



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

MAURÍCIO CASTELO BRANCO SANTANA

**DESEMPENHO PRODUTIVO DE HÍBRIDOS COMERCIAIS DE SORGO
GRANÍFERO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**TERESINA, PIAUÍ – BRASIL
2013**

MAURÍCIO CASTELO BRANCO SANTANA

**DESEMPENHO PRODUTIVO DE HÍBRIDOS COMERCIAIS DE SORGO
GRANÍFERO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**TERESINA, PIAUÍ – BRASIL
2013**

MAURÍCIO CASTELO BRANCO SANTANA
Agrônomo

**DESEMPENHO PRODUTIVO DE HÍBRIDOS COMERCIAIS DE SORGO
GRANÍFERO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves Bastos

Co-orientador: Prof. Dr. Milton José Cardoso

TERESINA, PIAUÍ – BRASIL
2013

"A melhor maneira de dizer, é fazer."

José Martin

*Aos meus pais Arcanja Santana e Raimundo Santana pelo apoio,
A minha esposa, Jaqueline Santana e minha filha Lara pelo amor,
carinho e suporte dados ao longo de toda esta jornada árdua e cansativa.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua infinita bondade e misericórdia;

A Universidade Federal do Piauí (UFPI), por mais essa oportunidade concedida;

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA MEIO NORTE), pelo apoio e suporte logístico na realização da pesquisa e na colaboração com outras etapas e atividades relacionadas a essa conquista;

Ao meu orientador Dr. Edson Alves Bastos e co-orientador Dr. Milton José Cardoso pela maestria, experiência e sabedoria na orientação deste processo percorrido;

Ao pesquisador Dr. Flávio Dessaune Tardin pela colaboração em várias atividades;

Ao Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior pela compreensão e contribuição;

Ao Dr. Hoston Tomás (in memoriam), Dr. Cândido Athayde Sobrinho e Dr. Valdenir Queiroz pelo apoio em diversas oportunidades;

Ao Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho e Dr. Valber Mendes Ferreira pelas valiosas contribuições;

A Dra. Poliana Mota, Dr. Marcos Emanuel e Edsel Teles pelas colaborações;

Ao Setor de Campos Experimentais do CPAMN pelo apoio imprescindível;

Aos colegas Orlane Maia, Francisco Lima (Mirim) e Maria Gorete pelas inúmeras colaborações;

Aos colegas Afonso Abreu, Francisco Gustavo, Diego Sávio e Anchieta Fontenelle;

Ao SINPAF e à Maria Auxiliadora (Dorinha) pelo apoio em momentos cruciais;

Aos meus familiares e amigos pela compreensão e apoio nessa caminhada;

Aos professores e funcionários da UFPI pela colaboração e apoio nesse processo;

Aos colegas Herbert Moreira, Ricardo Sousa, Ramilos Brito, Natália Soares, Marcus Willames e Anderson Costa pelas contribuições;

Aos pesquisadores, analistas, técnicos e assistentes da EMBRAPA MEIO NORTE, companheiros e companheiras de trabalho e partilha;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA) pelos ensinamentos, compreensão e colaboração;

Ao secretário do PPGA, Vicente de Sousa Paulo, um dos guardiões do templo;

Aos meus amigos e amigas da pós pelo susto inicial, compreensão, entendimento, apoio, respeito e consideração; dentre os quais destaco o amigo Francisco Leonardo pelos incansáveis momentos de auxílio;

E a todos e todas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. Geral	17
2.2. Específicos.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1. Origem e Classificação Botânica do sorgo	18
3.2. Ciclo fenológico, estádios de desenvolvimento e características morfológicas	18
3.3. Importância socioeconômica	20
3.4. Necessidades hídricas	21
3.5. Déficit hídrico	22
3.6. Características morfofisiológicas e produtivas das plantas	23
3.6.1. Altura de planta	23
3.6.2. Área foliar e Índice de área foliar (IAF).....	23
3.6.3. Rendimentos de grãos e seus componentes	25
3.6.4. Teor de clorofila na folha	26
3.6.5. Eficiência do uso da água (EUA)	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1. Caracterização da área experimental	28
4.2. Tratamentos e delineamento experimental	31
4.3. Preparo da área experimental	31
4.4. Manejo de Irrigação	32
4.5. Avaliações	32
4.5.1. Altura média de planta (ALP)	32
4.5.2. Índice de área foliar (IAF).....	33
4.5.3. Variáveis produtivas	33
4.5.4. Número de dias para o florescimento (NDF)	34
4.5.5. Teor de clorofila na folha (TCF)	34
4.5.6. Eficiência do uso da água (EUA)	34

4.6. Análise estatística	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1. Variáveis de crescimento	37
5.2. Variáveis produtivas	40
5.3. Número de dias para o florescimento (NDF)	45
5.4. Teor de clorofila na folha (TCF)	46
5.5. Eficiência de uso da água (EUA)	47
6. CONCLUSÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Variação das temperaturas máxima (T_{\max}), média (T_{med}) e mínima (T_{\min}) do ar ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012. 28
- Figura 2.** Variação da umidade relativa do ar (UR), ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012. 29
- Figura 3.** Variação da precipitação pluviométrica (PP), ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012. 29
- Figura 4.** Curvas de retenção de água do solo da área experimental para as camadas de 0 – 20 cm (T01) e de 20 – 40 cm(T02).....30
- Figura 5.** Variação da umidade do solo (%) até a profundidade de 20 cm, ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012. 36
- Figura 6.** Variação da umidade do solo (%) na profundidade de 20 - 40 cm, ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012. 37

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características granulométricas do solo da área experimental, em Teresina, PI. ...30
- Tabela 2.** Características químicas do solo da área experimental, em Teresina, PI, 2012..... 30
- Tabela 3.** Origem de doze híbridos comerciais de sorgo granífero utilizados no experimento sob condições de irrigação plena (IP) e deficiência hídrica (DH) em Teresina, Piauí, 2012. 31
- Tabela 4.** Esquema da análise de variância com as respectivas fontes de variação (FV); graus de liberdade (GL); quadrados médios (QM), esperanças de quadrados médios [E(QM)]; e estatística F. 35
- Tabela 5.** Médias da característica altura de planta (ALP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com déficit hídrico (CDH) e sem déficit hídrico (SDH) em Teresina-PI, safra 2012. 38
- Tabela 6.** Médias do índice de área foliar (IAF), avaliadas em diferentes dias após a semeadura (DAS) em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 39
- Tabela 7.** Médias da característica estande final de plantas (SFP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 40
- Tabela 8.** Médias da característica peso de cem de grãos (PCG), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 41
- Tabela 9.** Médias da característica número de panículas (NP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 42
- Tabela 10.** Médias das características peso de panícula (PP) e peso de grãos (PG), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 43
- Tabela 11.** Médias do índice de colheita de panícula (ICP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 44
- Tabela 12.** Médias da característica produtividade de grãos (PROD), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 45
- Tabela 13.** Médias da característica número de dias para o florescimento (NDF), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 46

- Tabela 14.** Médias da característica teor de clorofila na folha (TCF), avaliadas aos 68 dias após a semeadura em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 47
- Tabela 15.** Médias da característica eficiência do uso de água (EUA), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 48
- Tabela 16.** Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para o teor de clorofila na folha (TCF), avaliado aos 68 dias após a semeadura (DAS) num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 56
- Tabela 17.** Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para o índice de área foliar (IAF) avaliado aos 84 e 91 dias após a semeadura (DAS) num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012..... 56
- Tabela 18.** Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para diferentes características avaliadas num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 57
- Tabela 19.** Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para diferentes características avaliadas num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012. 57

DESEMPENHO PRODUTIVO DE HÍBRIDOS COMERCIAIS DE SORGO GRANÍFERO SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Autor: Maurício Castelo Branco Santana

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves Bastos

Co-Orientador: Dr. Milton José Cardoso

RESUMO

A deficiência hídrica no solo é uma das principais causas da redução no rendimento de grãos em cultivos de sequeiro. Assim, a identificação de genótipos tolerantes à deficiência hídrica é essencial na manutenção da produção agrícola, tendo em vista, que a escassez de água é um problema crescente em diversas partes do mundo. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo identificar híbridos de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tolerantes ao déficit hídrico em Teresina, PI. Foram conduzidos dois experimentos, um sob déficit hídrico e outro sob condição de irrigação plena, no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, no período de setembro a dezembro de 2012. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 12 tratamentos e quatro repetições. O manejo de irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ET_c), calculada por meio do coeficiente de cultura (K_c) e da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith. As lâminas de irrigação aplicadas somadas à precipitação pluvial totalizaram 484 mm e 302 mm para os experimentos sob irrigação plena (IP) e sob déficit hídrico (DH), respectivamente. Foram avaliados as alturas de planta (ALP), o índice de área foliar (IAF), o teor relativo de clorofila na folha (TCF), número de panículas (NP), peso de panículas (PP), peso de grãos (PG), índice de colheita de panícula (ICP), peso de cem grãos (PCG), produtividade de grãos (PROD) e a eficiência de uso da água (EUA). O cultivo de sorgo granífero sob déficit hídrico no solo apresentou 7,8 % de redução na ALP; 38,1% e 36,4% de redução no IAF respectivamente, nas leituras aos 84 e 91 dias após a semeadura; 9,3% no TCF; 15,4% no PCG; 4,01% no NP; 29,1% no PP; 33,6% no PG; 7,3% no ICP e 33,1% na PROD. A EUA na condição de déficit hídrico foi superior a 7%. Concluiu-se que os híbridos BRS 305 e o 1G 282 apresentam características fenotípicas de tolerância à deficiência hídrica.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; híbridos; índice de colheita de panícula; área foliar; teor de clorofila.

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF SORGHUM COMMERCIAL HYBRIDS UNDER WATER STRESS

Author: Maurício Castelo Branco Santana

Advisor: Prof. Dr. Edson Alves Bastos

Co- advisor: Dr. Milton José Cardoso

ABSTRACT

Soil water deficiency is one of the major causes for the reduction of grain yield in rainfed crops. So, the identification of genotypes tolerant to water stress is essential in maintaining agricultural production, given that water scarcity is a growing problem worldwide. In this context, the research aimed to identify hybrids of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tolerant to drought in Teresina, PI. Two experiments were conducted, one under water deficit and other under full irrigation conditions, in the experimental fields of Embrapa Mid-North, in Teresina, Piauí, during the period of September to December 2012. The experimental design was a randomized block with 12 treatments and four replications. The irrigation management was based on crop evapotranspiration (ET_c), calculated by the crop coefficient (K_c) and reference evapotranspiration (ET_o) estimated by the Penman-Monteith method. The irrigation water applied to the added rainfall totalized 302 mm and 484 mm for the experiments under water deficit (DH) and full irrigation (IP), respectively. We evaluated the plant heights (ALP), the leaf area index (IAF), the relative chlorophyll content in the leaf (TCF), number of panicles (NP), panicle weight (PP), grain weight (PG), panicle harvest index (ICP), weight of a hundred grains (PCG), grain yield (PROD) and water use efficiency (EUA). The cultivation of sorghum under soil water deficit showed 7.8% reduction in ALP, 38.1% and 36.4% reduction in IAF, respectively, in the readings at 84 and 91 days after sowing; 9.3% in TCF; 15.4% in PCG; 4.01% in NP; 29.1% in PP; 33.6% PG; 7.3% in ICP and 33.1% in PROD. The EUA, under water deficit, was more than 7%. We concluded that the hybrids BRS 305 and 1G 282 show phenotypic characteristics of drought tolerance.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; hybrids; panicle harvest index, leaf area, chlorophyll content.

1. INTRODUÇÃO

O Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é o quinto cereal mais produzido no mundo, depois do milho, do trigo, do arroz e da cevada. Por possuir capacidade de resistir a períodos de déficit hídrico e produzir com rentabilidade aos agricultores, o sorgo tem sido uma opção interessante de cultivo em regiões de baixa pluviosidade e em períodos de “safrinha” após a colheita de culturas tradicionais no Brasil (CARVALHO JÚNIOR et al., 2011).

Nos últimos anos a cultura do sorgo em nosso país, apresentou expressiva expansão, chegando a ser colhida na safra 2012/2013 uma área de 785,1 mil hectares com uma produção de grãos de 2,2 milhões toneladas (CONAB, 2013). Do ponto de vista agrônomico, este crescimento é explicado, principalmente, pelo alto potencial de produção de grãos e matéria seca da cultura, além de sua extraordinária capacidade de suportar estresses ambientais. Deste modo, a cultura do sorgo tem sido uma excelente opção para produção de grãos e forragem em todas as situações em que a deficiência hídrica e as condições de baixa fertilidade dos solos oferecem maiores riscos para outras culturas, notadamente o milho.

Entretanto, o déficit hídrico continua sendo um importante fator de redução na produção de sorgo no mundo. Segundo Cardoso et al. (2011b), a deficiência hídrica é um dos principais problemas da agricultura e a habilidade das plantas para tolerar a esse estresse é de extrema importância para o desenvolvimento do agronegócio de qualquer país. Estes autores destacam ainda que, a pressão do estresse na planta fica mais intensa quando, além da deficiência hídrica, ocorre o estresse causado por altas temperaturas, contribuindo ainda mais para a redução da taxa fotossintética líquida devido ao aumento da taxa da respiração, afetando diretamente o rendimento de grãos.

A tolerância à seca é a principal característica que faz do sorgo uma das mais importantes culturas em regiões áridas e semiáridas (MAGALHÃES et al., 2012a). O sorgo destaca-se entre outras gramíneas de importância econômica devido não só à sua tolerância ao déficit hídrico, mas também pela possibilidade de cultivo em sistema de sequeiro, em épocas e locais com maior ocorrência de irregularidade na distribuição da pluviosidade (XIN et al., 2009).

A produção brasileira de grãos depende quase que exclusivamente da precipitação pluviométrica. Em anos com a ocorrência de condições desfavoráveis, normalmente há queda na produção de grãos e o sorgo, sendo uma cultura de vocação para cultivo em condições adversas de clima e solo, poderia reduzir o impacto desse fator no abastecimento de grãos

(TANAKA, 2010). Por outro lado, a escassez de água é um dos fatores de maior preocupação nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. E as altas temperaturas, com pequenas variações interanuais exercem fortes efeitos sobre a evapotranspiração que, por sua vez, determinam o déficit hídrico como o maior entrave à ocupação do semiárido, ressaltando a importância do conhecimento de mecanismos de adaptação das plantas e formas de amenizar o estresse das mesmas (LEÃO, 2006).

Ressalta-se que a necessidade de adequado suprimento hídrico para o pleno desenvolvimento dos vegetais decorre das múltiplas funções que a água desempenha na fisiologia das plantas, pois praticamente todos os processos metabólicos são influenciados pela sua presença.

O desenvolvimento de variedades tolerantes à seca para culturas de importância econômica representa um desafio para o século 21, considerando que o crescimento da agricultura, possivelmente será limitado pela disponibilidade de água no mundo (CARDOSO et al., 2010).

A tolerância à seca é uma característica complexa, pois envolve simultaneamente aspectos da morfologia, fisiologia e bioquímica. Um dos fatores que dificulta a seleção para tolerância à deficiência hídrica num programa de melhoramento de plantas é a falta de uma característica clara (marcador) para medir o grau no qual o genótipo é considerado tolerante ou susceptível.

Numerosos caracteres contribuem para tolerância ao déficit hídrico em sorgo, o que justifica aumentar esforços nos programas de melhoramento para identificar ou combinar tais caracteres. Tolerância ao déficit hídrico raramente tem sido o objetivo principal dos programas de melhoramento de sorgo no Brasil. O que ocorre na maioria das vezes é uma seleção indireta de genótipos mais tolerantes, associada a objetivos principais como produtividade, resistência a doenças e adaptabilidade (CARVALHO JÚNIOR et al., 2011).

Altura de planta, índice de área foliar, número de dias para florescimento, teor de clorofila na folha e componentes de produção são alguns parâmetros utilizados para auxiliar na identificação de genótipos tolerantes ao déficit hídrico. O melhoramento para tolerância a estresses abióticos (principalmente déficit hídrico) se torna ainda mais relevante quando se considera o aumento da demanda mundial por produtos agrícolas num futuro próximo, aliado às alterações climáticas globais previstas para as próximas décadas que devem modificar o

regime pluviométrico em várias regiões do Brasil, aumentando as chances de ocorrência de veranicos (GOMES et al., 2011).

A identificação e disponibilização de cultivares produtivas tolerantes ao déficit hídrico, torna-se necessário e essencial no enfrentamento de dificuldades existentes nos momentos atuais e futuros. Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo de 12 híbridos de sorgo granífero submetidos às condições de irrigação plena e de deficiência hídrica.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o desempenho produtivo de híbridos comerciais de sorgo granífero sob deficiência hídrica, nas condições de solo e clima da microrregião de Teresina, PI.

2.2 Específicos

Avaliar a altura da planta, o índice de área foliar, o número de dias para florescimento, o teor relativo de clorofila total na folha, a eficiência do uso da água, o peso de cem grãos, o número de panículas, o peso de panículas, o peso de grãos, o índice de colheita de panícula e a produtividade de 12 híbridos comerciais de sorgo granífero submetidos à condição de deficiência hídrica.

Avaliar a tolerância à deficiência hídrica de 12 híbridos comerciais de sorgo granífero.

Avaliar o desempenho produtivo de 12 híbridos comerciais de sorgo granífero sob irrigação plena.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem e Classificação Botânica do sorgo

O sorgo é uma planta originária da África Tropical, Etiópia e Sudão, tendo sido introduzido no hemisfério ocidental no século XVI. O grão de sorgo é o alimento básico da população de vários países da África e da Ásia. É cultivado em todos os continentes, em áreas com temperatura superior a 20 °C e período mínimo de 125 dias livre de geadas, sendo a maioria destas indesejáveis para outras culturas, a não ser com o uso da irrigação. É conhecido por sua capacidade de sobreviver a condições de suprimento hídrico limitado e produzir ainda que ocorram longos períodos de estiagem (PITOMBEIRA, 2001).

Tal como a maioria das linhagens angiospérmicas, pensa-se que o sorgo tem aproximadamente 200 milhões de anos, tendo divergido de um ancestral comum ao milho, ao arroz e ao trigo (PATERSON et al., 2003).

O sorgo pertence às Andropogonae e à família herbácea Poaceae. O gênero *Sorghum* é caracterizado por espigas que nascem aos pares. Trata-se de uma planta anual, embora seja uma erva perene e, nos trópicos, possa ser feita a sua colheita várias vezes ao ano (FAO, 1995).

Em 1753, Linnaeus descreveu no seu *Species Plantarum* três espécies de sorgo cultivado: *Holcus sorghum*, *Holcus saccharatus* e *Holcus bicolor*. Em 1794, Moench distinguiu o gênero *Sorghum* do gênero *Holcus*. Mais tarde, em 1805, Person propôs o nome de *Sorghum vulgare* para *Holcus sorghum* (L.). Em 1961 Clayton propôs o nome *Sorghum bicolor* (L.) Moench como o correto para o sorgo cultivado, nome que se utiliza atualmente (FAO, 1995).

Harlan e de Wet (1972) publicaram uma classificação simplificada, na qual o sorgo cultivado é dividido em cinco grupos básicos: bicolor, guiné, caudatum, kafir e durra.

3.2 Ciclo fenológico, estádios de desenvolvimento e características morfológicas

O sorgo é uma planta C₄, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas. As etapas de crescimento da cultura do sorgo são três: a primeira fase de crescimento, estágio de crescimento 1 (EC1), vai do plantio até a iniciação da panícula. A fase seguinte (EC2), compreende a iniciação da panícula até o florescimento e; a terceira fase de crescimento (EC3), vai da floração à maturação fisiológica (MAGALHÃES e DURÃES, 2003).

Para Magalhães et al. (2012b) o conhecimento do padrão diferencial de acúmulo de matéria seca e de nutrientes, durante o ciclo da cultura do sorgo, permite avaliar as necessidades de adequadas práticas de manejo. A melhor adequação de práticas de manejo da cultura do sorgo está associada aos estádios fenológicos da planta, que variam de acordo com a cultivar, condições edafo-climáticas e práticas de manejo. Ainda, segundo os mesmos autores, as fases apresentadas a seguir representam o desenvolvimento de uma cultivar de sorgo com ciclo de 100 dias, aproximadamente:

Estádio 0 (Emergência) – da sementeira ao surgimento do coleótilo na superfície do solo, que ocorre, geralmente, dentro de 4 a 10 dias, dependendo das condições ambientais (principalmente, pela umidade, temperatura, oxigênio e pela qualidade da semente).

Estádio 1 (Visível a lígula/colar ou cartucho da 3ª folha) – ocorre, em condições normais, com cerca de 10 dias após a emergência.

Estádio 2 (Visível a lígula/colar da 5ª folha) – ocorre com três semanas após a emergência.

Estádio 3 (Diferenciação do ponto de crescimento) – ocorre cerca de 30 dias após a emergência e representa a mudança do ponto de crescimento de vegetativo para reprodutivo. Esta fase é determinada pelas condições do ambiente e pelas características genéticas da cultivar. O período do plantio à diferenciação do ponto de crescimento é de aproximadamente um terço do período necessário para a maturação fisiológica, ou ciclo da cultura. Neste período, inicia o alongamento rápido do colmo, quando aproximadamente 7 a 10 folhas estão completamente desenvolvidas.

Estádio 4 (Visível a folha bandeira) – ocorre o rápido alongamento do colmo. Todas as folhas estão completamente desenvolvidas, com exceção das últimas três ou quatro.

Estádio 5 (Emborrachamento) – Todas as folhas estão completamente desenvolvidas, resultando na máxima área foliar. A panícula alcança seu comprimento máximo, dentro da bainha da folha bandeira.

Estádio 6 (50% de floração) – O período da emergência a 50% de floração (cerca de 60 dias) é de aproximadamente 2/3 do período da emergência à maturação fisiológica.

Estádio 7 (Grão Leitoso) – Cerca de 50% da matéria seca dos grãos já foram acumulados e o peso do colmo diminui.

Estádio 8 (Grão Pastoso) – Cerca de 75% de matéria seca dos grãos já foram acumulados.

Estádio 9 (Maturação fisiológica) – Os grãos estão com 22 a 23% de umidade.

O sorgo é uma gramínea anual, autógama, com baixa taxa de fecundação cruzada e com ampla adaptação a diferentes ambientes (MAGALHÃES, et al., 2000; RODRIGUES et al., 2009). Botanicamente, o grão é uma cariopse, ou fruto seco, em que o pericarpo está fundido com o tegumento da semente propriamente dito (RODRIGUES et al., 2009).

A planta de sorgo é mais curta e mais ampla do que o milho. Apresenta um sistema de raízes fibrosas que permitem penetrar no solo até 2,5 m de profundidade. Do caule partem folhas em posições alternadas. A inflorescência do tipo panícula contém de 750 a 1250 sementes (FAO, 1995).

Agronomicamente, o sorgo é classificado em quatro grupos: granífero, forrageiro, sacarino e vassoura (RIBAS, 2003).

3.3 Importância socioeconômica

O sorgo é cultivado em áreas e situações ambientais muito secas e/ou muito quentes, onde a produção de outros cereais é antieconômica. Embora de origem tropical, vem sendo cultivado em latitudes de até 45° norte ou 45° sul. É, entre as espécies alimentares, uma das mais versáteis e mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético, como em velocidade de maturação. Sua reconhecida versatilidade se estende desde o uso de seus grãos como alimento humano e animal; como matéria prima para produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas; o uso de suas panículas para produção de vassouras; extração de açúcar de seus colmos; até as inúmeras aplicações de sua forragem na nutrição de ruminantes (RIBAS, 2003).

Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica e está entre os cinco cereais mais cultivados em todo o mundo, ficando atrás do arroz, trigo, milho e cevada.

A área cultivada com sorgo no Brasil deu um salto extraordinário, a partir do início dos anos 90. O Centro Oeste é a principal região de cultivo de sorgo granífero, enquanto o Rio Grande do Sul e Minas Gerais, de sorgo forrageiro. O sorgo granífero é cultivado, sob três

sistemas de produção. No Rio Grande do Sul, planta-se sorgo na primavera e colhe-se no outono. No Brasil Central, a semeadura é feita em sucessão às culturas de verão, principalmente a soja. No Nordeste, a cultura é plantada na estação das chuvas (TEIXEIRA e TEIXEIRA, 2004).

Assim como todos os cereais produzidos e consumidos no país, o sorgo não é uma cultura nativa do Brasil e mesmo em nível mundial, é uma cultura marginal à do milho. O seu cultivo e consumo são importantes em países que estão em desenvolvimento e apresentam problemas de déficit hídrico durante o ano. A exceção a estas características, que são marcantes nos países produtores e consumidores de sorgo, são os Estados Unidos, maior produtor de sorgo do mundo, maior exportador e o quarto maior consumidor desta cultura (DUARTE, 2012).

O sorgo pode substituir parcialmente o milho nas rações para aves e suínos e totalmente para ruminantes, com uma vantagem comparativa de menor custo de produção e valor de comercialização de 80% do preço do milho; bem como, ser substituto de outros cereais que também são usados na fabricação das rações, tais como trigo e farelo de arroz, que teriam usos mais nobres em alimentação humana (RIBAS, 2003; DUARTE, 2003; DUARTE, 2012).

Em termos globais, o sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Somente arroz, trigo, milho e batata o superam em termos de quantidade de alimento consumido. Entretanto, a cultura de sorgo produz muito menos do que seu potencial oferece. Por último, o século XX foi o século do trigo, do arroz e do milho. E o século XXI poderá ser o século do sorgo (RIBAS, 2008).

3.4 Necessidades hídricas

Praticamente todos os processos metabólicos são influenciados pela presença da água. Daí ser necessário, para o pleno desenvolvimento dos vegetais, um adequado suprimento hídrico, já que a mesma desempenha múltiplas funções na fisiologia da planta (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Durante o seu ciclo, o consumo de água pela cultura do sorgo varia de 380 mm a 600 mm, dependendo das condições climáticas dominantes. A água é absorvida diferencialmente com o estágio de crescimento e desenvolvimento da cultura (SANS et al., 2003).

Quando comparado com outros cereais, o sorgo requer menos água para se desenvolver, sendo que o período mais crítico à falta de água é o florescimento (MAGALHÃES e DURÃES, 2003).

3.5 Déficit hídrico

O Conceito de estresse está intimamente relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável. O estresse é em geral definido como um fator externo que exerce uma influência deletéria sobre a planta. O déficit hídrico, o estresse provocado pelo calor, o resfriamento e o congelamento, a salinidade e a deficiência de oxigênio são os principais estressores que restringem o crescimento das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2006). Para estes autores, o déficit hídrico pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação.

Tanto em comunidades naturais como agrícolas, o ambiente é raramente ótimo para o crescimento das plantas. Portanto, estresses ambientais limitam a produtividade potencial das culturas vegetais (MAGALHÃES et al., 2000; MAGALHÃES et al., 2012a).

Segundo Heinemann (2010) o estresse por deficiência hídrica é considerado como a maior restrição na produção e estabilidade da produtividade de culturas em muitas regiões do mundo.

A resistência à seca é uma característica complexa, pois envolve simultaneamente aspectos de morfologia, fisiologia e bioquímica. A literatura cita três mecanismos relacionados à seca: resistência, tolerância e escape. O sorgo parece apresentar duas características: escape e tolerância. O escape, através de um sistema radicular profundo e ramificado. Já a tolerância está relacionada ao nível bioquímico. A planta diminui o metabolismo, murcha (hiberna) e tem um poder extraordinário de recuperação quando o estresse é interrompido (MAGALHÃES e DURÃES, 2003).

Para Magalhães et al. (2012a) o déficit hídrico em sorgo quando acontece no estágio EC1, provoca menos danos à planta do que em EC2. No estágio EC2, a escassez de água vai resultar na redução das taxas de crescimento da panícula e das folhas e no número de sementes por panícula. Esses efeitos são devidos provavelmente a uma redução na área foliar, resistência estomática aumentada, fotossíntese diminuída e a uma desorganização do estado hormonal da panícula em diferenciação. Quando a falta de água acontece no EC3, o resultado é a senescência rápida das folhas inferiores, com consequente redução no rendimento de grãos.

3.6 Características morfofisiológicas e produtivas das plantas

3.6.1 Altura de planta

O déficit de água é um dos fatores que afeta a altura da planta, característica que no sorgo pode variar de 40 cm até 4 m e é importante para a classificação da espécie quanto ao seu porte (MAGALHÃES et al., 2012b).

Magalhães et al. (1993), objetivando identificar genótipos de sorgo granífero tolerantes ao déficit hídrico, avaliar o grau de recuperação dos mesmos após a suspensão do déficit hídrico, bem como estudar os mecanismos de tolerância ao déficit hídrico e correlacioná-los com a tolerância à acidez do solo; evidenciaram que a altura das plantas foi influenciada pela acidez e pelo déficit hídrico, mesmo ocorrendo, no entanto, materiais que apresentaram melhor desempenho na condição de estresse.

Peiter e Carlesso (1996), analisando o comportamento da cultura do sorgo granífero submetida a diferentes valores de frações de água disponível (FAD), observaram que o manejo da irrigação com a manutenção da FAD a 0,65 resultou em uma menor altura final de plantas. Neste estudo foram encontradas as alturas finais das plantas de 89,7; 84,4; 84,7 e 79,6 cm para 0,95; 0,85; 0,75 e 0,65 de FAD respectivamente.

Santos et al. (2004), avaliando o comportamento de cultivares de sorgo granífero para resistência à seca em pós-florescimento, observaram que houve variação para a altura de planta, quando compararam a média geral dessa característica nas condições: sob déficit hídrico e sob irrigação plena; indicando influência da condição de déficit hídrico imposta às plantas.

3.6.2 Área foliar e Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) é um parâmetro biométrico que pode auxiliar na identificação de genótipos com tolerância à seca, uma vez que o déficit hídrico limita o crescimento das folhas (BASTOS et al., 2011a). Tal índice pode ser encontrado pela razão entre a área foliar total da planta e a superfície do solo ocupada por ela (PETRY et al., 2007).

A área foliar pode ser determinada através de diversos métodos, sendo os mesmos classificados em destrutivos ou não destrutivos. Uma maneira rápida e não destrutiva para estimar a área foliar é através do produto das medidas do comprimento e maior largura de cada folha, multiplicada pelo coeficiente 0,75 (STICKLER et al., 1961).

Segundo Taiz e Zeiger (2006), a expansão foliar é um processo movido pelo turgor e extremamente sensível ao déficit hídrico. Como a expansão foliar depende principalmente da expansão celular, os princípios que fundamentam os dois são similares. A inibição da expansão celular provoca uma lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento de déficits hídricos. A área foliar menor transpira menos, conservando, efetivamente, um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Assim, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca. Afirmam ainda ser a área foliar importante, porque em geral a fotossíntese é proporcional a ela e, que em determinadas plantas, o déficit hídrico limita não apenas o tamanho, mas também o número de folhas, pois ele diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos.

Sabe-se que o crescimento e a produtividade das plantas são promovidos pela fotossíntese. A produtividade depende da interceptação da luz e, conseqüentemente, da área foliar. A interceptação de luz, por sua vez, aumenta quase linearmente com o aumento do IAF até o ponto em que o sombreamento foliar mútuo passe a ser limitante (KERBAUY, 2008).

Para Lawlor (1987), os valores do IAF em ecossistemas agrícolas produtivos situam-se na faixa entre 3 e 5.

Peiter e Carlesso (1996), avaliando o comportamento da cultura do sorgo submetida a quatro diferentes frações de água disponível (FAD), verificaram que, 10 dias após a aplicação dos tratamentos (35 DAE), o manejo da irrigação com 0,65 da FAD apresentou uma redução no IAF comparado aos demais tratamentos. O IAF máximo foi semelhante para os tratamentos de 0,95; 0,85 e 0,75 da FAD (IAF=5,4) e 15% maior que o tratamento de 0,65 da FAD (IAF=4,6).

Magalhães et al. (1993) buscando identificar genótipos de sorgo tolerantes ao déficit hídrico, constataram que a área foliar foi influenciada pelo déficit hídrico.

Bastos et al. (2011a) selecionando genótipos de milho tolerantes à déficit hídrico e a altas temperaturas, com base no IAF; observaram que num dos híbridos, mesmo em condições estressantes, o IAF atingiu o valor máximo de 5,05 próximo ao valor de 5,16 obtido em condições de não estresse. Neste estudo, o menor valor de máximo IAF, em condições estressadas, foi de 2,64; apresentado pelo tratamento com menor produtividade de grãos.

3.6.3 Rendimentos de grãos e seus componentes

A perda de produtividade em função da exposição da cultura a déficit hídrico, que tem influência direta na taxa fotossintética, varia principalmente em função do estágio fenológico das plantas, do tempo de duração do déficit hídrico e do genótipo das plantas (LANDAU e SANS, 2012). No sorgo, o rendimento final de grãos geralmente está correlacionado com o número de grãos por panícula, sendo cerca de 90% desse rendimento devido à fotossíntese da panícula e das quatro folhas superiores (MAGALHÃES et al., 2000).

Objetivando avaliar o comportamento de cultivares de sorgo para resistência à seca em pós-florescimento, Santos et al. (2004), comparando a média geral de cada característica avaliada, nas condições sob déficit hídrico e sob irrigação plena, observaram que houve variação para índice de colheita de panícula, rendimento de grãos e peso de cem grãos, indicando influência da condição de déficit hídrico imposta às plantas. Para estes autores o índice de colheita de panícula, característica que integra todos os componentes de rendimento, apresentou menor variação em relação ao rendimento de grãos, o que pode ser notado pela menor variabilidade associada à sua medida (menor coeficiente de variação).

Silva et al. (2008) buscando identificar materiais de sorgo com tolerância ao déficit hídrico avaliaram 49 genótipos sob irrigação plena e sob deficiência hídrica, obtendo no ensaio com irrigação plena, produtividade média de grãos de 3.395 kg ha⁻¹ superior em 230% à produtividade média de grãos do ensaio com deficiência hídrica que foi de 1.459 kg ha⁻¹. Estes resultados, para os autores, demonstraram que o déficit hídrico, quando ocorre em pós-florescimento na cultura estudada, apesar da mesma ser tolerante à seca, causa redução significativa na produtividade de grãos.

Para selecionar genótipos de sorgo que apresentassem tolerância à seca, Bastos et al. (2008b), conduziram dois ensaios, um com irrigação plena e outro sob déficit hídrico durante as fases de pré-floração até o início de enchimentos de grãos, avaliando a produtividade de grãos e os componentes de produção (peso de panículas e peso de cem grãos) de 49 genótipos; observaram que em relação aos componentes de produção, o número e peso de panículas e o peso de cem grãos, foram severamente afetados pela deficiência hídrica, influenciando na produtividade de grãos. Sem deficiência hídrica (DH) a média geral (3.411 kg ha⁻¹) mostra que a produtividade de grãos foi de 3,63 vezes maior em relação à média do ensaio com DH (938 kg ha⁻¹).

O efeito do déficit hídrico (DH) sobre a redução da produtividade de grãos também foi observado na cultura do milho, conforme resultados obtidos por Gomes et al. (2011) que foi

de 48%; Bergamaschi et al. (2004) obteve 80%; Brito et al. (2011); Bastos et al. (2011a). Bergamaschi et al. (2006) baseado, em dados obtidos ao longo de 10 anos de experimentação, evidenciaram que o DH tem maior impacto sobre o rendimento de grãos de milho quando ocorre no florescimento.

3.6.4 Teor de clorofila na folha

Através da fotossíntese, as plantas convertem a energia da luz solar em energia química. Esse processo é fundamental para a manutenção das formas de vida em nosso planeta e ocorre nos cloroplastos. O aspecto mais marcante da estrutura do cloroplasto é seu extenso sistema de membranas internas conhecidas como tilacóides (local das reações luminosas da fotossíntese), onde está contida toda a clorofila, pigmentos que dão às plantas a sua cor verde característica (TAIZ e ZEIGER, 2006). Os principais pigmentos fotossintéticos, em plantas superiores, são as clorofilas (*a* e *b*) e os carotenóides (carotenos e xantofilas). As clorofilas *a* (verde-azulada) e *b* (verde-amarelada) são essenciais para a conversão da energia luminosa em energia química armazenada; enquanto os carotenóides são pigmentos amarelados ou alaranjados, denominados de acessórios (KERBAUY, 2008). Pesquisas realizadas com as culturas de milho e sorgo, demonstraram que houve redução no teor de clorofila nas folhas, quando as mesmas foram submetidas a condições de déficit hídrico (RESENDE et al., 1994; VIANA et al., 2004; MAGALHÃES et al., 2010).

A influência do déficit hídrico sobre a clorofila também foi observado em outras culturas. Bastos et al. (2011b) buscando identificar genótipos de feijão-caupi com características de tolerância e sensibilidade ao déficit hídrico, observaram que o DH reduziu em 16% o índice médio de clorofila na folha.

Segundo Kerbauy (2008) o crescimento e a produtividade das plantas são promovidos pela fotossíntese e que a produtividade depende da interceptação da luz e, conseqüentemente, da área foliar. Por sua vez, em geral, a fotossíntese é proporcional à área foliar (TAIZ e ZEIGER, 2006). Sendo assim, considera-se valioso a determinação do teor de clorofila na folha como um dos parâmetros para avaliar os efeitos do DH em sorgo granífero e outras plantas. Esta determinação pode ser feita de forma simples, rápida e não destrutiva, utilizando-se equipamentos eletrônicos existentes no mercado como o medidor portátil de clorofila clorofiLOG que permite fazer leituras instantâneas, além de possuir uma boa correlação com valores obtidos em laboratórios (FALKER, 2008).

3.6.5 Eficiência do uso da água (EUA)

A EUA corresponde à razão entre a quantidade de CO₂ assimilada e a quantidade de água transpirada pela planta (KERBAUY, 2008). Reflete quantas unidades de água são necessárias para produzir uma unidade de matéria seca (MONTEIRO et al., 2004). Pode ser um parâmetro importante para se conhecer a capacidade de uma espécie em se adaptar a um determinado ambiente (COELHO e OLIVEIRA JÚNIOR, 1990). Mas, uma maior EUA das plantas não garante por si só maior adaptação à seca (PIMENTEL, 1998).

A escassez de água é um problema cada vez mais crescente em muitas partes do mundo. Previsões de alterações climáticas, de aumento da temperatura média do ar e diminuição da precipitação, indicam a tendência do aumento da escassez da água. A agricultura é a principal usuária, sendo o uso eficiente necessário para a conservação deste recurso limitado. O aumento da eficiência do uso da água pode ser alcançado através de diferentes estratégias. Uma dessas é a utilização de genótipos com tolerância à deficiência hídrica (ZWART e BASTIAANSEN, 2004).

Na literatura, não foram encontrados registros sobre eficiência de uso da água (EUA) em sorgo. Entretanto, para a cultura do milho, Cardoso et al. (2011a) estudando a performance produtiva e eficiência de uso da água (EUA) de híbridos de milho em condições hídricas contrastantes, verificaram que, na média do ensaio sob deficiência hídrica a redução na produtividade de grãos e na EUA foram de 70,33% e 50,69%, respectivamente, em relação às condições sob irrigação plena.

Objetivando selecionar genótipos de milho que apresentassem tolerância à seca e ao calor, Cardoso et al. (2011b) obtiveram valores de 11,4 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e 7,0 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para EUA, em ensaios com irrigação plena e com deficiência hídrica, respectivamente. Apresentando um decréscimo de 38,6% nas condições de DH em relação à outra.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, localizado em Teresina, PI (05° 05' S; 42° 48' W e 74,4 m), no período de setembro a dezembro do ano de 2012. O clima do município é do tipo Aw (clima tropical de estações úmida e seca), segundo a classificação de Köppen. Considerando a média histórica de 1980 a 2007, as médias anuais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, e precipitação pluviométrica são 28,2°C, 69,7%, e 1.318 mm, respectivamente, concentrando a maioria das chuvas de janeiro a abril (BASTOS et al., 2008a).

No período de condução dos experimentos os valores médios mensais de temperatura do ar máxima, média e mínima; os valores de umidade relativa do ar (UR%) e precipitação pluviométrica (mm) encontram-se nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

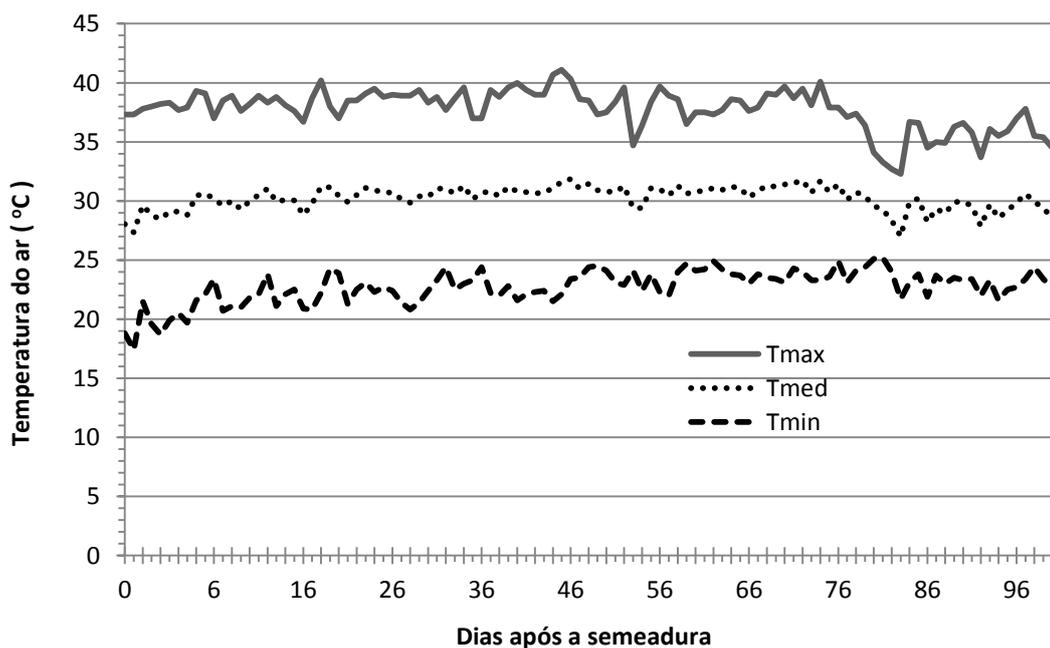


Figura 1. Variação das Temperaturas máxima (T_{max}), média (T_{med}) e mínima (T_{min}) do ar ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012.

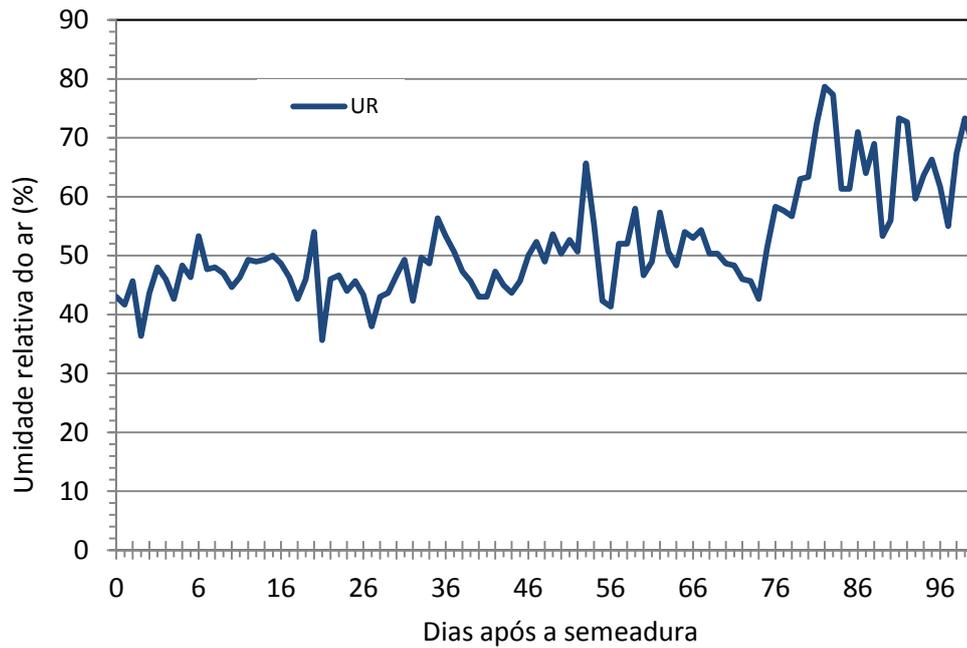


Figura 2. Variação da umidade relativa do ar (UR), ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012.

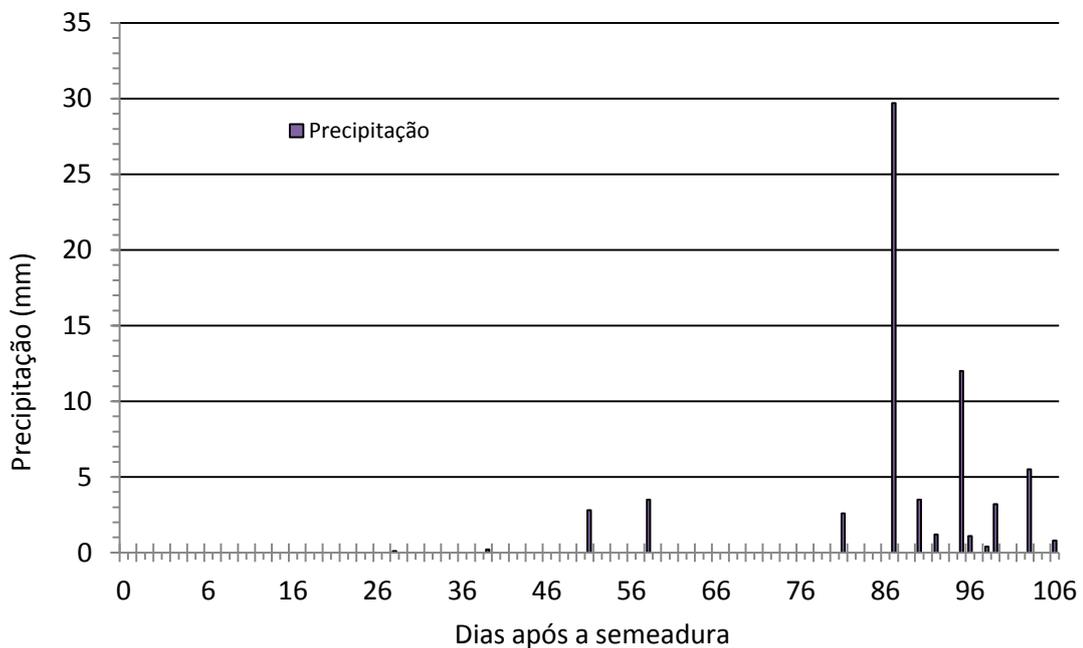


Figura 3. Variação da precipitação pluviométrica (PP), ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012.

O solo da área experimental é um Neossolo Flúvico Eutrófico de textura média, cujas características granulométricas e químicas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Características granulométricas do solo da área experimental, em Teresina, PI, 2012

Prof.	Granulometria (g kg^{-1})				Classificação textural
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
0 – 20 cm	8,5	550,5	335,0	106,0	Franco Arenoso
21 – 40 cm	8,0	548,0	318,0	126,0	Franco Arenoso

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, em Teresina, PI, 2012.

Prof. (cm)	MO g/kg	pH H_2O	P mg/dm^3	K $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	CTC	V %	m
0-20	7,93	5,27	1,70	0,80	5,4	0,16	0,17	0	3,12	6,60	9,72	67,9	0
21-40	5,90	5,59	0,60	0,37	5,9	0,38	0,12	0	2,43	6,86	9,29	73,8	0

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

Foram determinadas as curvas de retenção de água no solo (Figura 4) e posteriormente ajustadas pelo modelo de VAN GENUCHTEN (1980). Considerando as camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm, os valores do conteúdo da umidade do solo referente à capacidade de campo (CC - 10 kPa) foram, respectivamente, de 30,24 % e 27,31 % e; para o ponto de murcha permanente (PMP - 1.500 kPa) foram de 9 % e 6,65 % à base de volume.

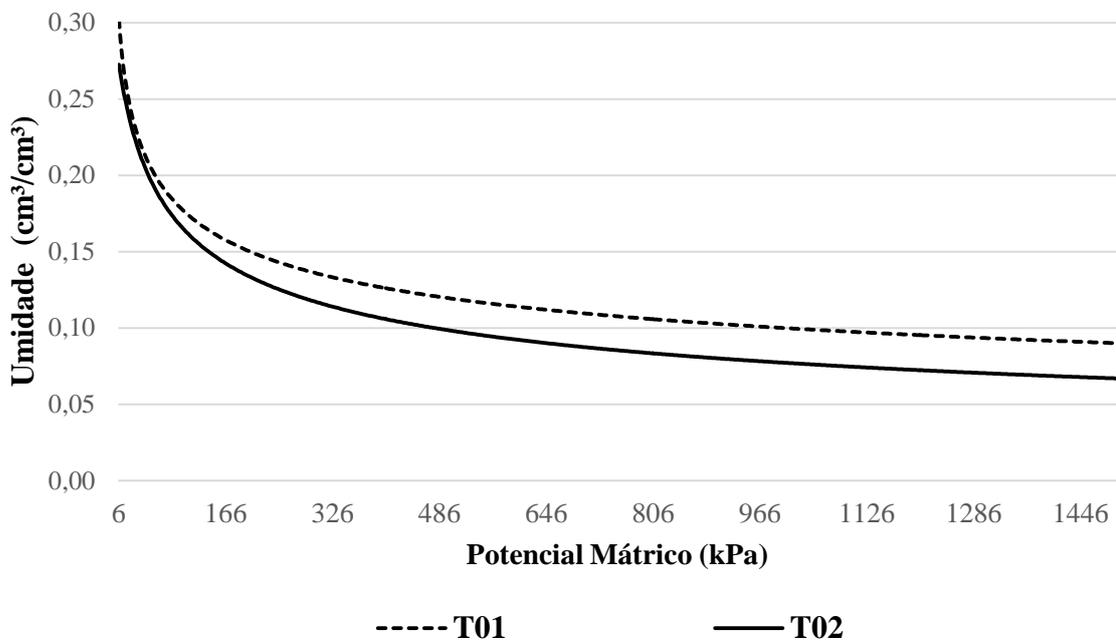


Figura 4. Curvas de retenção de água do solo da área experimental para as camadas de 0 – 20 cm (T01) e de 20 – 40 cm (T02).

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foram conduzidos dois ensaios com a cultura do sorgo granífero, um sob regime de irrigação plena e outro sob deficiência hídrica. Os tratamentos avaliados consistiram de 12 híbridos comerciais de sorgo granífero (Tabela 3) procedentes de diferentes empresas.

Tabela 3. Origem de doze híbridos comerciais de sorgo granífero utilizados no experimento sob condições de irrigação plena (IP) e deficiência hídrica (DH) em Teresina, Piauí, 2012.

Híbridos	Origem
DKB 599	Dekalb/Monsanto
BRS 330	Embrapa
AS 4610	Agroeste
BRS 380	Embrapa
BRS 309	Embrapa
AG 1040	Agroceres/Monsanto
BRS 310	Embrapa
DKB 551	Dekalb/Monsanto
1G 282	Dow AgroSciences
50 A 50	Morgan
BRS 305	Embrapa
BRS 373	Embrapa

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 5 m de comprimento e, espaçadas de 0,5 m. Sendo considerado como área útil os 4m das duas fileiras centrais (dispensando as plantas dos 0,50 m das cabeceiras) da unidade experimental, equivalendo a 4 m² da parcela.

4.3 Preparo da área experimental

Foi realizado o preparo do solo pelo processo convencional com grade aradora e grade niveladora. As adubações foram feitas com base na análise de solo e na exigência da cultura. Na adubação de fundação aplicou-se 50 kg de N ha⁻¹, 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg de K₂O ha⁻¹ em sulcos de 8 cm de profundidade. As sementes de sorgo foram semeadas manualmente em sulcos (18 sementes/m) à profundidade de 3 cm, no dia 05 de setembro de 2012, procedendo-se o desbaste 15 dias após a semeadura, deixando-se 10 plantas por metro linear, totalizando um estande final de 200.000 plantas ha⁻¹.

Após 16 dias da semeadura, foi efetuada a primeira adubação de cobertura, aplicando-se 50 kg de N ha⁻¹ e, aos 45 dias, a segunda adubação de cobertura com 50 kg de N ha⁻¹. Nas

adubações utilizou-se como fonte de N o sulfato de amônio, de P_2O_5 o superfosfato triplo e de K_2O o cloreto de potássio.

Os demais tratos culturais, como controle de plantas invasoras e pragas, foram feitos conforme a necessidade, utilizando-se capinas e defensivos recomendados.

4.4 Manejo de Irrigação

Na irrigação da área foi utilizado um sistema de irrigação do tipo aspersão convencional fixo com aspersores espaçados 12,0 m x 12,0 m; pressão de serviço de 250 KPa; bocais de 3,4 mm x 2,6 mm de diâmetro e com vazão de $1,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. O manejo foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ETc), calculada por meio do coeficiente de cultura (Kc) proposto por Doorenbos e Kassam (1994) e a evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Penman-Monteith. Os dados climáticos foram obtidos na estação agrometeorológica automática localizada a 1,5 km da área experimental.

O monitoramento do teor de água no solo foi feito por meio de uma sonda de capacitância, modelo DIVINER 2000, com a instalação em cada ensaio de três tubos de acesso distribuídos aleatoriamente entre as plantas nas parcelas, em camadas de 0,10 m até 0,70 m de profundidade. No ensaio com deficiência hídrica a irrigação foi interrompida aos 47 dias após a semeadura (DAS) – dia 22/10/2012, permanecendo assim até o dia da colheita (18/12/2012).

4.5 Avaliações

Foram avaliadas as seguintes características: variáveis de crescimento (altura de planta e índice de área foliar), variáveis produtivas, número de dias para florescimento, teor de clorofila na folha e eficiência do uso da água.

4.5.1 Altura média de planta (ALP)

A altura média de planta foi determinada aos dezoito dias antes da colheita, medindo-se a distância entre a base das plantas ao nível do solo (escolhidas aleatoriamente cinco plantas por parcela) e o ápice da panícula (GUEDES et al., 2007; CARVALHO JÚNIOR et al., 2011).

4.5.2 Índice de área foliar (IAF)

Para calcular o índice de área foliar (IAF), determinou-se primeiramente a área foliar estimada pelo produto das medidas do comprimento e maior largura de cada lâmina foliar ativa multiplicada pelo coeficiente de 0,75; analisando-se uma planta por tratamento a cada semana, dos 63 dias aos 98 dias após a semeadura (DAS) (STICLKER et al., 1961; PETRY et al., 2007). O IAF foi obtido pela razão entre a área foliar total da planta e a superfície do solo ocupada pela planta (PETRY et al., 2007).

4.5.3 Variáveis produtivas

Foram coletadas informações das seguintes variáveis: estande final de plantas (SFP), número de panículas (NP), peso de panículas (PP) e de grãos (PG), índice de colheita de panículas (ICP), peso de cem grãos (PCG) e produtividade de grãos (kg ha^{-1}) corrigida para 13% de umidade (PROD_{cor}).

O estande final de plantas e o número de panículas foram obtidos contando-se as plantas e as panículas colhidas na área útil da parcela. O peso de panícula (PP) e o peso de grãos (PG) foram determinados utilizando-se balança eletrônica digital de precisão para medir a massa das panículas e a massa dos grãos após a trilha, colhidos na área útil da unidade experimental. Em seguida, obteve-se o índice de colheita de panícula (ICP) pela relação do peso de grãos com o peso de panículas (GUEDES et al., 2007).

O peso de cem grãos (PCG) foi mensurado, separando-se aleatoriamente cem grãos de cada parcela colhida e posteriormente pesando-os em balança eletrônica digital com precisão de 0,0001 g. A produtividade de grãos (PROD) foi obtida a partir do peso em quilogramas dos grãos debulhados, extrapolado para um hectare e corrigida para 13 % de umidade, conforme equação 1.

$$\text{PROD}_{\text{Cor.}} = \frac{(100 - \text{Um}_{\text{in}}) \times \text{PROD}_{\text{in}}}{(100 - \text{Um}_{\text{fi}})} \quad (\text{Equação 1}).$$

Em que:

Um_{in} – umidade inicial encontrada no grão por ocasião do beneficiamento (%);

Um_{fi} – umidade final de correção (13 %);

PROD_{in} – rendimento de grãos (kg ha^{-1}) com umidade inicial;

PROD_{cor} - rendimento de grãos (kg ha^{-1}) com umidade final.

4.5.4 Número de dias para o florescimento (NDF)

O número de dias para o florescimento (NDF) foi compreendido pelo número de dias decorridos desde a semeadura até a exteriorização do estame das panículas de 50 % das plantas da parcela (GUEDES et al., 2007; CARVALHO JÚNIOR et al., 2011).

4.5.5 Teor de clorofila na folha (TCF)

As leituras do teor de clorofila na folha (TCF) foram feitas usando-se um medidor portátil de clorofila da FALKER, modelo clorofiLOG CFL 1030; cujas medidas do teor de clorofila total (ICF – índice de clorofila Falker) foram realizadas semanalmente dos 62 aos 77 dias após a semeadura, no terço médio da última folha completamente expandida de cada uma das duas plantas marcadas em cada parcela dos experimentos com e sem déficit hídrico (FALKER, 2008). Foram feitas três leituras por folha a partir da base e usou-se a média das mesmas para as análises.

4.5.6 Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada pela razão entre a produtividade de grãos (umidade corrigida para 13 %) de cada híbrido e a quantidade de água utilizada para produzi-la.

4.6 Análise estatística

Foram realizadas, para cada característica, análise de variância conjunta, ou seja, considerando os dois ambientes. Para as características que demonstraram a ocorrência de interação entre genótipo e ambiente, foi realizado o desdobramento da interação, avaliando os genótipos dentro de cada ambiente. Para tanto, os dados obtidos foram analisados utilizando-se os recursos computacionais do programa GENES (CRUZ, 2001).

As características mensuradas foram submetidas a uma análise de variância, conforme o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, em dois ambientes, de acordo com o modelo genético estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B/A_{jk} + e_{ijk} ;$$

em que:

Y_{ijk} = observação da característica no k-ésimo bloco, avaliada dentro do j-ésimo ambiente no i-ésimo genótipo;

μ = média geral;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo considerado fixo;

A_j = efeito do j-ésimo ambiente, considerado fixo;

GA_{ij} = efeito da interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo ambiente, considerado fixo;

B/A_{jk} = efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente, considerado aleatório; e

e_{ijk} = efeito do erro experimental associado à observação de ordem ijk, considerado aleatório.

Na Tabela 4, é apresentado o esquema da análise de variância conjunta, com as respectivas esperanças de quadrados médios e teste F.

Tabela 4 – Esquema da análise de variância com as respectivas fontes de variação (FV); graus de liberdade (GL); quadrados médios (QM), esperanças de quadrados médios [E(QM)]; e estatística F.

<i>FV</i>	GL	QM	E (QM)^{1/}	F
<i>Blocos/Ambientes</i>	a(b – 1)	QMB	$\sigma^2 + g\sigma_B^2$	
Ambiente (A)	a – 1	QMA	$\sigma^2 \square \frac{ba}{a-1} + g\sigma_B^2 + g\Phi_A$	<i>QMA/QMB</i>
Genótipos (G)	g – 1	QMG	$\sigma^2 + ba\Phi_G$	<i>QMG/QMR</i>
G x A	(g – 1)(a – 1)	<i>QMGA</i>	$\sigma^2 + b\Phi_{GA}$	<i>QMGA/QMR</i>
Resíduo	a(g – 1)(b – 1)	QMR	σ^2	
Total	bga – 1			

^{1/} **a = número de ambientes; b = número de blocos; g = número de genótipos**

Para as características, que demonstraram diferenças estatísticas significativas pelo teste F, no intuito de verificar diferenças entre médias, foi realizado o Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, entre os genótipos, dentro de cada ambiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento da umidade do solo (Figura 5 e 6) indica que, no experimento com déficit hídrico, os valores mínimos de umidade aproximaram-se de ponto de murcha permanente na camada de 0 - 20 cm e, na camada de 20 - 40 cm ficaram próximos a 50 % da capacidade de esgotamento hídrico do solo. Enquanto que na condição sem déficit hídrico, a umidade foi mantida próxima ou superior à capacidade de campo nas duas camadas estudadas.

As lâminas de irrigação aplicadas acrescidas pela precipitação pluvial, ocorridas ao longo do período da semeadura à colheita, totalizaram 302 mm e 484 mm para os experimentos com déficit hídrico (CDH) e sem déficit hídrico (SDH), respectivamente.

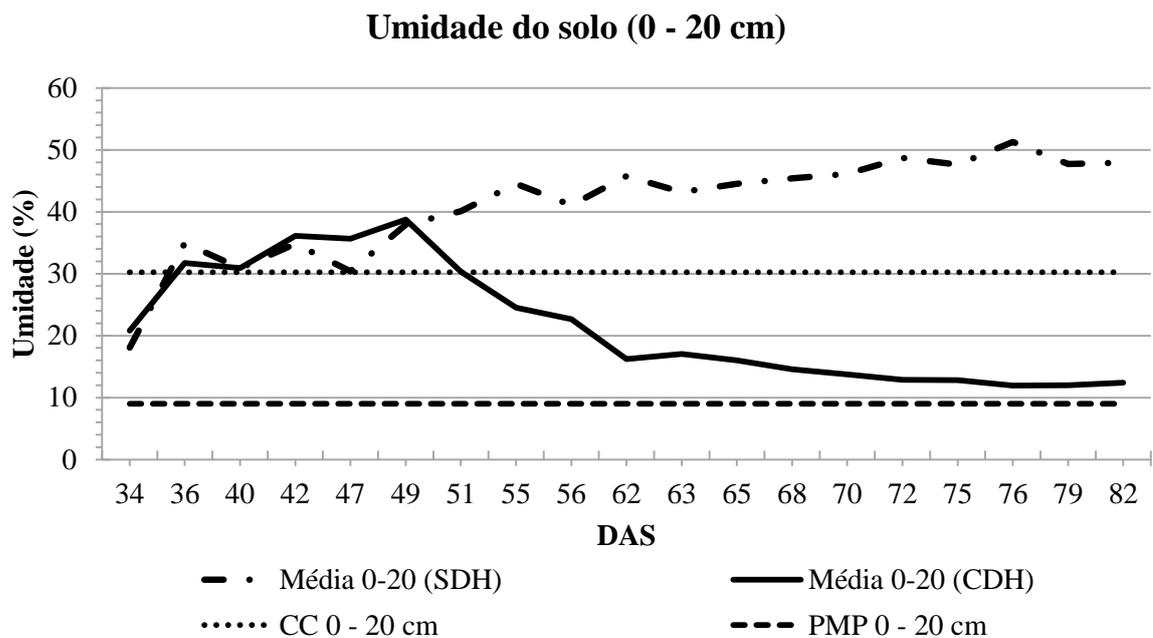


Figura 5. Variação da umidade do solo (%) até a profundidade de 20 cm, ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012.

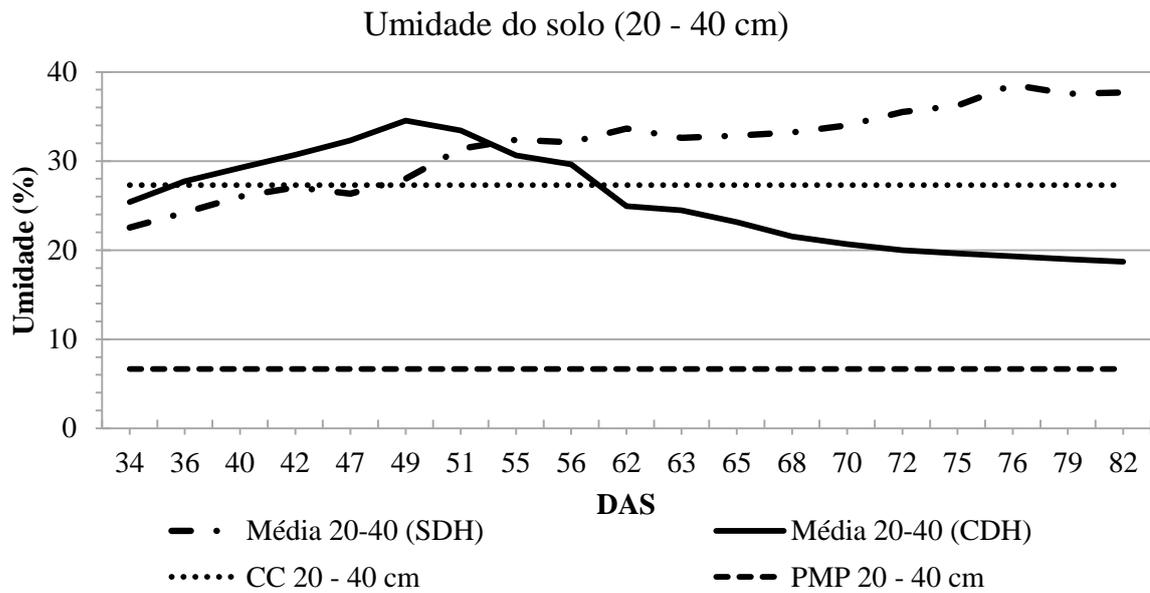


Figura 6. Variação da umidade do solo (%) na profundidade de 20 - 40 cm, ao longo do ciclo fenológico de híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, 2012.

5.1 Variáveis de crescimento

Nas Tabelas 5 e 6 encontram-se as análises de variância e os resultados da comparação das médias para as variáveis de crescimento. Observou-se variação significativa entre híbridos e entre ambientes para as variáveis, altura de planta (ALP) e índice de área foliar (IAF). Porém, não ocorreu interação significativa entre híbridos e ambiente para as variáveis em estudo. No caso do IAF, a significância entre ambientes foi verificada em duas leituras.

Tabela 5 - Médias da característica altura de planta (ALP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com déficit hídrico (CDH) e sem déficit hídrico (SDH) em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica			
	Altura (cm) – ALP			
	CDH	SDH	Média	
DKB 599	128,8	130,5	129,6	c
BRS 330	121,9	130,9	126,4	c
AS 4610	142,7	150,0	146,4	b
BRS 380	111,5	121,7	116,6	d
BRS 309	113,8	121,5	117,6	d
AG 1040	125,2	135,1	130,1	c
BRS 310	120,3	135,3	127,8	c
DKB 551	122,0	132,9	127,5	c
1G 282	148,9	161,2	155,1	a
50 A 50	121,0	130,8	125,9	c
BRS 305	146,2	176,8	161,5	a
BRS 373	110,0	113,6	111,8	d
Média	126,0	B	136,7	A
CV (%)			6,45	
Teste F			*	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Para a altura de planta (ALP), verificou-se que as médias variaram de 110 a 148,9 cm e de 113,6 a 176,8 cm, nos ambientes com e sem déficit hídrico, respectivamente.

Houve uma redução de 7,8 % na média geral da ALP em condições de déficit hídrico em relação à sem déficit. Comparando a média geral dessa característica nas condições sob déficit hídrico e sob irrigação plena, Santos et al. (2004) observaram que houve variação da ALP. Obtiveram média geral de 111 cm nas condições de déficit hídrico. Para Magalhães et al. (2012b) o déficit hídrico é um dos fatores que afeta a altura da planta.

Guedes et al. (2007) encontraram valores médios de ALP de 138,14 cm sob déficit hídrico e 142,26 cm na condição sem déficit hídrico. Evidências de que a ALP foi influenciada pelo DH foram verificadas em outras pesquisas (Magalhães et al., 1993; Peiter e Carlesso, 1996; Magalhães et al, 2012b). Para Durães et al. (2004), a redução da altura de planta sob déficit hídrico é consequência da diminuição da abertura de estômatos e, consequentemente, da absorção de CO₂ afetando assim negativamente a taxa de fotossíntese.

Para o índice de área foliar (IAF), destaca-se que a significância entre ambientes foi verificada apenas nas leituras realizadas aos 84 e 91 dias após a semeadura (DAS). Constatou-se a ocorrência de redução média do IAF em 38,1 % na leitura feita aos 84 DAS e de 36,4 % na leitura seguinte (Tabela 6). Resultados semelhantes foram obtidos por Magalhães et al. (1993), Peiter e Carlesso (1996) em pesquisa com sorgo e por Bastos et al. (2011a) em pesquisa com milho. Estes autores comprovaram redução do IAF com o déficit hídrico.

Segundo Taiz e Zeiger (2006), a expansão foliar é um processo movido pelo turgor e extremamente sensível ao déficit hídrico. A inibição da expansão celular provoca uma lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento de déficits hídricos. Assim, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca.

Tabela 6 - Médias do índice de área foliar (IAF), avaliadas em diferentes dias após a semeadura (DAS) em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica									
	IAF 84 (DAS)					IAF 91 (DAS)				
	CDH	SDH	Média			CDH	SDH	Média		
DKB 599	6,7	11,5	9,1	a		6,5	10,1	8,3	a	
BRS 330	3,0	6,4	4,7	b		2,5	5,9	4,2	b	
AS 4610	3,2	4,5	3,8	b		2,7	3,2	3,0	c	
BRS 380	2,1	4,5	3,3	b		1,8	3,6	2,7	c	
BRS 309	2,3	5,5	3,9	b		1,6	4,9	3,2	c	
AG 1040	5,3	6,4	5,9	b		4,7	5,6	5,1	b	
BRS 310	2,8	6,0	4,4	b		2,6	4,5	3,6	c	
DKB 551	4,2	8,1	6,2	b		3,7	7,3	5,5	b	
1G 282	3,1	5,3	4,2	b		2,8	5,2	4,0	b	
50 A 50	5,3	5,2	5,2	b		4,5	4,6	4,5	b	
BRS 305	7,3	8,7	8,0	a		7,2	8,4	7,8	a	
BRS 373	2,0	3,5	2,7	b		1,7	2,3	2,0	c	
Média	3,9	B	6,3	A	5,1	3,5	B	5,5	A	4,5
CV (%)	44,57					45,21				
Teste F	*					*				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de mesma característica, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

5.2 Variáveis produtivas

Nas Tabelas 7 a 12 encontram-se os resultados da ANOVA conjunta e da comparação das médias para as características produtivas: estande final de plantas (SFP), número de panículas (NP), peso de panículas (PP), peso de grãos (PG), índice de colheita de panícula (ICP), peso de cem grãos (PCG) e produtividade de grãos (PROD). Ocorreu interação significativa entre híbridos e ambiente para as características NP, PP, PG, ICP e PROD. Isto não foi verificado em relação ao SFP e PCG.

Ressalte-se que para o PCG, observou-se interação significativa entre os híbridos. Desta forma, fez-se o teste de agrupamento de médias, nas médias marginais e não dentro de cada ambiente. Em relação ao SFP, a média dos híbridos não diferiu estatisticamente entre si pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 7). Isto pode ser explicado em decorrência do déficit hídrico não ter sido suficiente para ocasionar morte de plantas. Para as características produtivas em que houve interação significativa entre híbridos e ambiente, realizou-se o teste de médias entre híbridos dentro de cada ambiente.

Tabela 7 - Médias da característica estande final de plantas (SFP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica		
	Estande - SFP (Nº plantas/4 m ²)		
	CDH	SDH	Média
DKB 599	63,3	63,0	63,1
BRS 330	63,8	62,0	62,9
AS 4610	62,5	62,5	62,5
BRS 380	70,3	64,0	67,1
BRS 309	64,5	64,0	64,3
AG 1040	64,3	65,3	64,8
BRS 310	67,3	71,3	69,3
DKB 551	66,0	63,0	64,5
1G 282	62,5	67,3	64,9
50 A 50	61,5	66,0	63,8
BRS 305	63,5	65,5	64,5
BRS 373	62,5	63,8	63,1
Média	64,3 A	64,8 A	64,6
CV (%)	6,73		
TesteF	n.s		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;

^{ns} Média dos híbridos não diferem estatisticamente entre si para a característica Estande, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 8, verifica-se que embora não tenha ocorrido diferença significativa entre híbrido e ambiente para o peso de cem grãos (PCG), observou-se que houve redução de 15,4% desta característica sob condição de déficit hídrico (DH).

Resultados encontrados por Bastos et al. (2008b) e Santos et al. (2004), também indicaram redução deste componente no experimento cujas plantas foram submetidas a DH e, que esta redução, influenciou na produtividade de grãos.

Essa redução se justifica pela redução de fotoassimilados provocada pelo déficit hídrico, prejudicando o enchimento de grãos e, conseqüentemente, reduzindo o peso de cem grãos.

Tabela 8. Médias da característica peso de cem de grãos (PCG), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica			
	PCG (g/4 m ²)			
	CDH	SDH	Média	
DKB 599	1,63	2,10	1,87	c
BRS 330	1,13	1,55	1,34	e
AS 4610	1,88	2,28	2,08	b
BRS 380	1,47	1,76	1,62	d
BRS 309	1,51	1,70	1,60	d
AG 1040	2,00	2,20	2,10	b
BRS 310	1,46	1,64	1,55	d
DKB 551	2,25	2,53	2,39	a
1G 282	2,22	2,53	2,38	a
50 A 50	1,55	2,07	1,81	c
BRS 305	2,01	2,31	2,16	b
BRS 373	1,32	1,44	1,38	e
Média	1,70	A	2,01	A
CV(%)			11,49	
TesteF			**	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando o número de panículas (NP), verificou-se uma redução média de 4% deste componente sob condição de déficit hídrico (Tabela 9).

A média geral do NP na condição de déficit hídrico foi de 64,7 (161.750 panículas/ha) e sob irrigação plena 67,4 (168.500 panículas/ha). Resultados obtidos por Bastos et al. (2008b), mostraram que o número de panículas foi afetado pela deficiência hídrica, influenciando na

produtividade de grãos. Segundo estes autores, sem deficiência hídrica (DH) a média geral foi de 157.111 panículas/ha; 3,62 vezes maior em relação à média do ensaio com DH (43.394 panículas/ha). Essas diferenças podem ser explicadas pelo nível de estresse hídrico e pelas condições de solo às quais foram submetidos os experimentos.

Tabela 9. Médias da característica número de panículas (NP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica			
	NP/4 m ²			
	CDH		SDH	
DKB 599	64,5	aA	64,3	aA
BRS 330	65,3	aA	64,0	aA
AS 4610	61,8	aA	61,8	aA
BRS 380	65,8	aA	68,3	aA
BRS 309	65,0	aA	64,0	aA
AG 1040	65,3	aA	66,8	aA
BRS 310	68,5	aA	71,3	aA
DKB 551	67,3	aA	68,5	aA
1G 282	56,8	aB	76,8	aA
50 A 50	66,5	aA	67,3	aA
BRS 305	65,0	aA	67,8	aA
BRS 373	64,5	aA	68,3	aA
Média	64,7		67,4	
CV (%)		8,06		
Teste F		*		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 10 são apresentadas as médias do peso de panículas (PP) e do peso de grãos (PG). Obteve-se redução de 29,1 % e 33,6 %, respectivamente, para PP e PG em condições de déficit hídrico.

Reduções destas variáveis foram observadas em pesquisa com sorgo realizada por Bastos et al. (2008) que obtiveram para a primeira característica (PP) média geral de 5.315 kg ha⁻¹ (sem deficiência hídrica) superior em 4,15 vezes à média geral de 1.282 kg ha⁻¹ (com deficiência hídrica).

A redução destas variáveis pode ser explicada em função de que o déficit hídrico (DH) pode provocar o fechamento de estômatos, reduzindo a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, reduzindo o peso de panículas e o peso de grãos (MAGALHÃES et al., 2012a).

Tabela 10. Médias das características peso de panícula (PP) e peso de grãos (PG), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica							
	PP (g/4m ²)				PG (g/4m ²)			
	CDH		SDH		CDH		SDH	
DKB 599	2014,0	c B	3734,8	b A	1246,3	c B	2492,8	b A
BRS 330	1791,0	c A	1819,8	d A	1019,3	c A	1243,5	d A
AS 4610	2460,3	c A	2616,0	c A	1521,3	c A	1752,5	c A
BRS 380	1882,0	c B	2454,3	c A	1221,0	c A	1485,0	d A
BRS 309	2174,8	c B	2988,8	c A	1459,5	c B	2038,5	c A
AG 1040	2071,0	c B	3553,3	b A	1368,3	c B	2597,3	b A
BRS 310	2285,8	cA	2821,0	c A	1551,5	c A	1929,8	c A
DKB 551	1826,8	c B	3153,0	c A	1165,8	c B	2280,5	b A
1G 282	2714,5	b B	4302,0	aA	1934,5	b B	3145,3	aA
50 A 50	1890,5	c B	3601,8	b A	1218,8	c B	2569,3	b A
BRS 305	3510,0	aA	4067,0	aA	2375,3	a B	2993,5	aA
BRS 373	2355,8	c A	2917,8	c A	1403,3	c A	1804,0	c A
Média	2248,0		3169,1		1457,0		2194,3	
CV(%)		14,94				16,74		
TesteF		**				**		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha dentro de mesma característica, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

As médias do índice de colheita de panícula (ICP) são mostradas na Tabela 11. Constatou-se uma redução de 7,3 % do ICP no sorgo submetido a condições de déficit hídrico. Resultados observados por Santos et al. (2004) em experimento com sorgo, mostraram influência da condição de déficit hídrico imposta às plantas em relação a essa característica.

Tabela 11. Médias do índice de colheita de panícula (ICP), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica	
	ICP	
	CDH	SDH
DKB 599	0,62 b A	0,66 b A
BRS 330	0,57 b B	0,68 b A
AS 4610	0,62 b A	0,67 b A
BRS 380	0,65 aA	0,61 c A
BRS 309	0,67 aA	0,68 b A
AG 1040	0,65 a B	0,73 aA
BRS 310	0,68 aA	0,68 b A
DKB 551	0,64 a B	0,73 aA
1G 282	0,71 aA	0,74 aA
50 A 50	0,65 a B	0,71 aA
BRS 305	0,67 a B	0,74 aA
BRS 373	0,59 b A	0,62 c A
Média	0,64	0,69
CV (%)	5,59	
Teste F	**	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Para a característica produtividade de grãos (PROD), observou-se que as médias variaram de 2.515,6 a 5.842,6 kg ha⁻¹ e de 3.036,4 a 7.688,5 kg ha⁻¹; nos ambientes com e sem déficit hídrico, respectivamente (Tabela 12). Os híbridos BRS 305 e o 1G 282 apresentaram as maiores produtividades de grãos nas duas condições. Ocorreu uma redução de 33,1 % na média geral da PROD sob condição de déficit hídrico em relação ao outro regime hídrico. Resultados de produtividade de grãos de sorgo obtidos por Santos et al. (2004) foram observados variando de 2.135 a 5.370 kg ha⁻¹ em condições de déficit hídrico, com média geral de 3.156 kg ha⁻¹ próxima ao valor obtido no presente estudo que foi de 3.591,6 kg ha⁻¹.

Silva et al. (2008) e Bastos et al. (2008b), avaliando diferentes genótipos de sorgo sob dois regimes hídricos (com e sem deficiência hídrica) verificaram que a produtividade de grãos na condição de irrigação plena foi 2,27 e 3,36 vezes superior à com déficit hídrico. Esses resultados são concordantes com os desta pesquisa, demonstrando que o déficit hídrico,

quando ocorre em pós florescimento na cultura estudada, causa redução significativa na característica analisada.

Diversos autores realizaram testes com a cultura do milho e verificaram que o déficit hídrico influenciou na redução da produtividade de grãos, quando a mesma era submetida a condições com déficit hídrico em comparação a condições de irrigação plena (GOMES et al., 2011; BERGAMASCHI et al., 2004; BRITO et al., 2011; BASTOS et al., 2011a).

Tabela 12. Médias da característica produtividade de grãos (PROD), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica	
	Produtividade grãos (kg ha ⁻¹) - PROD	
	CDH	SDH
DKB 599	3066,9 c B	6060,1 b A
BRS 330	2515,6 c A	3036,4 d A
AS 4610	3746,6 c A	4259,2 c A
BRS 380	3010,4 c A	3606,1 d A
BRS 309	3602,4 c B	4995,0 c A
AG 1040	3362,6 c B	6351,1 b A
BRS 310	3828,0 c B	4727,8 c A
DKB 551	2893,2 c A	5576,6 b A
1G 282	4767,2 b A	7688,5 aA
50 A 50	3011,4 c A	6318,3 b A
BRS 305	5842,6 aA	7329,4 aA
BRS 373	3451,8 c B	4391,7 c A
Média	3591,6	5361,7
CV(%)	16,52	
TesteF	**	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

5.3 Número de dias para o florescimento (NDF)

Em relação à característica florescimento só houve interação significativa entre os híbridos. Portanto, fez-se o teste de agrupamento de médias nas médias marginais e não dentro de cada ambiente, ou seja, realizou-se o teste calculando-se a média geral do híbrido sem se considerar o ambiente individualmente. Na Tabela 13 encontram-se os valores das médias dos híbridos de sorgo granífero. O fato de não ter ocorrido diferenças significativas entre os ambientes pode ser devido às condições de temperatura do ar serem semelhantes e a

imposição do déficit hídrico (DH) ter acontecido aos 47 dias após a semeadura, próximo ao florescimento. Consequentemente, o DH não influenciou na fenologia da cultura.

Tabela 13. Médias da característica número de dias para o florescimento (NDF), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica			
	NDF (dias)			
	CDH	SDH	Média	
DKB 599	62,5	64,3	63,4	a
BRS 330	58,3	57,8	58,0	d
AS 4610	57,0	56,5	56,8	e
BRS 380	57,8	58,0	57,9	d
BRS 309	58,5	58,5	58,5	d
AG 1040	62,3	61,5	61,9	b
BRS 310	57,0	57,3	57,1	e
DKB 551	61,3	60,5	60,9	b
1G 282	61,3	58,8	60,0	c
50 A 50	59,3	58,0	58,6	d
BRS 305	61,5	61,0	61,3	b
BRS 373	58,3	58,3	58,3	d
Média	59,6 A	59,2 A	59,4	
CV (%)		1,94		
Teste F		**		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

5.4 Teor de clorofila na folha (TCF)

Para a avaliação do TCF foi considerada a leitura realizada aos 68 dias após a semeadura (DAS), já que não ocorreu interação significativa entre híbridos e ambiente nas leituras realizadas aos 62 e 77 DAS.

As médias do TCF são apresentadas na Tabela 14. O TCF sofreu redução média de 9,3% na condição de déficit hídrico com valores médios variando de 41,6 a 51,4. Redução do TCF sob condição de déficit hídrico também foi relatado por vários autores (KAMARA et al., 2003; EFEOĞLU et al., 2009; MAGALHÃES et al., 2009; ALI et al., 2011).

Para Efeoğlu et al. (2009) a redução do TCF está associada à aceleração da senescência foliar causada pelo déficit hídrico. Portanto, a redução no TCF pode ter impacto na produção

por reduzir a eficiência fotossintética (BLUM, 2005), que é diretamente relacionada com a quantidade de clorofila nas folhas.

Tabela 14. Médias da característica teor de clorofila na folha (TCF), avaliadas aos 68 dias após a semeadura em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica			
	TCF			
	CDH	SDH	Média	
DKB 599	41,0	46,3	43,7	b
BRS 330	46,5	50,4	48,4	a
AS 4610	45,7	56,0	50,9	a
BRS 380	47,5	51,2	49,3	a
BRS 309	50,2	52,7	51,4	a
AG 1040	37,6	45,6	41,6	b
BRS 310	45,8	49,3	47,6	a
DKB 551	46,2	46,4	46,3	b
1G 282	44,9	49,5	47,2	a
50 A 50	43,2	49,3	46,3	b
BRS 305	48,9	52,5	50,7	a
BRS 373	42,5	46,4	44,4	b
Média	45,0	B	49,6	A
CV (%)	8,74			
Teste F	**			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

5.5 Eficiência de uso da água (EUA)

Na Tabela 15 são mostrados os valores médios de eficiência do uso da água (EUA). Houve interação significativa entre híbridos e ambiente a 1% de probabilidade. Por isso, fez-se o teste de médias entre híbridos dentro de cada ambiente.

As médias da EUA na condição de déficit hídrico ficaram entre 8,31 a 19,31 kg ha⁻¹ mm⁻¹. A média geral no ambiente com déficit hídrico foi de 11,87 kg ha⁻¹ mm⁻¹, superior 7,13 % à média geral na condição sem DH.

Tanto na condição sob déficit hídrico como na irrigação plena, o híbrido BRS 305 foi o que apresentou maior EUA, seguido do híbrido 1G 282; esses dois não diferiram estatisticamente entre si na condição sem déficit hídrico e apresentaram as maiores

produtividades de grãos. Estes resultados indicam que esses híbridos apresentam maior capacidade de tolerância a seca e são responsivos à irrigação, características altamente desejadas para os híbridos de sorgo.

Tabela 15. Médias da característica eficiência do uso de água (EUA), avaliadas em 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

Híbridos	Característica	
	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	CDH	SDH
DKB 599	10,14 d A	12,51 b A
BRS 330	8,31 d A	6,27 d A
AS 4610	12,38 c A	8,79 c B
BRS 380	9,95 d A	7,44 d A
BRS 309	11,90 c A	10,31 c A
AG 1040	11,11 c A	13,11 b A
BRS 310	12,65 c A	9,76 c B
DKB 551	9,56 d A	11,51 b A
1G 282	15,75 b A	15,87 aA
50 A 50	9,95 d B	13,04 b A
BRS 305	19,31 aA	15,12 a B
BRS 373	11,41 c A	9,06 c A
Média	11,87	11,08
CV(%)	17,4	
Teste F	**	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

6 CONCLUSÕES

O déficit hídrico reduz a altura da planta, o índice de área foliar, o teor relativo de clorofila total na folha, o peso de cem grãos, o número de panículas, o peso de panículas, o peso de grãos, o índice de colheita de panícula e a produtividade grãos;

Os híbridos de sorgo granífero BRS 305 e 1G 282 apresentam características de tolerância à deficiência hídrica;

Os híbridos de sorgo granífero BRS 305 e 1G 282 são os mais responsivos à irrigação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, Z.; BASRA, S. M. A.; MUNIR, H.; MAHMOOD, A.; YOUSAF, S. Mitigation of Drought Stress in Maize by Natural and Synthetic Growth Promoters. **Journal of Agriculture & Social Sciences**, v.7, n.2, 2011.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico do ano de 2008 para o município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio -Norte, 2008a, 37p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 181).
- BASTOS, E. A.; BRITO, R. R.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARNEIRO, M. A.; GUIMARÃES, P. E. O. Híbridos elite de milho tolerantes a deficiência hídrica e a altas temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 17, 2011, Guarapari, ES. **Anais...** Guarapari: Incaper, 2011a. 1 CD ROM. 66
- BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; NASCIMENTO, S. P. do; SILVA, E. M. da; GOMIDE, R. L.; SANTOS, F. G. Comportamento produtivo de genótipos contrastantes de sorgo com e sem deficiência hídrica em Teresina, PI. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO , SPODOPTERA FRUGIPERDA, 3.; WORKSHOP SOBRE MANEJO E ETIOLOGIA DA MANCHA BRANCA DO MILHO, 2008, Londrina. Agroenergia, produção de alimentos e mudanças climáticas: desafios para milho e sorgo: trabalhos e palestras. [Londrina]: IAPAR; [Sete Lagoas]: Embrapa Milho e Sorgo, 2008b. 1 CD-ROM.
- BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, 2011b.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.
- BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, p.1159–1168, 2005.
- BRITO, R. R.; SOUSA, R. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Híbridos comerciais de milho tolerantes ao déficit hídrico . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40, 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBEA, 2011. 1 CD ROM.
- CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; PARENTONY, S. N.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; ROCHA, L. M. P. Fenotipagem de milho para tolerância a

deficiência hídrica e ao calor, em Teresina, Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17, 2011, Guarapari, ES. **Anais...** Guarapari: Incaper, 2011b. 1 CD ROM.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; PACHECO, C. A. P.; ROCHA, L. M. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. DE O.; PARENTONI, S. N.; SILVA, A. R. Rendimento de Grãos e Componentes de Rendimento de Híbridos Comerciais de Milho sob Deficiência Hídrica. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 2010, Goiânia. **Anais...**Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD ROM.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; ROCHA, L. M. P. Performance produtiva e eficiência de uso da água de híbridos de milho em condições hídricas contrastantes. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. Experiências para mitigação e adaptação. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011a. 1 CD ROM.

CARVALHO JÚNIOR, G. A. de; TARDIN, F. D.; BERNADINO, K. da C.; GODINHO, V. de P. C.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação da variabilidade do período de enchimento de grãos em sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. 2011 In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011. 1 CD-ROM

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** grãos, quarto levantamento. Brasília: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013. 45p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>. Acesso em: 25 Abr. 2013.

COÊLHO, K.J.F.; OLIVEIRA JR., J.O.L. de. Efeito da deficiência hídrica no solo sobre a eficiência no uso de água e a produção de matéria seca de dois cultivares de milho (*Zea mays*) **Agropecuária Técnica**, v.1/2, n. 11, p. 24-40, 1990.

CRUZ, C.D. Programa GENES: versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 648p., 2001.

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

DUARTE, J. O. **Sorgo: aspectos econômicos.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 27).

DUARTE, J. de O. Mercado e Comercialização. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo.** 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2).

DURÃES, F. O. M.; SANTOS, M. X. dos; GAMA, E. E. G; MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, C. T. **Fenotipagem Associada à Tolerância a Seca em Milho para Uso em Melhoramento, Estudos Genômicos e Seleção Assistida por Marcadores.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 39).

EFEOĞLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇİÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, v. 75, p.34-42, 2009.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Medidor eletrônico do teor de clorofila ClorofiLOG 1030**. 2008. 33 p. Manual de Instruções.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FAO. El sorgo y el mijo en la nutrición humana. **Colección FAO: Alimentación y nutrición**, nº 27, Roma, 1995. 197 p.

GOMES, P. H. F.; MENDES, F. F.; PARENTONI, S. N.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; OLIVEIRA, K. G. de; REIS, D. P.; TAVARES, R. B. Caracterização de híbridos de milho quanto à tolerância ao estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. [Búzios]: SBMP, 2011. 1 CD-ROM.

GUEDES, F. L.; TARDIN, F. D.; MAGALHAES, J. V. de; NASCIMENTO, J. M. S.; SANTOS, F. G. dos; SCHAFFERT, R. E. Avaliação fenotípica de linhagens de sorgo granífero quanto a tolerância a seca em pós-florescimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., 2007, São Lourenço. Melhoramento de plantas e agronegócio: Anais... Lavras: UFLA: SBMP, 2007. 1 CD-ROM.

HARLAN, J. R.; de WET, J. M. J. A simplified classification of cultivated sorghum. **Crop Science**, v. 12, p. 172-176, 1972.

HEINEMANN, A. B. Caracterização dos padrões de déficit hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência & Agrotecnologia**, v.34, n.1, 2010.

KAMARA, A. Y.; MENKIR, A.; BADU-APRAKU, B.; IBIKUNLE, O. Reproductive and staygreen trait responses of maize hybrids, improved open-pollinated varieties and farmer's local varieties to terminal drought stress. **Maydica**, v.48, p.29-37, 2003.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431 p.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Clima. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2).

LAWLOR, D. W. **Photosynthesis: Metabolism, Control and Physiology**. England: Longman Scientific e Technical, 1987, 262 p.

LEÃO, D. A. S. **Estresse hídrico e adubação fosfatada no desenvolvimento inicial e na qualidade da forragem da gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)**. Patos – 2006. 60p. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia).

MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, J. H. M. **Resposta fisiológica do sorgo ao estresse hídrico em casa de vegetação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012a. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; KARAM, D.; MAGALHÃES, M. M.; CANTÃO, F. R. O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.3, p. 223-232, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; RODRIGUES, J. A. S. Ecofisiologia. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012b. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46p. (Embrapa Milho e Sorgo - Circular Técnica, 3).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 87).

MAGALHÃES, P. C.; PAIVA, E.; ALBUQUERQUE, P. E. P. **Avaliação de genótipos de sorgo cultivados em solo ácido sob estresse hídrico**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 1993. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Pesquisa em Andamento, 11).

MONTEIRO, M. C. D.; da ANUNCIACÃO FILHO, C. J.; TABOSA, J. N.; de OLIVEIRA, F. J.; dos REIS, O. V.; BASTOS, G. Q. Avaliação do desempenho de sorgo forrageiro para o semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 1, p. 52-61, 2004.

PATERSON, A. H.; BOWERS, J. E.; PETERSON, D. G.; ESTILL, J. C.; CHAPMAN, B. Structure evolution of cereal genomes. **Current Opinion in Genetics & Development**, v. 13, p. 644-650, 2003.

PEITER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações da água disponível no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 51-55, 1996.

PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, 2007.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

PITOMBEIRA, J. B. **Notas de aula – Grandes culturas (Cultura do Sorgo)**. 44p. UFC, Fortaleza, CE, UFC, 2001.

RESENDE, M.; WILHELM, W. W.; WATTS, D. G. Estresse de água na planta e o teor de clorofila da folha milho irrigado para recomendação de nitrogênio em cobertura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. Centro-Oeste: cinturão do milho e do sorgo no Brasil: resumos. Goiânia: ABMS, 1994. p. 194.

RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 26).

RIBAS, P. M. Importância econômica. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2).

RODRIGUES, L. R.; GUADAGNIN, J. P.; PORTO, M. P. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul – Safras 2009/2010 e 2010/2011**. Veranópolis: FEPAGRO-Serra, 2009, 179 p.

SANS, L. M. A.; A. V. de C. DE MORAIS; D. P. GUIMARÃES. **Época de plantio de sorgo** (Comunicado Técnico). MAPA. Sete Lagoas. 2003.

SANTOS, F. G.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; LEITE, C. E. P.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E.; CASELA, C. R.; DURÃES, F. O. M. Avaliação de cultivares de sorgo granífero para resistência à seca em pós-florescimento. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 1., 2004, Cuiabá, MT. Da agricultura familiar ao agronegócio: tecnologia, competitividade e sustentabilidade: (resumos expandidos). Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Cuiabá: Empaer, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, E. M.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. RIBEIRO, V. Q.; TEIXEIRA, F. F.; GOMIDE, R. L.; SILVA, A. R. Grain yield of maize under full irrigation and water deficit, in Teresina, Piauí state. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2008. 1 CD ROM

STICKLER, F. C.; WEARDEN, S.; PAULI, A. W. Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, p. 187-188, 1961.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722 p.

TANAKA, A. A. **Desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de lençol freático**. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

TEIXEIRA, P. E. G.; TEIXEIRA, P. P. M. Potencial nutritivo da silagem de sorgo. In: WORKSHOP SOBRE PRODUÇÃO DE SILAGEM NA AMAZÔNIA, 1.,:2004, Belém. **Anais ...** Belém : Universidade Federal Rural, 2004 p. 83-100.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, n.44, p.892-898, 1980.

VIANA, M. C. M.; DURÃES, F. O. M.; QUEIROZ, C. G. S.; ISABEL, R. P.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Produção de fitomassa e teor de clorofila em linhagens de milho submetidas ao déficit hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 1., 2004, Cuiabá, MT. Da agricultura familiar ao agronegócio: tecnologia, competitividade e sustentabilidade: (resumos expandidos). Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Cuiabá: Empaer, 2004. 1 CD-ROM.

XIN, Z.; AIKEN, R.; BURKE, J. Genetic diversity of transpiration efficiency in sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 111, p. 74-80, 2009.

ZWART, S. J., BASTIAANSEN, W. G. M. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. **Agricultural Water Management**, v. 69, p. 115-133, 2004.

ANEXOS

Tabela 16 - Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para o teor de clorofila na folha (TCF) avaliado aos 68 dias após a semeadura (DAS), num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

FV	GL	Quadrado Médio	
		TCF (68 DAS)	
BLOCO/AMBIENTE	6	18,93	
HÍBRIDOS	11	74,99**	
AMBIENTES	1	518,09**	
HÍBRIDOSxAMBIENTE	11	13,71 ^{ns}	
RESÍDUO	66	17,09	
CV (%)		8,74	

^{ns}, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 17 - Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para o índice de área foliar (IAF) avaliado aos 84 e 91 dias após a semeadura (DAS), num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

FV	GL	Quadrado Médio	
		IAF (84 DAS)	IAF (91DAS)
BLOCO/AMBIENTE	6	10,62	9,23
HÍBRIDOS	11	28,95**	30,07**
AMBIENTES	1	131,39*	89,28*
HÍBRIDOSxAMBIENTE	11	3,94 ^{ns}	3,34 ^{ns}
RESÍDUO	66	5,19	4,14
CV (%)		44,57	45,21

^{ns}, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 18 - Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para diferentes características avaliadas num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

FV	GL	Quadrado			Médio	
		Florescimento (dias)	Altura (cm)	Estande (n° p/4m ²)	NP	PP (g)
BLOCO/AMBIENTE	6	15,6875	327,748	23,1076	72,67	64432,13
HÍBRIDOS	11	34,2500 **	1870,58 **	29,5786 ns	33,43 ns	2236661,9 **
AMBIENTES	1	3,3750 ns	2734,9 *	5,5104 ns	178,7 ns	20361468 **
HÍB. x AMBIENTE	11	2,0341 ns	104,12 ns	20,7377 ns	64,19 *	747730,8 **
RESÍDUO	66	1,3314	71,7507	18,8501	28,31	163769,8
CV (%)		1,94	6,45	6,73	8,06	14,94

ns, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 19 - Análise de variância com as fontes de variação e, respectivos graus de liberdade e quadrado médio para diferentes características avaliadas num experimento com 12 híbridos de sorgo granífero cultivados com e sem déficit hídrico em Teresina-PI, safra 2012.

FV	GL	Quadrado				Médio	
		PG (g)	ICP	Produtividade (kg ha ⁻¹)	P100 (g)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
BLOCO/ AMBIENTE	6	102936,4688	0,00913	579392,1358	0,4782	2,7762	
HÍBRIDOS	11	1522009,92 **	0,01004 **	9180329,0914 **	1,0681 **	58,8008 **	
AMBIENTES	1	13045638,7604 **	0,04655 ns	75198857,3849 **	2,2378 ns	15,5485 ns	
HÍBRIDOSxAMBIENTE	11	412441,0104 **	0,00357 **	2489510,7095 **	0,0318 ns	13,1735 **	
RESÍDUO	66	93401,2263	0,00138	547026,3392	00455	3,9785	
CV (%)		16,74	5,59	16,52	11,49	17,40	

ns, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste F