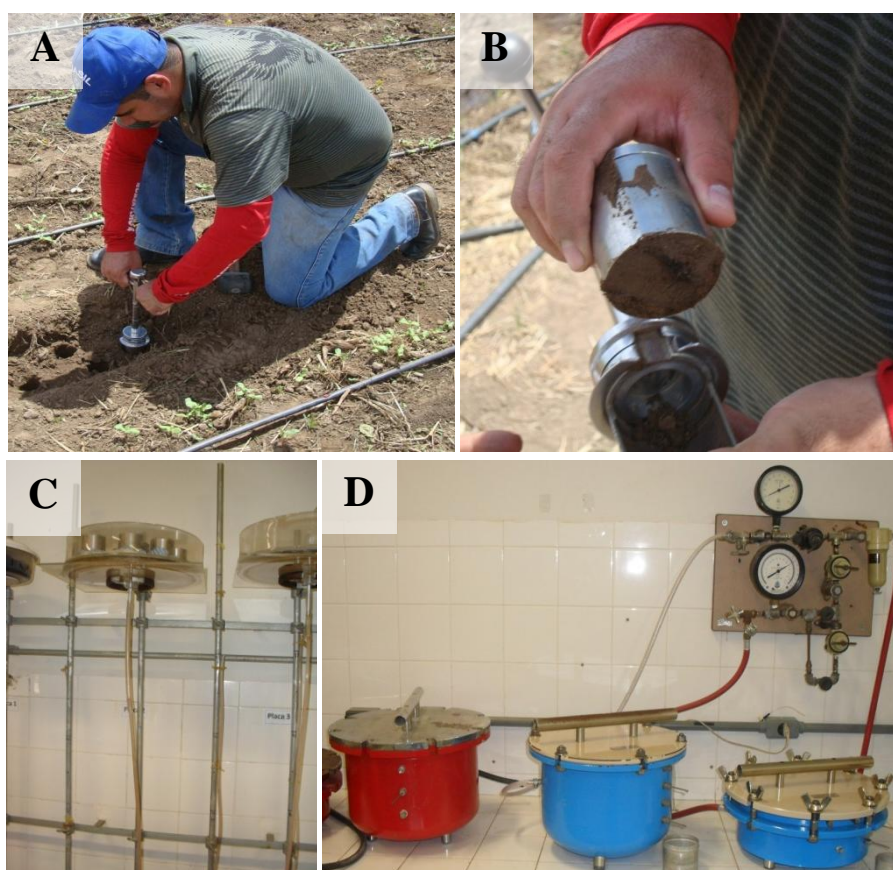


Figura 3 – Coletas das amostras indeformadas de solo (A e B), placa de Haines (C) e sistemas de câmara de Richards (D) durante a aplicação das tensões nas amostras de solo em laboratório. Pentecoste – CE, 2010.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros α , n , m , θ_r (umidade residual), θ_s (umidade de saturação) da equação de Van Genuchten (1980) nas profundidades 0,1; 0,3 e 0,5 m, do solo da área experimental. Pentecoste - CE, 2010¹.

Profundidade (m)	α (cm^{-1})	m	n	θ_r ($m^3 m^{-3}$)	θ_s ($m^3 m^{-3}$)
0,1	0,0170	0,3915	1,1747	0,0960	0,4520
0,2	0,0303	0,1998	2,4769	0,0770	0,3990
0,3	0,0352	0,1835	3,1211	0,0740	0,4190

¹ Parâmetros α , n e m obtidos através do o software Soil Water Retention Curve – SWRC, versão 3.0 beta.

A expressão matemática do modelo de Van Genuchten (1980) que faz a transformação do potencial matricial que era lido nos tensiômetros em unidade volumétrica está explicitada na equação 3.

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

em que,

θ_a - Umidade real do solo com base em volume ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_r - Umidade residual do solo em volume ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

θ_s - Umidade de saturação do solo em volume ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

Ψ_m - Potencial mátrico da água no solo (cm.c.a)

α , n e m - Parâmetros empíricos do modelo matemático.

Na Figura 4 apresenta-se a representação gráfica das curvas características de água no solo da área experimental.

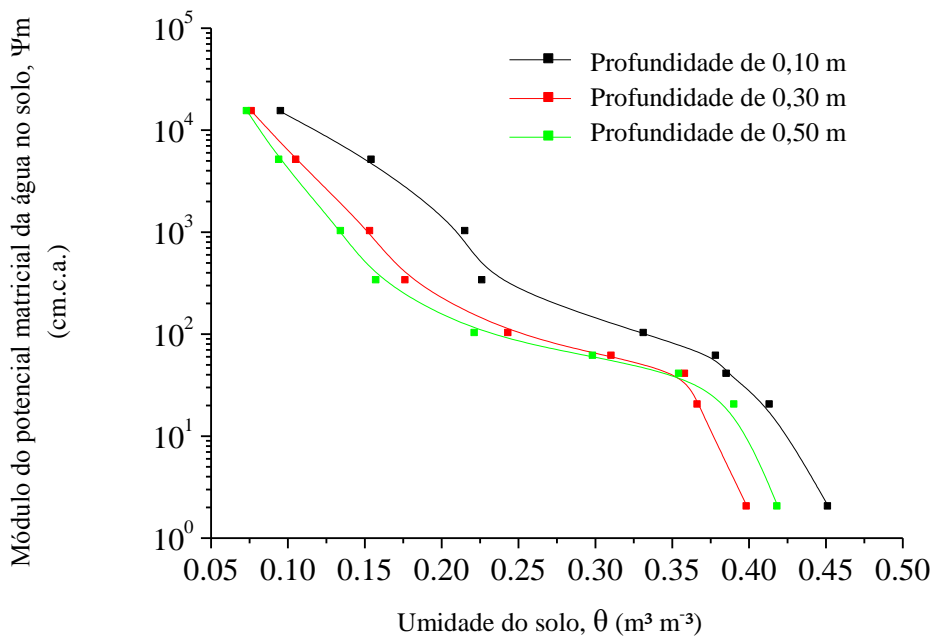


Figura 4 - Curvas características de água no solo da área experimental para as profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m. Pentecoste - CE, 2010.

De posse dos valores dos potenciais matriciais e totais e das respectivas umidades volumétricas calculou-se então a percolação profunda ou a ascensão capilar da água do solo para a profundidade $z = 0,40$ m, através da equação proposta por Buckingham – Darcy, escrita de uma maneira simplificada por Reichardt (1985), conforme a equação 4:

$$Q_z = -K(\theta) \cdot \frac{\Delta\Psi_t}{\Delta z} \quad (4)$$

em que,

Q_z - Percolação ou ascensão capilar;

$K(\theta)$ - Condutividade hidráulica em relação ao valor da umidade do solo;

$\frac{\Delta\Psi_t}{\Delta z}$ - Gradiente do potencial total da água no solo na profundidade Z .

Escrevendo a equação acima, para a direção vertical, na profundidade $z = 0,40$ m, tem-se a equação 5:

$$Q_z = -K(\theta)_{40} \left\{ \frac{\Psi_t^{30} - \Psi_t^{50}}{20} \right\}_{40} \quad (5)$$

em que,

$K(\theta)_{40}$ - Condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo θ na profundidade 0,40 m (mm dia^{-1});

$\left\{ \frac{\Psi_t^{30} - \Psi_t^{50}}{20} \right\}_{40}$ - Gradiente de potencial total da água do solo para $z = 0,40$ m (m.c.a);

em que,

Ψ_t^{30} - Potencial total da água do solo a 0,30 m (m.c.a.);

Ψ_t^{50} - Potencial total da água do solo a 0,50 m (m.c.a).

Os valores de $K(\theta)_{40}$ foram determinados a partir da equação 6, que define a condutividade hidráulica do solo da área experimental à 0,40 m, que foi obtida por Silva e Bezerra (2009), através da aplicação do método de Hillel, Krentos e Stylianov (1972), modificado por Saunders (1978).

$$K(\theta)_{40} = 7 \cdot 10^{-9} e^{45,942\theta} \quad (6)$$

em que,

$K(\theta)_{40}$ - Condutividade hidráulica do solo na profundidade 0,40 m (mm dia^{-1});

θ - Umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

A variação da armazenagem da água do solo para os intervalos de tempo considerados no balanço, para a profundidade estudada foi obtida pela equação 7, desenvolvida por Reichardt (1985):

$$\Delta h = (\bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_2) z \quad (7)$$

em que,

$\bar{\theta}_1$ - Umidade média do perfil até $z = 0,40$ m, no dia da irrigação ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

$\bar{\theta}_2$ - Umidade média do perfil até $z = 0,40$ m, no dia da irrigação anterior ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

z - Profundidade adotada para o balanço ($z = 0,40$ m).

Nas condições em que o presente trabalho foi conduzido, o componente escoamento superficial (ES) não foi considerado, visto que a área onde o experimento foi conduzido pode ser considerada plana.

A componente evapotranspiração é a incógnita da equação do balanço hídrico. Explicitando a equação, tem-se a equação 8.

$$ET = I \pm Q_z - (\pm \Delta h) \quad (8)$$

em que,

ET - Evapotranspiração potencial da cultura ou da cultura (mm período^{-1});

I - Irrigação do período (mm período^{-1});

$\pm Q_z$ - Percolação ou ascensão capilar (mm período^{-1});

Δh - Variação da armazenagem (mm período^{-1}).

Para as condições nas quais a pesquisa foi conduzida, a componente evapotranspiração (ET) é conceituada como evapotranspiração potencial da cultura (ETPc), aquela obtida no Tratamento 1, e evapotranspiração da cultura (ETc) aquela obtida nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico nas diversas fases fenológicas da cultura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios dos parâmetros que compõem os cálculos dos coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y), levando-se em consideração os rendimentos de aquênios e os respectivos resultados para cada tratamento no qual a cultura do girassol foi submetida ao longo de seus estádios fenológicos.

Tabela 2 – Potencial de produção de aquênios dos tratamentos submetidos ao déficit hídrico (T2, T3, T4, T5, T6 e T7) (Y_R), potencial de produção de aquênios do tratamento que não sofreu déficit hídrico (Y_M), razão entre os potenciais de produção de aquênios ($Y_R Y_M^{-1}$), déficit de produtividade [$1 - (Y_R Y_M^{-1})$], evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração potencial da cultura (ETpc), razão entre as evapotranspirações da cultura e a potencial (ETc ETpc⁻¹), déficit de evapotranspiração [$1 - (ETc ETpc^{-1})$] e coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do girassol (K_Y). Pentecoste – CE, 2010².

Parâmetros	Tratamentos						
	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
YR (kg ha ⁻¹)	3.906,96	4.420,31	3.537,71	4.210,26	3.073,35	3.725,46	2.877,39
YM (kg ha ⁻¹)	4.537,90	4.537,90	4.537,90	4.537,90	4.537,90	4.537,90	4.537,90
$Y_R Y_M^{-1}$	0,8609	0,974	0,7795	0,9277	0,6772	0,8209	0,634
[1 - ($Y_R Y_M^{-1}$)]	0,139	0,0259	0,2204	0,0722	0,3227	0,179	0,3659
ETc (mm período ⁻¹)	42,42	22,73	65,15	48,23	90,65	70,96	113,38
ETpc (mm período ⁻¹)	112,05	84,51	196,56	124,44	236,49	208,95	321,00
ETc ETpc ⁻¹	0,3785	0,269	0,3314	0,3876	0,3833	0,3396	0,3532
[1 - (ETc ETpc ⁻¹)]	0,6215	0,731	0,6686	0,6124	0,6167	0,6604	0,6468
K_Y	0,22	0,04	0,33	0,12	0,52	0,27	0,57

² ETc - Valores da evapotranspiração da cultura acumulada no período de déficit hídrico; ETpc - Valores da evapotranspiração potencial da cultura acumulada no tratamento 1, no mesmo período da ETc acumulada nos tratamentos sob déficit hídrico.

A amplitude de variação observada de K_Y considerando os rendimentos de aquênios foi de 0,04 até 0,57. Analisando os valores médios de K_Y dos tratamentos T2, T3 e T5, que foram submetidos a déficit hídrico em apenas um estágio fenológico, observa-se que a redução relativa do rendimento de aquênios da cultura do girassol foi mais acentuada no estágio de formação da produção (T2) com $K_Y = 0,22$, uma vez que de acordo com Doorenbos e Kassam (1994), em condições de irrigação deficitária, a cultura sofrerá maior efeito do déficit sob a perda de rendimento, quanto maior for o valor de K_Y apresentado para cada respectivo estágio fenológico (Tabela 2).

Verifica-se ainda na Tabela 2 que dentre os tratamentos T3 e T5, nos quais os déficits de irrigação aconteceram nos estádios de floração e vegetativo, respectivamente, que a restrição de água teve maior impacto sobre o rendimento de aquênios quando ocorreu no

estádio vegetativo ($K_Y = 0,12$) e exerceu o mínimo efeito sobre o potencial de produção de aquênios da cultura, quando incidu isoladamente durante o estágio de floração, apresentando valores praticamente nulos, com um valor médio de K_Y de apenas 0,04. Como o início da imposição do déficit hídrico na presente pesquisa se deu apenas aos 21 dias após a semeadura, não se pode afirmar de fato qual seria o real efeito que o déficit hídrico exerceria sobre o valor de K_Y , caso o mesmo fosse aplicado a partir da fase de germinação.

Os resultados obtidos neste trabalho contradizem, de certa maneira, os relatos de Doorenbos e Kassam (1994), ao informarem que, de uma maneira geral, ao se analisar as consequências do déficit hídrico em estádios fenológicos específicos das culturas agrícolas, esperam-se um menor decréscimo no rendimento relativo para o período correspondente à fase vegetativa e de formação da produção, e em contrapartida, as maiores reduções na produtividade devem ser relativamente superiores para o caso de escassez hídrica no estágio de floração.

Tal comportamento pode ser explicado levando-se em conta a menor duração cronológica do estágio de floração (16 dias), quando equiparado ao demais (vegetativo: 52 dias; formação da produção: 42 dias) dentro da escala de identificação das fases de desenvolvimento proposta por Schneiter e Miller (1981), que foi adotada na presente pesquisa como critério de separação temporal dos estádios fenológicos, fato que resultou em um período de exposição ao déficit hídrico relativamente curto para o estágio de floração, quando equiparado aos demais nas condições nas quais a pesquisa foi conduzida. O que é condizente com informações de Castro e Farias (2005), ao mencionarem que a perda de produtividade, em função da exposição da cultura ao déficit hídrico na cultura do girassol varia principalmente em função do estágio fenológico das plantas e do tempo de exposição das mesmas ao déficit hídrico.

Tais valores, quando comparados com os citados por Doorenbos e Kassam (1994) apresentaram consideráveis diferenças, uma vez que estes autores obtiveram na floração $K_Y = 1$, enquanto se obteve $K_Y = 0,04$ no presente estudo. Os outros dois estádios também apresentaram discrepâncias: formação da produção ($K_Y = 0,80$ para Doorenbos e Kassam, contra $K_Y = 0,22$) e vegetativo ($K_Y = 0,62$ para Doorenbos e Kassam, contra $K_Y = 0,12$, para o presente estudo).

Cordeiro *et al.* (1998) também constataram diferenças entre os valores que foram determinados para a cultura do feijão-caupi nas condições do litoral cearense e aqueles que são listados por Doorenbos e Kassam (1994) e sugerem que estas alterações podem estar relacionadas às próprias condições edafoclimáticas locais, bem como a adequada adaptação

da cultura as condições semiáridas, que é refletida na inferioridade dos valores de K_Y na presente condição, em comparação com os que são citados pela FAO. Todavia, deve-se considerar que segundo estes autores, as divergências existentes entre os valores de K_Y podem resultar dos próprios erros experimentais e das variações climáticas e de solos, que de forma conjugada definem o nível de evapotranspiração de uma determinada cultura em certa condição de suprimento hídrico. Os referidos autores ainda ressaltam que a literatura não dispõe de valores de K_Y que possam ser considerados como padrão de referência para fins comparativos, mas apenas se julga que a confiabilidade dos valores de K_Y reportados pela FAO, é similar aquela que é resultante da análise dos resultados experimentais conduzidos em condições de campo.

De forma semelhante, Freitas, Bezerra e Fontenelle (1999), também evidenciaram desigualdades entre os valores de K_Y encontrada nos estádios de desenvolvimento da melancia no município de Canindé – CE, em relação aos valores apresentado pela FAO e justificaram que estas dessemelhanças são decorrentes do genótipo e da própria separação temporal das fases fenológicas da cultura utilizados em sua investigação, o que reforça os resultados alcançados, tendo em vista que a escala fenológica proposta pela FAO, diverge daquela adotada na presente pesquisa, pois Dooreboos e Kassam (1994) dividiram a temporada total de crescimento do girassol em quatro estádios (vegetativo inicial e final, floração e formação da colheita), enquanto neste ensaio, apenas em três.

Estes resultados estão, portanto, em consonância com relatos de Kaboosi e Kaveh (2010), que enfatizam que ao empregar os valores dos coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) estimados para outros locais, é necessário atentar tanto para o número, bem como a própria definição dos estádios de crescimento da cultura em questão, uma vez que, as aplicações dos coeficientes K_Y nas estimativas dos rendimentos relativos podem resultar em erros, quando os mesmos são utilizados para outros locais, bem como em situações nas quais os estádios de desenvolvimento da cultura são subdivididos em diferentes números de fases, acarretando assim modificação na duração das mesmas ao longo da estação de cultivo.

Dentre os valores dos coeficientes de sensibilidade K_Y obtidos nos tratamentos sujeitos ao déficit hídrico em mais de um estágio fenológico (T4, T6, T7 e T8), constatou-se que o tratamento T8, o qual foi submetido à deficiência hídrica durante todo o ciclo da cultura conferiu o maior valor de K_Y (0,57).

Nos tratamentos cultivados com déficit em dois estádios fenológicos (T4, T6, T7), os valores de K_Y foram de 0,33; 0,52 e 0,27, respectivamente, sendo que o maior dos valores deu-se no tratamento T6, caracterizado por estar vulnerável a implicação do déficit hídrico

nos estádios vegetativo e de formação da produção, o que era esperado, tendo em vista que este referido tratamento praticamente contempla todo o ciclo cultural, exceto apenas o estádio de menor duração (floração). Assim, presumi-se que o impacto do déficit hídrico nesses estádios é maior que nos estádios de floração e de formação da produção ($K_Y = 0,33$), ou vegetativo e floração ($K_Y = 0,27$).

De acordo com Doorenbos e Kassam (1994), quando os valores de K_Y são inferiores a 1, isto denota que a cultura ou o estádio fenológico considerado, pode ser considerado resistente à deficiência hídrica, de tal forma que os decréscimos dos rendimentos são relativamente inferiores à restrição relativa de água na qual a cultura foi submetida. Em contrapartida, quando os valores de K_Y são superiores a 1, infere-se que a cultura ou o estádio fenológico em análise se demonstra vulnerável aos efeitos da escassez hídrica, uma vez que as reduções de rendimentos se mostram relativamente superiores à restrição relativa de água na qual a cultura foi submetida. Finalmente, quando os valores de K_Y se igualam a 1, considera-se que a situação é intermediária, pois os decréscimos dos rendimentos são relativamente equivalentes às restrições relativas de água nas quais a cultura foi exposta durante a temporada total, ou estádio específico de desenvolvimento.

Dentro da escala proposta pelos referidos autores, no que se relaciona a sensibilidade ao déficit hídrico às culturas ou os estádios fenológicos podem ainda ser classificadas função dos valores de K_Y apresentados em de baixa sensibilidade ($K_Y < 0,85$); de baixa/média sensibilidade ($0,85 < K_Y < 1,00$); de média/alta sensibilidade ($1,00 < K_Y < 1,15$) e de alta sensibilidade ($K_Y > 1,15$). Desta forma, os resultados da presente pesquisa apontam que a cultura do girassol demonstrou uma baixa sensibilidade ao nível de déficit hídrico adotado, no que se relaciona ao potencial de produção de aquênios, independente do estádio de desenvolvimento, considerando todas as condições nas quais o ensaio foi conduzido.

Assim, podem-se fazer restrições no suprimento hídrico da cultura do girassol de forma estratégica com o nível de déficit hídrico de 50% da E_{To} em todos os estádios fenológicos da cultura, considerando as premissas do modelo proposta pela FAO, tendo em vista que todos os valores de K_Y foram inferiores a 1.

Erdem e Delibas (2003) também determinaram os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura do girassol em condições semiáridas na Turquia e averiguaram que todos os valores de K_Y mensurados foram inferiores a 1, indicando também baixa sensibilidade ao déficit hídrico, sendo os valores de 0,28 para o estádio vegetativo, 0,67 para o estádio de floração e 0,40 para a fase de formação

da produção. Constatou-se, portanto, que apenas os resultados de K_Y mensurados durante o estágio vegetativo são semelhantes aos obtidos na presente pesquisa. Estes resultados ainda divergem das conclusões dos referidos autores que apontam o período de floração, como o mais sensível ao déficit hídrico dentre os outros períodos analisados.

Demir *et al.* (2006) ao avaliar os coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_Y) do girassol submetido à irrigação plena e a treze distintas estratégias de manejo da irrigação com déficit na cultura do girassol em uma condição subúmida na Turquia também verificaram que independente do estágio de desenvolvimento, todos os valores de K_Y se mostraram inferiores a 1, e ao contrário do que se constatou no presente trabalho, em alguns estádios do desenvolvimento nos quais o déficit foi aplicado individualmente, foram encontrados valores de K_Y superiores aqueles computados quando se aplicou o déficit durante toda estação de cultivo, de tal forma que os valores foram de 0,91; 0,90; 0,89 e 0,83 para as fases vegetativa, floração, formação da produção e para todo o ciclo, respectivamente.

De forma semelhante, os referidos autores também denotaram diferenças entre os valores de K_Y que foram mensurados e aqueles descritos pela FAO e atribuíram também esta discrepância as diferenças de separação dos estádios fenológicos e as modificações que a cultura pode apresentar nas respostas da irrigação dependendo do tipo de solo e das circunstâncias climáticas.

Estes resultados são divergentes dos obtidos por Sezen *et al.* (2011), quando constataram que a cultura do girassol demonstrou ser altamente sensível ao déficit hídrico por demonstrar valores de K_Y superiores a 1 em um estudo que comparou durante dois ciclos os efeitos de diferentes regimes de irrigação por aspersão e gotejamento na região mediterrânea da Turquia. Estes autores registraram que os valores de K_Y para a produtividade de aquênios generalizada para todo ciclo total foi de 1,24 e 0,86 para a aspersão e 1,19 e 1,06 para o sistema de gotejamento em 2006 e 2007, respectivamente e os valores de K_Y mensurados para a produtividade de óleo durante o ciclo total foi de 1,08 e 1,49 para a aspersão e 1,36 e 1,25 para o gotejamento em ambos os períodos de experimentação, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

A sensibilidade ao déficit hídrico mensurada através do coeficiente K_Y em cada estágio variou na seguinte ordem decrescente: formação da produção, vegetativo e floração, para déficit aplicado em apenas um estágio fenológico.

Para as condições de déficit em dois estágios, o coeficiente K_Y indicou que a insuficiência de água tem maior impacto sobre o rendimento de aquênios do girassol quando ocorre simultaneamente nos estágios vegetativo e de formação da produção.

Os valores de K_Y obtidos nos tratamentos estudados foram todos inferiores a 1, indicando a baixa sensibilidade da cultura do girassol aos déficits hídricos aplicados na pesquisa.

A adoção da lâmina de irrigação equivalente a 50% da evapotranspiração de referência durante todo o ciclo do girassol permitiu aumentar a eficiência de uso da irrigação na produção de aquênios, uma vez que os decréscimos dos rendimentos foram relativamente inferiores à restrição relativa de água na qual a cultura foi submetida ($K_Y < 1$).

Os valores do K_Y obtidos no presente experimento divergem dos valores apresentados na bibliografia, o que ressalta a necessidade do cálculo deste coeficiente para as especificidades de clima, solo, genótipo e divisão fenológica.

REFERÊNCIAS

- ALI, M.H. *et al.* Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic returns of wheat. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.92, n.3, p.151-161, 2007.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. F. Ecofisiologia do girassol. *In*: LEITE, R. M. V. B. de C. ; BRIGHENTI, A. M. ; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. Cap.9. p. 163- 218.
- CORDEIRO, L. G.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, J. J. A. dos; MIRANDA, E. P. de. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.153-157, 1998.
- DEMIR, A. *et al.* Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. **Irrigation Science**, Irlanda, 24, p. 279 – 289, 2006.
- DOORENBOS, J. ; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33.
- DOURADO NETO, D. *et al.* **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta)**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001.
- ERDEM, T.; DELIBAS, L. Yield response of sunflower to water stress under tekirdag conditions. **Helia**, v. 26, n. 38, p. 149-158, 2003.
- FREITAS, A. A. ; BEZERRA, F. M. L. ; FONTENELE, F. das C. B. Determinação da evapotranspiração máxima e real e do fator de sensibilidade ao déficit hídrico da melancia em Canindé, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.298-303, 1999.
- GOMES, E. P. *et al.* Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâminas de irrigação em semeadura direta na região do Arenito Caiuá, estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 373-385, out./dez. , 2010.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOV, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**, Baltimor, v.114, p. 395-400, 1972.
- KABOOSI, K.; KAVEH, F. Sensitivity analysis of doorenbos and kassam (1979) crop water production function. **African Journal of Agricultural Research**, Queretaro, v. 5, n. 17, p. 2399-2417, sept., 2010.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 335p. 2005.

LOPES, F. B. *et al.* Determinação do padrão do manejo da irrigação praticada no perímetro irrigado Baixo Acaraú, Ceará, via análise multivariada. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 301-316, jul. - set., 2011.

MARIN, F. R. *et al.* Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, 2006.

MIORINI, T. J. J. ; SAAD, J. C. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 360 - 368 , out. - dez. , 2011.

OLIVEIRA, E. C. *et al.* Effects of water deficit in two phenological stages on production of japanese cucumber cultivated in greenhouse. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.676-686, jul./ago., 2011.

REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-água-atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill,1985. 466p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicação**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RODRIGUES, S. B. S. *et al.* Necessidades hídricas de mudas de eucalipto na região centro oeste de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 212-223, abril-junho, 2011.

SAUNDERS, L. C. U. **Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidráulica sob condições de campo**. 1978. 71 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paula, Piracicaba, 1978.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J.P. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, Crookston, v. 21, n. 6, p. 901-903, 1981.

SEZEN, S.M. *et al.* Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 1153 –1161, 2011.

SILVA, E. N.; BEZERRA, F. M. L. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da bananeira no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 203-210, abr-jun, 2009.

STEWART, J. I. *et al.* **Optimizing crop production through control of water and salinity levels of soil**. Logan: Utah Water Research Laboratory, 1977. 191 p.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Cleveland, v. 44, p.892-898, 1980.