



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

MARIA EMÍLIA BEZERRA DE ARAÚJO

ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE FEIJÃO – CAUPI NO LITORAL
CEARENSE

FORTALEZA

2014

MARIA EMÍLIA BEZERRA DE ARAÚJO

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE FEIJÃO – CAUPI NO LITORAL
CEARENSE**

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientador: Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa.

FORTALEZA

2014

MARIA EMÍLIA BEZERRA DE ARAÚJO

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE FEIJÃO – CAUPI NO LITORAL
CEARENSE**

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

Aprovada em: 25/04/2014

BANCA EXAMINADORA

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

Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

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

A69e Araújo, Maria Emília Bezerra de.
Estratégias de irrigação deficitária no desempenho agrônomo de cultivares de feijão – caupi no litoral cearense / Maria Emília Bezerra de Araújo.- 2014.
81 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2014.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientação: Prof. Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa.

1. Feijão-caupi. 2. Engenharia agrônomo. 3. Estresse hídrico. I. Título.

CDD 630

A Deus, por me dar forças para seguir a caminhada. Aos meus pais, Adelizira Bezerra e Deocrício Vieira pelo amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por estar sempre ao meu lado nas oportunidades e dificuldades de minha vida.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade de cursar Agronomia e ao corpo docente do curso, pelos inestimáveis ensinamentos transmitidos.

Ao Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, pela orientação, confiança, alegria, ensinamentos que tanto contribuem para o engrandecimento de minha formação pessoal e profissional.

Ao meu Coorientador Dr. Carlos Henrique, pelo grande apoio no decorrer da pesquisa, inclusive nas análises de campo, pelos conhecimentos e aconselhamentos transmitidos.

Ao membro da banca examinadora, Prof. Dr. Cley Anderson, por ter aceitado o convite de participar da banca, e por contribuir com seus conhecimentos no enriquecimento desta Dissertação.

Ao Prof. Dr. Thales Vinícius, pela paciência, ensinamentos e por todo o suporte na execução deste trabalho, pelo fornecimento da área experimental, do laboratório para análises, dos dados meteorológicos e equipamentos.

Ao Prof. Dr. Claudivan Feitosa, pela presteza em disponibilizar os equipamentos para a execução das análises inerentes as trocas gasosas foliares.

Ao Ms. Alexandre Reuber, pela valiosa ajuda desde o início desta pesquisa, por quem tenho enorme gratidão e admiração, pela amizade, paciência e por suas orientações no decorrer de todas as etapas deste trabalho.

Ao Ms. João Valdenor, pelo imenso apoio e ajuda na realização deste trabalho confiança, bom humor e amizade em todos os momentos.

Aos companheiros de trabalho Keivia Lino, Ronney Mendes, Jean Carlos, Robervânia Borges, Kássia Dias, pela amizade e força na realização do trabalho.

Aos companheiros de Pós-Graduação e Graduação, Aldiel Lima, Amauri Mendonça, Assunção Rocha, Diego Rolney, Gildean Portela. Júlio César, Kenya Nunes, Krishna Ribeiro, Breno Leonan, Crislene Nojosa, Darlan Braga, Dônavan Nolêto, Laís Monique, Marília Lessa, Mário Oliveira, Newdmar Fernandes Nilson Araújo, Olavo Moreira,

Reivany Eduardo, Ricardo Rodrigues, Sildemberny Santos, Weberte Alan, por todo o companheirismo e força.

Aos meus pais (Adelzira Bezerra e Deocricio Vieira), pelo amor e compreensão, a minha irmã (Ana Paula), pelo imenso apoio, força e amizade, ao meu sobrinho (Carlos Vinícius) e ao meu cunhado (Eduardo Pereira), enfim toda a minha família, pela confiança e solidariedade.

Ao meu noivo (Bruno Queirós) pelo amor, paciência, confiança e incentivo em todos os momentos.

As amigas, Fabiana Rodrigues, Jamille Santos, Zirlane Portugal, Eveline Lima e Rachel Hellen pela amizade e bons momentos juntas.

A todos da estação meteorológica, pelo acolhimento, companheirismo e força.

Aos professores e funcionários ligados ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela colaboração ao longo do curso e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Finalmente, agradeço a todos que porventura não foram citados, mas que de certa forma contribuíram para a realização desta Dissertação de Mestrado.

“Algo só é impossível até que alguém
duvide e resolva provar ao contrário.”
(Albert Einstein)

RESUMO

ARAÚJO, Maria Emília Bezerra de. Universidade Federal do Ceará, abril 2014. **Estratégias de irrigação deficitária no desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi no litoral cearense.** Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, Conselheiros: Prof. Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa, Dr. Cley Anderson Silva de Freitas.

As culturas agrícolas demandam grandes volumes de água no processo produtivo, sendo oportuno identificar quais os estádios de desenvolvimento com maior sensibilidade hídrica visando definir uma estratégia de manejo da irrigação. Assim, objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar os efeitos do déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos das cultivares de feijão-caupi, Sempre Verde e Setentão, com o intuito de obter informações sobre a viabilidade técnica do uso da irrigação deficitária na cultura. O experimento foi conduzido na área experimental da Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, definidos em função da época de indução do déficit hídrico (em um, dois ou três estádios fenológicos), correspondente à aplicação da metade da lâmina de irrigação do tratamento sem déficit hídrico. Foram avaliadas ao término de cada estágio fenológico as variáveis: taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática. Ao término do ciclo foram analisadas a matéria seca da parte aérea e a participação de cada uma delas em relação à produção de fitomassa seca total e o índice de colheita. Avaliaram-se os componentes de produção (massa de cem grãos, número de vagens por planta, comprimento das vagens, número de grãos por vagem e produtividade). Estimaram-se ainda, os índices de eficiência de uso da água para a produção de matéria seca total da parte aérea e para a produtividade de grãos. As variáveis foram submetidas à análise estatística realizando-se análise de variância (Teste F) e Teste de Tukey para comparação de médias. Os resultados mostraram que a cultivar Setentão foi superior estatisticamente em todas as variáveis de trocas gasosas. A fotossíntese e a transpiração foram influenciadas pela interação entre os tratamentos x cultivares x épocas, com exceção da condutância estomática. A época de floração apresentou os maiores valores de transpiração, e a condutância estomática atingiu os maiores valores na época vegetativa. Os déficits de irrigação e as cultivares interagiram e afetaram a produção e partição da matéria seca da parte aérea, índice de colheita, componentes de produção e produtividade, porém não influenciou o número de vagens por planta. O déficit hídrico, no estágio de formação da produção (T2), não influenciou a produção de matéria seca total da parte aérea. O manejo da irrigação com déficit na cultura do feijão-caupi pode resultar em maior eficiência de uso da água por parte da cultura.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Componentes agrônômicos. Restrição de água.

ABSTRACT

ARAÚJO, Maria Emília Bezerra de. Universidade Federal do Ceará, abril 2014. **Strategies deficit irrigation on agronomic performance of cultivars of cowpea in the Ceara coast.** Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, Conselheiros: Prof. Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa, Dr. Cley Anderson Silva de Freitas.

Agricultural crops require large volumes of water in the production process and it is important to identify the appropriate stages of development with higher water sensitivity in order to define a strategy for irrigation management. Thus, the aim of this research was to evaluate the effects of water stress at different growth stages of two cowpea cultivars, Sempre Verde and Setentão, in order to obtain information on the technical feasibility of using deficit irrigation for this crop. The experiment was conducted at the experimental site of the Agrometeorological Station of the Department of Agricultural Engineering. The experimental design was a randomized block with eight treatments and four replicates, according to the time of drought induction (in one, two or three phenological stages), and corresponding to the application of half the sheet of water of the treatment without water deficit. Rates of photosynthesis, transpiration and stomatal conductance were assessed at the end of each phenological stage. At the end of the growth cycle, shoot dry matter and its participation in total dry matter and harvest index were analyzed. The components of production (weight of one hundred grains, number of pods per plant, pod length, number of grains per pod and productivity) were evaluated. In addition, the water use efficiency for total shoot dry matter production and for grain yield was estimated. The variables were analyzed statistically by performing analysis of variance (F test) and Tukey's test for comparison of means. The results showed that the cultivar Setentão was statistically higher in all gas exchange variables. Photosynthesis and transpiration were influenced by the interaction between cultivars x treatments x times, but not stomatal conductance. Transpiration was highest during flowering while stomatal conductance was highest during vegetative growth. There was interaction between irrigation deficits and cultivars, which affected shoot dry matter production and partitioning, harvest index, yield components and yield, but not the number of pods per plant. Water shortages in the stage of yield formation (T2) did not influence total shoot dry matter. Irrigation management with deficits in cowpea can result in greater efficiency of water use by the crop.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Agronomic components. Restriction of water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização da área experimental. Fortaleza, CE, 2012.....	27
Figura 2 -	Estádio vegetativo (A), estágio de floração (B) e estágio de formação da produção (C), respectivamente, da cultura do feijão-caupi. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	30
Figura 3 -	Croqui geral da distribuição dos tratamentos na área experimental. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	31
Figura 4 -	Preparo do solo da área experimental. Fortaleza – CE, 2012.....	31
Figura 5 -	Semeadura (A) e área experimental após a realização do desbaste (B). Fortaleza-CE, 2012.....	32
Figura 6 -	Coleta do material vegetal ao final do ciclo (aos 83 DAS). Fortaleza – CE, 2013.....	35
Figura 7 -	Medições de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (g _s) com o analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT utilizado no experimento. Fortaleza-CE, 2012.....	36
Figura 8 -	Contribuição relativa percentual (%) da fitomassa seca das folhas, das hastes e das vagens na produção de fitomassa seca total do feijão-caupi, cv. Sempre (C1) e Setentão (C2), cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013.....	56
Figura 9 -	Valores médios do número de vagens por planta (NVP) do feijão-caupi cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores médios de temperatura (T), velocidade do vento (V), umidade relativa (UR), e acumulados de precipitação (P), insolação (INS), e evaporação medida no Tanque Classe A (ECA) obtidos durante o período experimental. Fortaleza, CE, 2012/2013.....	28
Tabela 2 -	Atributos físico – hídrica e química do solo na camada (0 - 30 cm) da área experimental. Fortaleza - CE, 2012/2013.....	28
Tabela 3 -	Atributos químicas da água utilizada no experimento. Fortaleza - CE, 2012/2013.....	29
Tabela 4 -	Identificação dos tratamentos utilizados no experimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	30
Tabela 5 -	Resumo da análise de variância das variáveis fotossíntese, transpiração e condutância estomática do feijão-caupi, submetidas à deficiência hídrica nos diferentes estádios fenológicos. Fortaleza – CE, 2012/2013...	39
Tabela 6 -	Médias dos dados de fotossíntese (A) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	40
Tabela 7 -	Médias dos dados de transpiração (E) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	44
Tabela 8 -	Médias dos dados de condutância estomática (g_s) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	46
Tabela 9 -	Resumo das análises das variâncias para os dados de matéria seca da parte aérea do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	48
Tabela 10 -	Médias dos dados de matéria seca das folhas (MSF), matéria seca das hastes (MSH), matéria seca das vagens (MSV) e matéria seca total (MST) em ($g\ planta^{-1}$) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	49
Tabela 11 -	Resumo das análises de variância das variáveis de porcentagem de matéria seca do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013.....	52
Tabela 12 -	Contribuição relativa percentual (%) da fitomassa seca das folhas, das hastes e das vagens na produção de fitomassa seca total e índice de	

	colheita do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013.....	53
Tabela 13 -	Resumo das análises de variâncias para as variáveis de componentes de produção do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013.....	58
Tabela 14 -	Valores médios da massa de 100 grãos (MCG), número de vagens por planta (NVP), comprimento médio das vagens (COV), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade de grãos (PG) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	59
Tabela 15 -	Resumo das análises de variância das variáveis de eficiência do uso de água em relação à produção de matéria seca e a produção de grãos do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013.....	66
Tabela 16 -	Valores médios da lâmina aplicada em cada tratamento durante o ciclo da cultura, da eficiência do uso da água em relação à matéria seca (EUA _{MST}) e da eficiência do uso de água em relação à produção de grãos (EUA _{PROD.}) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	A cultura do feijão-caupi.....	17
2.1.1	<i>Origem, classificação e distribuição geográfica.....</i>	17
2.1.2	<i>Aspectos morfológicos e fisiológicos.....</i>	18
2.1.3	<i>Usos, importância socioeconômica e principais produtores.....</i>	19
2.2	Irrigação.....	21
2.3	Déficit hídrico.....	23
2.4	Efeitos do déficit hídrico.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	Caracterização da área experimental.....	27
3.1.1	<i>Localização da área experimental.....</i>	27
3.1.2	<i>Caracterização climática.....</i>	27
3.1.3	<i>Caracterização do solo.....</i>	28
3.1.4	<i>Análise química da água.....</i>	29
3.2	Material vegetal.....	29
3.3	Delineamento experimental e tratamentos.....	29
3.4	Instalação e condução da cultura.....	31
3.4.1	<i>Preparo da área.....</i>	31
3.4.2	<i>Adubação.....</i>	32
3.4.3	<i>Semeadura e desbaste.....</i>	32
3.5	Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação.....	33
3.6	Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários.....	35
3.7	Colheita.....	35
3.8	Variáveis analisadas.....	36
3.8.1	<i>Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Condutância Estomática (g_s).....</i>	36
3.8.2	<i>Matéria seca da parte aérea.....</i>	36
3.8.3	<i>Partição da matéria seca e Índice de colheita (IC).....</i>	37
3.8.4	<i>Componentes de produção e produtividade.....</i>	37
3.8.5	<i>Eficiência do uso da água.....</i>	37
3.9	Análise estatística.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39

4.1	Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Condutância Estomática (g_s).....	39
4.2	Matéria seca da parte aérea.....	48
4.3	Partição da matéria seca e Índice de colheita (IC).....	52
4.4	Componentes de produção e produtividade.....	58
4.5	Eficiência do uso da água.....	66
5	CONCLUSÕES.....	71
	REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) representa fundamental importância socioeconômica para o Nordeste e Norte do Brasil, sendo considerada uma das principais fontes protéicas das populações dessas regiões. Nas condições de cultivo da espécie, principalmente no Nordeste brasileiro, ocorrem certos locais e épocas do ano em que prevalecem condições ambientais adversas de deficiência hídrica e de altas temperaturas (NASCIMENTO, 2009). Apesar de adaptadas às condições ambientais de cultivo, reduções na produtividade podem ser justificadas por vários fatores, como o uso de sementes não melhoradas, o cultivo em solos de baixa fertilidade, ocorrência de pragas e doenças, de manejo inadequado e devido as irregularidades das precipitações pluviométricas.

A instabilidade climática afeta as culturas agrícolas em quase todas as regiões produtoras do Brasil, com períodos de excessos e de deficiência hídrica. O emprego da irrigação para a cultura do feijão-caupi, que se caracteriza por ser sensível à deficiência hídrica, é essencial em regiões onde ocorre distribuição irregular das precipitações pluviais, propiciando grande oscilação na produção nacional de feijão (MIORINI, 2012). A deficiência hídrica é condição comum no Nordeste do País, sendo um dos fatores que comumente reduzem a produtividade do feijão-caupi (MENDES *et al.*, 2007).

Nesse cenário, a prática da irrigação apresenta-se como um dos principais meios que podem ser adotados para superar os efeitos da escassez hídrica, atribuindo uma atenção especial ao seu manejo, determinando de forma precisa as necessidades hídricas das culturas sem déficit, nem excesso. Assim, como a lâmina de irrigação adequada para cada estágio fenológico da cultura, de modo a permitir a manifestação de todo o potencial produtivo das culturas agrícolas e, levando-se em consideração, que o efeito do déficit de água no solo sobre a produção varia com a intensidade e período em que este ocorre (MAROUELLI *et al.*, 1988; NANGOI, 2010).

Uma vez que as culturas irrigadas demandam grandes consumos de água no processo produtivo, é muito oportuno identificar quais os estádios de desenvolvimento com maior sensibilidade hídrica visando definir uma estratégia de economia de água com pequeno impacto na produtividade, por exemplo, nas fases em que o fornecimento de água afeta menos a produção, pode-se reduzir a lâmina aplicada, gerando economia sem comprometer a produtividade (MIORINI, 2012). O requerimento de água pela cultura do feijão-caupi é variável com o seu estágio de desenvolvimento (LIMA *et al.*, 2006) e aumenta de um valor

mínimo na germinação até um valor máximo na floração e formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (BASTOS *et al.*, 2008).

O estresse hídrico em leguminosas, de uma maneira geral, afeta diversos processos fisiológicos o que acarreta uma redução do peso da matéria fresca e seca da parte aérea das plantas (COSTA *et al.*, 1996). O déficit hídrico em feijão-caupi provoca menor crescimento, com progressiva redução da área foliar e matéria seca total, principalmente para os períodos mais prolongados e, principalmente no período reprodutivo, porém esta cultura apresenta alta capacidade de recuperação pós estresse (Leite *et al.*, 1999).

De acordo com Bezerra *et al.* (2003), sobre os aspectos de produção, em estudo com a imposição do déficit hídrico no feijão-caupi em suas diversas fases fenológicas, observaram que o déficit hídrico afetou significativamente a produtividade de grãos, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem, sendo que a aplicação do déficit durante o estágio de enchimento de grãos, causou redução mais acentuada na produtividade, sendo este estágio apontado pelos referidos autores como o mais crítico, no que diz respeito à disponibilidade de água à cultura.

A relação entre o rendimento de uma cultura e o suprimento de água é resultado das relações água-solo-planta-atmosfera. Variações fisiológicas das plantas do feijoeiro podem ser determinadas através do microambiente e, muitos dos sintomas visuais de deficiência hídrica são consequências de alterações nas respostas fisiológicas da planta. A resposta mais comum das plantas ao déficit hídrico é o fechamento estomático, que ocasiona reduções na taxa de fotossíntese, reduzindo a disponibilidade de CO₂ (SANTOS, M. G *et al.*, 2009). O conhecimento de alterações fisiológicas nas plantas, associada às práticas de irrigação são importantes, como forma de se entender as necessidades hídricas mínimas das culturas ao longo do ciclo.

Com a tendência de escassez dos recursos hídricos, e sendo a agricultura irrigada, a responsável pelo uso de aproximadamente 69% da água consumida no mundo, torna-se imprescindível, adotar estratégias de manejo de irrigação que possam aumentar a eficiência do uso da água por parte das culturas agrícolas (BRASIL, 2008). Observa-se que as respostas à irrigação deficitária são específicas para cada cultura e condição edafoclimática, por isso é importante avaliar localmente os impactos das estratégias de irrigação deficitária em experimentos de campo, antes de sugerir o método de manejo da irrigação mais adequado (PATANÈ; TRINGALIA; SORTINO, 2011).

Apesar da grande relevância do uso da irrigação deficitária, onde existe escassez de água a nível regional, como no caso do semiárido cearense, ainda são insuficientes os

resultados de estudos locais que subsidiem o aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes culturas que são potencialmente capazes de serem exploradas sob regime de irrigação (SILVA, 2012).

Diante do exposto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar os efeitos da irrigação deficitária imposta em diferentes estádios de desenvolvimento e durante todo o ciclo sob os componentes de produção, na produtividade, nas relações de eficiência de uso da água e trocas gasosas do feijão-caupi, com o intuito de estabelecer uma estratégia de irrigação deficitária que minimize o uso de água e permita otimizar a produção da cultura no litoral cearense.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do feijão-caupi

2.1.1 Origem, classificação e distribuição geográfica

O feijão-caupi tem como provável centro de origem a África, porém se desenvolve numa ampla faixa ambiental, desde a latitude 40° N até 30° S, adaptando-se tanto às terras altas como às baixas, no Oeste da África, na Ásia, na América Latina e na América do Norte (CARDOSO *et al.*, 2005; DADSON *et al.*, 2005). Foi domesticado nos sistemas agrícolas compostos pelo sorgo e milheto, predominantes nas regiões semiáridas do Oeste da África, que se caracteriza por apresentar uma das maiores áreas de produção de feijão-caupi (SINGH *et al.*, 2002).

Essa espécie *Vigna unguiculata* é uma dicotiledônea pertencente à ordem Fabales, família Fabace, subfamília Faboideae, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (ONOFRE, 2008). De acordo com Freire Filho *et al.* (2005), a espécie *Vigna unguiculata* apresenta vários nomes vulgares, sendo conhecido como feijão-de-corda, feijão-macassar ou feijão-caupi na região Nordeste; feijão-da-colônia e feijão-de-praia na região Norte e feijão-miúdo na região Sul. Em algumas regiões da Bahia e Norte de Minas Gerais é conhecido por feijão-catador e feijão-gurutuba e de feijão-fradinho nos estados da Bahia e Rio de Janeiro.

Segundo Freire Filho (1988), o feijão-caupi foi introduzido na América Latina, no século XVI, pelos colonizadores espanhóis e portugueses e em seguida no Brasil, provavelmente no estado da Bahia, se expandindo posteriormente para outras áreas do Nordeste e depois para outras regiões do País. Segundo Barracloug (1995), desde a fundação da Bahia como capital administrativa do Brasil, em 1549, o comércio com o Oeste da África, de Guiné a Angola, era muito intenso, contribuindo para uma intensa disseminação da cultura, principalmente na região Nordeste e da região Nordeste para todo o País.

Embora o uso do feijão-caupi seja muito semelhante ao do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é considerada uma leguminosa de ampla distribuição mundial, estando presente principalmente nas regiões dos trópicos semiárido, úmido e subúmido, condições climáticas às quais se apresenta melhor adaptado (SMARTT, 1990; MOUSINHO, 2005).

2.1.2 Aspectos morfológicos e fisiológicos

O feijão-caupi é uma planta herbácea anual, propagada por sementes, apresenta autofecundação e uma taxa muito baixa de alogamia ou fecundação cruzada, e as flores, completas, têm os órgãos masculinos e femininos bem protegidos pelas pétalas, em número de cinco, de coloração branca, amarela ou violeta. Apresenta dez estames, o estilete termina com um estigma recurvado, úmido e coberto de pêlos com a finalidade de aderir melhor os grãos de pólen. O ovário é estreito e alongado, a antese ocorre normalmente nas primeiras horas da manhã, condicionando a ocorrência da polinização, que ocorre predominantemente através de insetos (TEÓFILO; MAMEDE; SOMBRA, 1999). O sistema radicular é pivotante, alcançando até 0,80 m de profundidade, e como as demais leguminosas, possui a capacidade de fixação do nitrogênio do ar (MOUSINHO, 2005).

É considerada uma planta de metabolismo fotossintético C₃, apresenta dois tipos de hábitos de crescimento, determinado e indeterminado, sendo o último característico do genótipo mais predominante cultivado no Brasil, que difere do determinado, pelo fato do caule não produzir um número limitado de nós, continuando a crescer mesmo após a emissão da inflorescência (ARAÚJO *et al.*, 1981).

Segundo Freire Filho *et al.* (2000), o feijão-caupi, quanto ao ciclo pode ser classificado em: ciclo superprecoce (a maturidade é atingida até 60 dias após a semeadura) ; ciclo precoce (a maturidade é atingida entre 61 e 70 dias após a semeadura) ; ciclo médio (a maturidade é atingida entre 71 e 90 dias após a semeadura) e ciclo tardio (a maturidade é atingida a partir de 91 dias após a semeadura).

Dentre as leguminosas, o feijão-caupi destaca-se por apresentar uma grande plasticidade ambiental e fenotípica, adaptando-se bem às diferentes condições ambientais, apresentar ciclo curto, possuir baixa exigência hídrica e rusticidade, o que possibilita seu desenvolvimento em solos de baixa fertilidade natural. Tal característica é possível pela capacidade que a espécie possui de fixar nitrogênio do ar atmosférico, por meio do estabelecimento de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (FREIRE *et al.* 2005).

A temperatura mais adequada para o desenvolvimento do feijão-caupi encontra-se na faixa de 20 a 30 °C. Elevadas temperaturas durante a fase de florescimento podem ser prejudiciais à cultura, além de diminuir a nodulação nas raízes. Por outro lado, temperaturas abaixo de 20 °C podem causar a paralisação do desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA; CARVALHO, 1988).

O feijão-caupi é uma espécie bastante estudada, contudo em relação às suas fases de desenvolvimento existe poucas informações. Possivelmente, devido ao fato de apresentar grande variabilidade genética para todos os caracteres e em especial para o porte da planta. Portanto, torna-se importante o conhecimento do ciclo fenológico do feijão-caupi, pois permite relacionar o estágio de desenvolvimento da planta com a necessidade de alguma prática agrônômica ou ocorrência de algum fator adverso. O ciclo fenológico do feijão-caupi, apresenta-se da seguinte forma: fase vegetativa (divididas em 9 subestádios), tendo início em V0 (semeadura) e finalizando em V9 (terceira folha do ramo secundário completamente aberta) e fase reprodutiva que subdivide em 5 subestádios, iniciando com R1 (surtem os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal) e por fim R5 onde se tem maturidade de 90% das vagens da planta (CAMPOS *et al.*, 2000).

Antes de iniciar um cultivo, deve-se antes avaliar o desempenho agrônômico de cultivares nas condições ambientais das regiões para onde serão recomendadas, e nas épocas indicadas para o plantio, pois de acordo com Santos, J. F. *et al.* (2009), cultivares de feijão-caupi apresentam características genéticas, fisiológicas e morfológicas intrínsecas e, portanto, respondem de forma diferenciada às condições edafoclimáticas locais, evidenciando a importância de estudar o desempenho produtivo de genótipos, variedades ou cultivares de feijão-caupi antes da recomendação para o cultivo.

2.1.3 Usos, importância socioeconômica e principais produtores

Por ser um alimento básico e de fácil aquisição pela população, é amplamente cultivado por produtores das regiões Norte e Nordeste do país sendo, portanto a principal fonte de proteína vegetal para as populações rurais (MELO, 2002). O consumo humano do feijão-caupi pode ser na forma de vagem verde, cuja colheita é realizada quando as vagens estão bem desenvolvidas e com baixo teor de fibras; na forma de grãos verdes, colhidas no início da maturação e na forma de grão seco, onde as vagens são colhidas secas, no ponto de maturação de campo (VIEIRA *et al.*, 2000). Além disso, também pode ser utilizado como forragem verde, feno, silagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e cobertura do solo (ANDRADE JÚNIOR, 2000).

Sales e Rodrigues (1988) afirmaram que o grão do feijão-caupi apresenta teores de proteínas variando de 20 a 26%, apresentando importantes frações de lipídios, açúcares, cálcio, ferro, potássio, fósforo e aminoácidos essenciais, como a isoleucina, leucina,

fenilalanina, tirosina, metionina, dentre outros, com destaque para a última por estar presente em quantidades bem superiores ao feijão do gênero *Phaseolus*. Em virtude dessas características, é uma espécie de grande valor atual e estratégico (FREIRE FILHO *et al.*, 2005). Segundo Araújo e Watt (1988), o feijão-caupi contribui com cerca de 41% do feijão consumido nas áreas urbanas não metropolitanas do Nordeste, onde constitui-se no alimento básico para a população, exercendo a função de supridor das necessidades alimentares das populações mais carentes. Suas propriedades nutricionais são superiores às do feijão comum, e o baixo custo de produção, fazem com que esta cultura seja considerada extremamente importante em termos sociais e econômicos para a região.

O feijão-caupi caracteriza-se por ser uma das principais culturas anuais dos trópicos, sendo sua importância econômica e social explicitada pelos mais de 11 milhões de hectares plantados ao redor do mundo (LANGYINTUO *et al.*, 2003). Os principais países produtores de feijão-caupi são Índia, Nigéria, Níger, Brasil, Burkina Faso, Myanmar, Tanzânia, Camarões e Mali. A participação brasileira no mercado mundial de feijão-caupi iniciou-se, oficialmente, em 2012, quando o país conseguiu exportar o produto para Índia e Egito, e no início de 2013, para Portugal. Em janeiro e fevereiro de 2013 o Brasil exportou cerca de 49 toneladas feijão-caupi para consumo humano, com valor médio de US\$ 731/tonelada. Os principais destinos foram Portugal (99%), saindo pelo porto de Paranaguá-PR, e Angola (1%), saindo pelo porto de Santos-SP (WANDER, 2013).

Segundo Miorini (2012), o cultivo do feijoeiro no Brasil é realizado em três épocas distintas: 1ª safra – safra das “águas” – semeadura de setembro a novembro; 2ª safra – safra da “seca” – semeadura de janeiro a março; e 3ª safra – safra de inverno – semeadura de abril a junho.

De acordo com Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2014), estima-se que para a safra 2013/ 2014 a cultura do feijão ocupe uma área de 3.126,50 mil hectares no país, e terá produção de 3.446,60 mil toneladas de grãos, o que acarretará uma produtividade média esperada de 1.102 kg ha⁻¹. Quanto às regiões produtoras no país, se destacará em primeiro lugar a região Sul, e a região Nordeste ocupando a quarta posição. Na região Nordeste estima-se para a safra 2013/2014 a cultura do feijão ocupe uma área de 1.462,80 mil hectares, produtividade de 458 kg ha⁻¹ e uma produção de 669,2 mil toneladas de feijão, sendo que os estados da Bahia e do Ceará, provavelmente, serão os maiores contribuintes para esses valores. A produção poderá sofrer ajustes no decorrer do período, dependendo do comportamento do clima e o ataque de pragas e doenças.

O estado do Ceará aparece nas estatísticas como o segundo maior produtor de feijão do Nordeste, sendo o primeiro o estado da Bahia, ambos com maior predominância o feijão-caupi. Para a safra de 2013/2014, estima-se que no estado, a cultura terá uma produção de 150,4 mil toneladas, área plantada de 341,1 mil hectares e produtividade média de 441 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014).

Segundo Frota e Pereira (2000), a produção de feijão-caupi no Nordeste brasileiro tem apresentado, ao longo dos últimos anos, variações importantes de acréscimo e decréscimo, com tendência oscilante. Estas variações na produção são típicas de regiões cujos processos produtivos são dependentes de clima, em que um ano de distribuição pluviométrica regular quase sempre é seguido por uma distribuição irregular, com reflexos na produção.

2.2 Irrigação

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

Segundo Holanda *et al.* (2010), a prática da irrigação, em várias situações, torna-se a única ferramenta capaz de garantir uma produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do Nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico para as plantas devido à taxa de evapotranspiração exceder a de precipitação durante a maior parte do ano.

Cada vez mais, tem sido uma tendência mundial optar pelo método de irrigação localizado de forma a tornar mínimo o volume de água aplicado na irrigação, sem reduzir a produtividade das culturas agrícolas (SOUZA; ANDRADE; SILVA, 2005). A irrigação localizada não deve ser considerada somente como nova técnica para atender as necessidades de água das culturas, mas como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas culturas, sob condições controladas de umidade do solo, adubação, salinidade, obtendo assim efeitos significativos na produção por área e por água consumida, como também época de colheita e na qualidade do produto. Os dois principais sistemas de irrigação localizados mais difundidos são gotejamento e microaspersão (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2006).

O consumo hídrico do feijão-caupi aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA *et al.*, 2001), variando de 300 a 450 mm ciclo⁻¹ bem distribuídos nos diferentes estádios de desenvolvimento, dependendo da cultivar utilizada, das características do solo e das condições edafoclimáticas locais (NASCIMENTO, 2009). O consumo hídrico diário raramente excede 3,0 mm na fase inicial de desenvolvimento da planta. Freire Filho (1988) e Bezerra *et al.* (2003) afirmaram que seu consumo hídrico pode se elevar para 5,0 a 5,5 mm diários, durante o período compreendido entre o pleno crescimento, florescimento e enchimento de vagens.

Uma maneira de analisar as respostas dos cultivos às condições variadas de disponibilidade de água é por meio do uso eficiente de água (EUA), que relaciona a produção de biomassa seca e, ou, produção comercial, com a quantidade de água aplicada e, ou evapotranspirada (LIU, STÜTZEL, 2004; PUPPALA *et al.*, 2005). Além disso, é uma ferramenta extremamente importante para entender as diferenças de produção das culturas às condições ambientais e às técnicas de manejo.

É considerado primordial para o manejo da irrigação determinar quando e quanto de água aplicar (GOMES; TEZTEZLAF, 2013). De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a ausência de um programa de manejo tem sido a principal causa de insucesso da agricultura irrigada, uma vez que as práticas irrigatórias em uso são na maioria das vezes, baseadas em costumes herdados ou em conveniências particulares. A obtenção de uma alta produção também requer adoção de práticas de manejo que visem melhorar a irrigação e esta adoção só é possível com o conhecimento das necessidades hídricas das culturas (MIORINI, 2012).

Dentre as estratégias utilizadas para otimizar a irrigação, destaca-se a indução de déficits hídricos durante todo o ciclo ou em estádios de desenvolvimento da planta que se mostram menos sensíveis aos efeitos destes, economizando água, com mínimos efeitos sobre a produtividade, constituindo a opção técnica denominada por irrigação deficitária (SAMPAIO, 2010). De acordo com Gomide *et al.* (1998), as respostas das culturas à variação de níveis hídricos tem sido estudo de pesquisas científicas, buscando o aumento na eficiência do uso de água pelas plantas, com vista à otimização das práticas de manejo, bem como ao maior entendimento dos efeitos do déficit hídrico no crescimento e na produção de matéria seca.

2.3 Déficit hídrico

O déficit hídrico é um dos fatores que afetam a produção agrícola com maior intensidade e frequência, influenciando grande parte dos aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal, diminuindo a taxa de fotossíntese pela redução da área foliar e afetando vários outros processos fisiológicos, além de alterar o ambiente físico das culturas (FONTANA *et al.*, 1992). Sob condições de estresse, as respostas fisiológicas das plantas, geralmente tendem a ser modificadas, dependendo da duração e severidade do estresse hídrico e da fase fenológica de ocorrência (MOURA *et al.*, 2006).

Conforme Grieu *et al.* (2008), o resultado da associação entre a restrição da disponibilidade de água no solo e o aumento da demanda evaporativa da atmosfera condiciona o estado de déficit hídrico. Para os autores, em termos agronômicos o déficit hídrico é considerado um tipo de estresse, por se tratar de um fator externo que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta, sendo conceituado por toda insuficiência de água que impeça que a planta expresse o rendimento esperado em uma situação favorável, ou que possa afetar e comprometer a qualidade do produto. Neste contexto, uma planta tolerante é capaz de atingir, em uma determinada condição de déficit hídrico, uma produção equiparada àquela que seria potencialmente capaz de atingir em uma condição com adequada disponibilidade de água.

O feijão-caupi é classificado como planta sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo (NASCIMENTO, 2009). Como as demais culturas, o rendimento do feijão-caupi é bastante afetado pela disponibilidade de água no solo. Deficiências ou excessos de água nas suas diferentes fases de desenvolvimento causam redução no seu rendimento em diferentes proporções (BLUM, 1996; YORDANOV *et al.*, 2003). Segundo Cardoso *et al.* (2000), as deficiências hídricas iniciais podem afetar sensivelmente o processo germinativo, comprometendo dessa forma o estabelecimento da cultura. Deficiências posteriores poderão paralisar o crescimento, bem como retardar o desenvolvimento reprodutivo das plantas.

Bezerra *et al.* (2003) constataram que o déficit hídrico imposto nos estádios vegetativo e enchimento dos grãos em feijão-caupi apresentou redução de 38,8% na produção de grãos em relação ao tratamento sem déficit. Já o déficit aplicado em apenas um estágio fenológico, reduziu a produtividade em até 26%, em relação à testemunha, indicando a necessidade de um suprimento hídrico adequado no estágio de enchimento de grãos. O déficit hídrico imposto nos estádios floração e/ou enchimento de grãos, não acarretou em grandes

perdas de produção, possivelmente devido aos intervalos dos estádios fenológicos da cultura, que foram bastante curtos (floração, 10 dias e enchimento de grãos, 9 dias).

Guimarães (1988) afirmou que o déficit hídrico durante a fase vegetativa do desenvolvimento do feijoeiro, afeta o rendimento de grãos, pela redução da área foliar das plantas. Se o déficit ocorrer durante a fase de floração, provoca abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens por planta; se ocorrer no enchimento dos grãos, prejudica a formação de sementes ou reduz seu peso. Um déficit hídrico de 50% na fase vegetativo causa uma redução no rendimento de 10%, enquanto que se o mesmo déficit ocorrer na floração e durante o enchimento de vagens, têm-se reduções de 55 e 38% na produção, respectivamente (CALVACHE *et al.*, 1997).

Oscilações na produtividade do feijoeiro está correlacionada principalmente à ocorrência de déficit hídrico nos períodos críticos da cultura. Nas áreas não irrigadas, onde a condição hídrica é favorável, a disponibilidade de água está relacionada à ocorrência, frequência e quantidade de chuva, enquanto que, para as áreas irrigadas, o êxito está relacionado com o correto manejo da irrigação (SILVA, 2008). Segundo os autores Aidar, Kluthcouski e Stone (2002), a redução na produtividade sob estresse hídrico também está relacionada com à baixa porcentagem de vingamento das flores, causando abortamento de óvulos e produzindo assim vagens chochas.

Nos casos em que se utilizam a irrigação complementar, suplementar ou deficitária, as reduções no rendimento da cultura podem ser devido ao desconhecimento em relação ao comportamento das variáveis fisiológicas das plantas em função das condições meteorológicas e, do déficit hídrico que é imposto à cultura. O pouco conhecimento do comportamento das relações hídricas das plantas, em condições de déficit hídrico, pode causar erros nas tomadas de decisões técnicas e econômicas do manejo da irrigação (MATEZENAUER *et al.*, 1999).

O principal objetivo da irrigação deficitária é economizar água, resultando em menores custos e receitas líquidas otimizadas, já que nem sempre as maiores produtividades são as mais lucrativas (FRIZZONE, 1986). No entanto, para o seu sucesso deve ser mantida uma lâmina mínima de água armazenada no solo, para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas. Com objetivo de economizar os recursos hídricos, a irrigação deficitária visa aumentar a eficiência de uso da água e a eficiência de aplicação e armazenagem (PHENE, 1989), pressupondo-se que uma baixa disponibilidade de água implica na limitação à produção agrícola.

O desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a períodos de deficiência hídrica no solo, assim como o aprimoramento de mecanismos que auxiliem as plantas a tolerar períodos prolongados de seca, será essencial na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial (NEPOMUCENO *et al.*, 2001).

2.4 Efeitos do déficit hídrico

Os principais efeitos causados pelo déficit hídrico na planta estão relacionados com a defasagem entre os processos de transpiração, absorção e disponibilidade de água no solo, que provocam diminuição da produtividade, justamente por inviabilizar o processo fotossintético. Torna-se imprescindível para a planta equilibrar dois fatores que ocorrem simultaneamente, armazenar água e assimilar CO₂ atmosférico. À medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração das plantas decresce como o fechamento dos estômatos. Conseqüentemente, a disponibilidade de CO₂ atinge níveis extremamente reduzidos, assim a planta utiliza o CO₂ proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética (RAVEN *et al.*, 2001).

Paiva *et al.* (2005) afirmaram que o controle estomático é uma importante propriedade fisiológica por meio da qual as plantas limitam a perda de água, ocasionando reduções na condutância estomática e, geralmente, reduzindo as trocas gasosas como forma de resposta das plantas a diversos fatores, incluindo o déficit hídrico. Apesar da interação de diversos fatores que atuam sobre os estômatos e, conseqüentemente, sobre a condutância estomática, torna-se evidente o efeito do estresse hídrico sobre esse parâmetro, constatando-se que o mesmo pode ser utilizado como indicador da deficiência de água (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Segundo Taiz e Zeiger (2010), as respostas mais relevantes das plantas ao déficit hídrico são: a redução da área foliar, o fechamento estomático, a antecipação da senescência e abscisão das folhas. Assim, os processos fisiológicos são desencadeados e adaptados, de forma a permitir a manutenção da água no solo, com o objetivo de economizar para períodos futuros, com o intuito de assegurar a sobrevivência e a perpetuação da espécie.

As respostas das plantas às condições de déficit hídrico variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição e fatores edáficos, entre outros (NASCIMENTO *et al.*, 2011). As cultivares de feijão-caupi quando submetidos a déficit de água no solo apresentam diferentes respostas fisiológicas (BEZERRA *et al.*, 2003).

Guimarães, Stone e Brunini (2006) constataram que a deficiência hídrica nas plantas é tanto maior quanto menor o suprimento de água pelas raízes.

Leite *et al.* (1999) afirmaram que as folhas são os centros de produção da fotossíntese e que o resto da planta depende da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão, o estresse hídrico nesta cultura, compromete tal exportação, contribuindo para os decréscimos de seu crescimento e produção.

Já Oliveira *et al.* (2005) constataram que em plantas de feijão submetidas ao déficit hídrico a condutância estomática diminui e a resistência difusiva ao vapor de água aumenta, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese. De acordo com Larcher (2000), os estômatos atuam como moduladores da perda de água pela transpiração respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro a uma faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar.

Mendes *et al.* (2007) avaliando o estado hídrico das plantas quando submetidas à deficiência hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva, evidenciou que cultivares de feijão-caupi sofreram reduções significativas no potencial hídrico foliar, condutância estomática e transpiração foliar, com consequente aumento na temperatura foliar.

Leite *et al.* (2004), avaliando o efeito do estresse hídrico na fase vegetativa e reprodutiva no crescimento do feijão-caupi, verificaram efeitos negativos sobre o crescimento da cultura, os quais se acentuaram como resposta aos déficits hídricos de maior duração, tanto na fase vegetativa quanto na fase reprodutiva, resultando em progressiva redução da matéria seca total, de folhas, flores e frutos. Em condições de déficits hídricos mais prolongados, as plantas diminuíram acentuadamente seu crescimento, evidenciando um período de repouso fisiológico, porém com capacidade de retomar suas atividades após o término do período de deficiência.

De acordo com Floss (2004), cerca de 90% da produção biológica das plantas ocorre em resposta à atividade fotossintética. Portanto, estudos das trocas gasosas torna-se uma importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, isto porque a redução no crescimento e consequentemente na baixa produtividade das plantas pode estar relacionada com a diminuição na atividade fotossintética, limitada por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (PEIXOTO; MATTA; CAMBRAIA, 2002; PAIVA *et al.* 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

3.1.1 Localização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em campo, no período de outubro de 2012 à janeiro de 2013, na área experimental da Estação Agrometeorológica pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada em Fortaleza, CE, situada entre as coordenadas geográficas de 3°44'45''S e 38°34'55''W, e a uma altitude de 19,5 m (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área experimental. Fortaleza, CE, 2012



3.1.2 Caracterização climática

De acordo com Köppen o clima da região é do tipo Aw', sendo caracterizado como tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e do outono. De acordo com dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, localizada nas imediações da área experimental, registra para a região os seguintes valores: precipitação média anual de 1.523 mm, temperatura média do ar de 26,9°C e a umidade relativa média do ar de 80%.

Na Tabela 1 encontram-se os dados mensais das variáveis climáticas coletados durante os meses de condução do experimento na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará.

Tabela 1-Valores médios de temperatura (T), velocidade do vento (V), umidade relativa (UR), e acumulados de precipitação (P), insolação (INS), e evaporação medida no Tanque Classe A (ECA) obtidos durante o período experimental. Fortaleza, CE, 2012/2013⁽¹⁾

Data	T (°C)	V (m s ⁻¹)	UR (%)	P (mm)	INS (horas)	ECA (mm)
Out/2012	27,1	4,4	70	10,0	294,9	276,4
Nov/2012	27,5	4,0	69	0,9	308,9	263,7
Dez/2012	27,9	3,8	71	4,6	285,4	249,4
Jan/2013	27,8	3,8	74	40,3	261,3	230,7

⁽¹⁾ Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará – UFC

3.1.3 Caracterização do solo

Para a avaliação das condições de solo, amostras de solo foram coletadas em toda a área e encaminhadas ao Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo da UFC, cujas análises físico-hídricas e químicas foram realizadas conforme metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006), o solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo. Na Tabela 2 é possível observar o resultado da análise físico – hídrica e química do solo da área experimental.

Tabela 2 - Atributos físico – hídrica e química do solo na camada (0 - 30 cm) da área experimental. Fortaleza - CE, 2012/2013⁽²⁾

Análise Física	(0 - 30 cm)	Análise Química	(0 - 30 cm)
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	431	P (mg dm ⁻³)	4
Areia Fina (g kg ⁻¹)	376	K ⁺ (mg dm ⁻³)	0,24
Silte (g kg ⁻¹)	84	Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,4
Argila (g kg ⁻¹)	109	Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,0
Argila Natural (g kg ⁻¹)	50	Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,15
Grau de Floculação (g 100g ⁻¹)	54	Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,28
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,48	pH	5,7
Densidade das partículas (g cm ⁻³)	2,63	CE (dS m ⁻¹)	0,62
Classe Textural	Franco arenosa		

⁽²⁾ Fonte: Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal do Ceará.

3.1.4 Análise química da água

Na Tabela 3, encontra-se o resultado referente à análise química da amostra de água do poço freático da Estação Agrometeorológica da UFC, a qual foi utilizada durante o experimento para irrigação da cultura.

Tabela 3 - Atributos químicas da água utilizada no experimento. Fortaleza - CE, 2012/2013⁽³⁾

Cátions (mmol _c L ⁻¹)					Ânions (mmol _c L ⁻¹)					pH	RAS	CE (dSm ⁻¹)	Classif.
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Σ				
0,8	1,8	5,3	0,3	8,2	4,4	-	4,0	-	8,4	4,0	7,4	0,83	C ₃ S ₁

¹RAS: Razão de absorção de sódio;

²C₃: Alto risco de salinidade; S₁: sem problemas de sodicidade, (AYERS; WESTCOT, 1999).

⁽³⁾Fonte: Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal do Ceará.

De acordo com Ayers e Westcot (1999), o feijão-caupi tolera a irrigação com água salina com condutividade elétrica de até 3,3 dS m⁻¹, sem ocasionar redução na produtividade, sendo considerado moderadamente tolerante à salinidade.

3.2 Material vegetal

O experimento foi realizado com duas cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), a cultivar Sempre Verde e Setentão, cultivadas em espaçamento de (1,0 m x 0,5 m), com duas plantas por cova. De acordo com Paiva *et al.* (1990), a cultivar Setentão foi selecionada a partir do cruzamento entre a cultivar Sempre Verde de semente de tegumento creme e excelentes qualidades comerciais e a cultivar “TVu 59”, de sementes de cor marrom, porte semiramador, com resistências às viroses e de boa produtividade.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Cada bloco foi formado por oito parcelas e quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais ou parcelas. Nas parcelas foram dispostos os tratamentos e nas subparcelas as cultivares Sempre Verde e Setentão.

Os tratamentos foram definidos em função da época de indução do déficit hídrico nos diferentes estádios fenológicos (vegetativo, floração e formação da produção) da cultura, correspondendo à ocorrência de déficit hídrico em um, dois ou três estádios (Tabela 4).

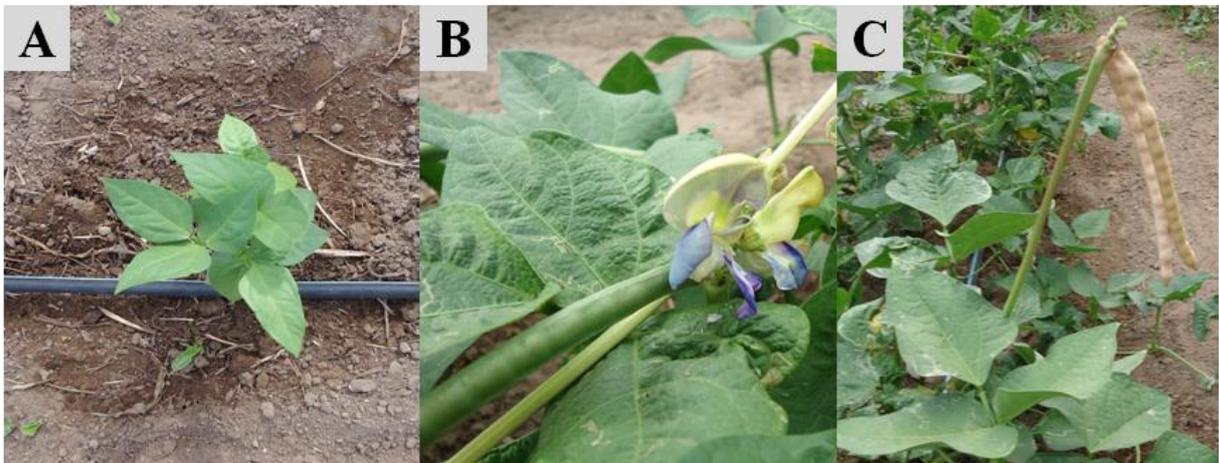
Tabela 4- Identificação dos tratamentos utilizados no experimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽⁴⁾

Tratamentos	Descrição
T1C1/ T1C2	Sem déficit hídrico durante os três estádios fenológicos (controle)
T2C1/ T2C2	Déficit hídrico no estágio de formação da produção
T3C1/ T3C2	Déficit hídrico no estágio de floração
T4C1/ T4C2	Déficit hídrico nos estádios de floração e de formação da produção
T5C1/ T5C2	Déficit hídrico no estágio vegetativo
T6C1/ T6C2	Déficit hídrico nos estádios vegetativo e de formação da produção
T7C1/ T7C2	Déficit hídrico nos estádios vegetativo e de floração
T8C1/ T8C2	Com déficit hídrico durante os três estádios fenológicos

⁽⁴⁾ C1: Cultivar Sempre Verde; C2: Cultivar Setentão.

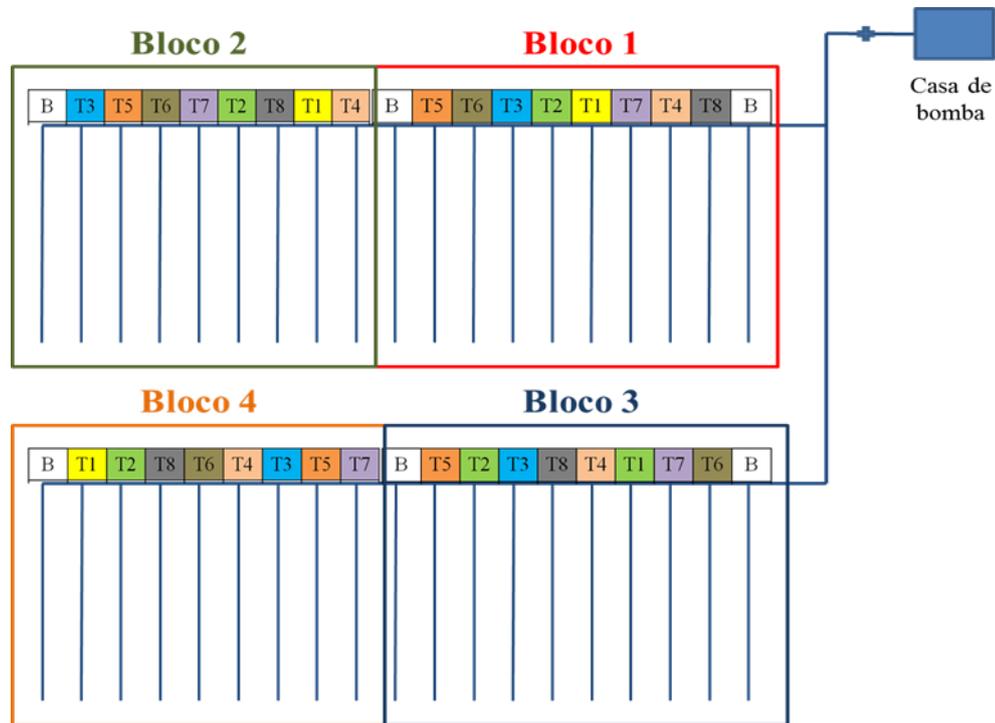
O ciclo de desenvolvimento da cultura foi dividido em três estádios fenológicos: estágio vegetativo, estágio de floração e estágio de formação da produção (Figura 2).

Figura 2 - Estádio vegetativo (A), estágio de floração (B) e estágio de formação da produção (C), respectivamente, da cultura do feijão-caupi. Fortaleza – CE, 2012/2013



A área total ocupada pelo experimento foi de 400 m² (20 m x 20 m). Cada linha útil de plantas ocupou uma área de 10 m² (1 m x 10 m), com 20 plantas cada, sendo composta por dez plantas da cultivar Sempre Verde e dez plantas da cultivar Setentão. As fileiras das extremidades que circundaram toda área útil do experimento serviram para eliminar os eventuais efeitos de bordadura, assim como a primeira e última planta de cada unidade experimental. Na Figura 3 pode ser visualizado o croqui da área experimental.

Figura 3 - Croqui geral ilustrando a distribuição dos tratamentos na área experimental. Fortaleza – CE, 2012/2013



3.4 Instalação e condução da cultura

3.4.1. Preparo da área

O preparo do solo da área experimental constou de uma aração, seguida da passagem de uma enxada rotativa, realizadas no começo do mês de outubro de 2012 (Figura 4).

Figura 4 - Preparo do solo da área experimental. Fortaleza – CE, 2012



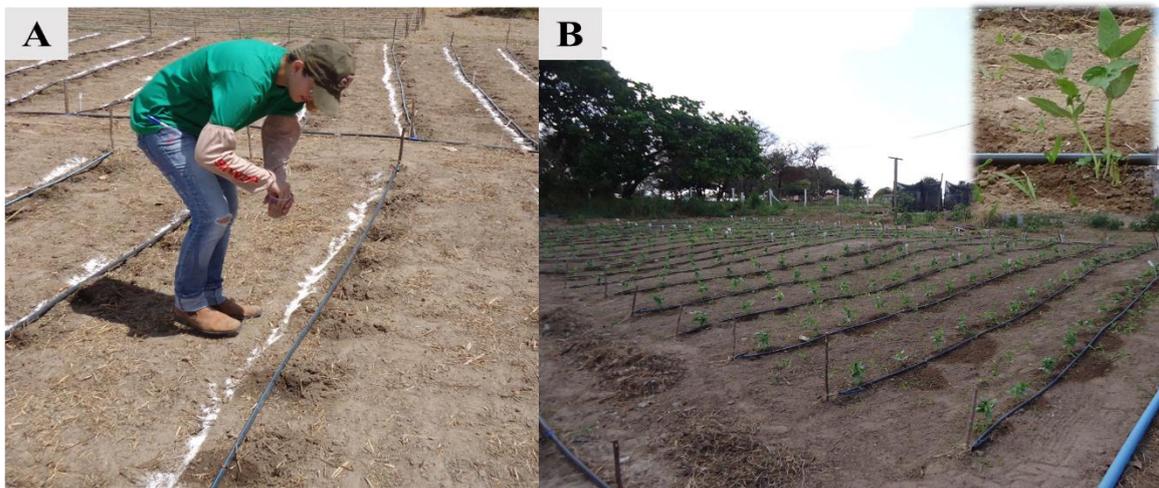
3.4.2 Adubação

A adubação baseou-se na análise química do solo e nas exigências nutricionais da cultura, conforme recomendação de Fernandes (1993). A adubação consistiu na aplicação de 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 30 kg ha⁻¹ de potássio (K), sendo usados como fonte dos nutrientes a ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. As doses de superfosfato simples foram aplicadas por ocasião da semeadura, enquanto as doses de ureia e potássio foram aplicadas metade na semeadura e metade aos 30 dias após a semeadura, via água de irrigação. Para suprir as necessidades de micronutrientes foi aplicado 50 kg ha⁻¹ de micronutrientes, na forma comercial do fertilizante mineral FTE BR-12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn; e 0,10% Mo).

3.4.3 Semeadura e desbaste

A semeadura das cultivares Sempre Verde e Setentão foi realizada no dia 15 de outubro de 2012; na ocasião foram colocadas de 4 a 5 sementes por cova para cada cultivar (Figura 5A). O espaçamento utilizado foi de 1 m entre as linhas e 0,5 m entre plantas, perfazendo uma densidade de 40.000 plantas por hectare. As sementes utilizadas para a semeadura foram cedidas pelo Laboratório de Análise de Sementes do CCA/UFC. Aos 7 dias após a semeadura (DAS) realizou-se o desbaste, manualmente, deixando-se duas plantas por cova (Figura 5B).

Figura 5 - Semeadura (A) e área experimental após a realização do desbaste (B). Fortaleza-CE, 2012



3.5 Sistema e manejo da irrigação e da fertirrigação

O experimento foi irrigado por um sistema gotejamento. Os gotejadores usados eram do tipo autocompensantes, com vazão média de 5,49 L h⁻¹ a uma pressão de serviço de 150 kPa, espaçados de 0,5 m na linha com um gotejador para cada planta. O sistema era composto de conjunto motobomba de 3,5 cv; cabeçal de controle, constituído por tubo Venturi, tomada de pressão e registros; As tubulações das linhas principais e de derivação eram de PVC rígido azul de 50 mm e as linhas laterais de polietileno de 16 mm. No início de cada linha lateral de irrigação foi instalado um registro para controlar a quantidade de água aplicada nas unidades experimentais.

Após a instalação do sistema de irrigação foi realizada a avaliação da uniformidade de distribuição de água usando a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975). De posse dos valores das vazões, medidos em cada emissor calculou-se o coeficiente de uniformidade distribuição (CUD) do sistema de irrigação que foi de 81,2%.

Com o intuito de estabelecer uma uniformidade no estande, até os 10 dias após a semeadura (DAS) todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação. Durante este período, as irrigações foram diárias em todas as unidades experimentais, no qual foi aplicada uma lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração da cultura, mensurada a partir da evapotranspiração de referência estimada através da evaporação medida através de um Tanque classe A. As leituras do nível de água evaporada no Tanque classe A foram feitas, diariamente, às 9 h.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada através da equação 1, apresentada por Ometto (1981):

$$ET_o = ECA \cdot Kp \quad (1)$$

em que,

ET_o: Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

ECA: Evaporação medida no tanque classe A (mm dia⁻¹);

Kp: Coeficiente de ajuste do tanque classe A (adimensional).

O coeficiente de ajuste do tanque (Kp) foi calculado através da equação 2 proposta por Snyder (1992), abaixo apresentada:

$$Kp = 0,482 + 0,024 \ln (F) - 0,000376 U + 0,0045 UR \quad (2)$$

em que,

F: Tamanho da área de bordadura (m);

U: Velocidade média do vento (km dia⁻¹);

UR: Umidade relativa média do ar (%).

Os dados climáticos necessários para o cálculo do coeficiente de ajuste do tanque (K_p) foram obtidos mediante a média aritmética dos últimos cinco anos para os meses nos quais o experimento foi conduzido, e foram coletados na estação Agrometeorológica.

A evapotranspiração da cultura foi calculada através da equação 3, a seguir:

$$ETc = ET_o \cdot Kc \quad (3)$$

em que,

ETc: Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

ETo: Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

Kc: Coeficiente de cultivo (adimensional).

Os valores do coeficiente de cultivo (K_c) utilizados nesta pesquisa foram baseados nos dados apresentados por Sousa; Andrade e Silva (2005), os valores de K_c utilizados para o estágio vegetativo, floração e formação da produção do ciclo do feijão-caupi foram respectivamente, 0,78, 1,27 e 0,69.

A irrigação total necessária (ITN) foi calculada pela expressão 4:

$$ITN = \frac{ETc \times PAM}{CUD} \quad (4)$$

em que,

ETc: Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

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

CUD: Coeficiente de uniformidade distribuição (medido em campo, obtida no teste de avaliação do sistema após sua instalação), que foi igual a 81,2%.

Já o tempo de irrigação foi calculado a partir da expressão 5.

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

em que,

ITN: Irrigação total necessária (mm);

A_p : Área da faixa de plantio ($AF = 10 \text{ m}^2$);

Nef: Número de emissores na faixa de plantio ($Nef = 20$);

q_g : Vazão do gotejador ($q_g = 5,49 \text{ L h}^{-1}$).

Estabelecida à cultura, depois de decorridos 15 dias após a semeadura (DAS) ocorreu a diferenciação dos tratamentos. O manejo da irrigação continuou sendo realizado através da evapotranspiração da cultura, conforme descrição anterior.

3.6 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários

Durante o ciclo da cultura foram realizadas capinas com auxílio de enxadas manuais nas entrelinhas e próximo às plantas experimentais, as ervas daninhas foram arrancadas manualmente, com o objetivo de evitar a concorrência das mesmas com a cultura por água e nutrientes.

O controle fitossanitário foi realizado com pulverizações através de uma bomba costal de 20 L com bico tipo cone cheio, utilizando o inseticida Vertimec (1 ml L^{-1}), para o controle do pulgão (*Aphis craccivora*) e da larva minadora (*Liriomyza spp*) e aplicação do inseticida Triona mais óleo mineral (1 ml L^{-1}) para combater a cochonilha (*Dactylopius coccus*).

3.7 Colheita

A colheita foi realizada de forma manual, após a maturação das primeiras vagens aos 83 dias após a semeadura, sendo o material vegetal colhido de 6 plantas por cada unidade experimental. O material colhido foi acondicionado em sacos de papel previamente identificados e levados para secagem à temperatura ambiente em uma casa de vegetação localizada na Estação Agrometeorológica (Figura 6).

Figura 6 – Coleta do material vegetal ao final do ciclo (aos 83 DAS). Fortaleza – CE, 2013



3.8 Variáveis analisadas

3.8.1 Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Condutância Estomática (g_s)

Foram realizadas medições no período da manhã nas taxas de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) em folhas totalmente expandidas e saudáveis, ao término de cada estágio fenológico (46, 64 e 83 DAS) utilizando-se um analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT (Portable Photosynthesis System - LI) da LICOR® (Figura 7).

Figura 7 – Medições de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) com o analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT utilizado no experimento. Fortaleza-CE, 2012



3.8.2 Matéria seca da parte aérea

Ao término do ciclo, aos 83 DAS e por ocasião da colheita, seis plantas de cada parcela foram coletadas, sendo separadas as folhas (limbos foliares), hastes (ramos e pecíolos) e foram analisadas quanto aos dados de matéria seca da parte aérea, as variáveis, matéria seca das folhas (MSF), matéria seca das hastes (MSH), matéria seca das vagens (MSV) e matéria seca total (MST), que é a soma das massas da matéria seca das folhas, hastes e vagens.

Após a obtenção da massa fresca, amostras homogêneas de aproximadamente 300 g de folhas e hastes, juntamente com as suas respectivas vagens foram acondicionados em

sacos de papel e após secas em estufa a 60 °C, foram pesadas em balança de precisão para a obtenção da matéria seca.

3.8.3 Partição da matéria seca e Índice de colheita (IC)

Diante dos valores de produção de matéria seca de cada constituinte da parte aérea da planta (folhas, hastes e vagens) foi possível determinar a participação percentual de cada um deles em relação à matéria seca total, considerada como sendo 100%, por meio de regra de três simples. O Índice de colheita foi obtido dividindo-se a produção de grãos pela produção de matéria seca total da parte aérea.

3.8.4 Componentes de produção e produtividade

Para a análise de produção levou-se em conta os seguintes parâmetros, número de vagens por planta (NVP), mediante a contagem direta do número de vagens de 6 plantas de cada tratamento inseridas na área útil do experimento, o comprimento médio das vagens (COV), medidos em 5 vagens de cada tratamento com ajuda de uma régua graduada em centímetros, o número de grãos por vagem (NGV), mediante a contagem direta do número de grãos encerrados em 5 vagens de cada tratamento, a massa de 100 grãos (MCG), obtida aleatoriamente através da contagem e pesagem em balança de precisão de 100 grãos oriundos das vagens coletadas em cada parcela.

A estimativa da produtividade de grãos (PG) em kg ha⁻¹ foi realizada por meio da pesagem dos grãos provenientes de 6 plantas de cada unidade experimental. Posteriormente foi realizado o cálculo de produtividade em kg ha⁻¹ considerando a área ocupada por cada planta e o número total de plantas utilizado. A produtividade foi estimada para um estande de colheita composto por 40.000 plantas ha⁻¹, conforme o espaçamento adotado pela cultura neste experimento.

3.8.5 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água foi determinada em função da matéria seca total produzida na parte aérea, onde a (EUA_{MST}) foi calculada pela razão entre a matéria seca total e lâmina total de água utilizada, em cada tratamento, com base na evapotranspiração, valores expressos em kg ha⁻¹ mm⁻¹.

A eficiência do uso da água foi determinada em função da produção de grãos do feijão-caupi, onde a ($EUA_{PROD.}$) foi calculada pela razão entre a produção total de grãos e a lâmina total de água utilizada, em cada tratamento, valores expressos em $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$.

3.9 Análise estatística

Os resultados obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade, seguindo o esquema de parcelas subdivididas no tempo (tratamentos x cultivares x épocas de avaliação) para a análise das variáveis fotossíntese, transpiração e condutância estomática. As demais variáveis analisadas seguiram o esquema de parcelas subdivididas no tempo (tratamentos x cultivares). Quando verificado efeito significativo na interação ou dos efeitos principais, as médias obtidas nos diferentes tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional para assistência estatística ASSISTAT 7.7 beta da Universidade Federal de Campina Grande (PARAÍBA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fotossíntese (A), Transpiração (E) e Condutância Estomática (g_s)

O resumo das análises das variâncias das variáveis fisiológicas do feijão-caupi para os dados de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância das variáveis fotossíntese, transpiração e condutância estomática do feijão-caupi, submetidas à deficiência hídrica nos diferentes estádios fenológicos. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽⁵⁾

FV	GL	Quadrados médios		
		A	E	g _s
Blocos	3	0,75 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Tratamentos (T)	7	21,32**	3,57*	0,05**
Resíduo (T)	21	1,28	0,98	0,01
Cultivares (C)	1	33,70**	6,61**	0,11**
T x C	7	6,66**	2,22**	0,01*
Resíduo (C)	24	1,09	0,57	0,01
Épocas (E)	2	37,83**	292,11**	1,88**
T x E	14	32,11**	2,34**	0,05**
C x E	2	1,23 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,04*
T x C x E	14	3,25**	3,83**	0,02 ^{ns}
Resíduo (E)	96	1,05	0,83	0,01
CV - T (%)	-	3,81	10,39	18,22
CV - C (%)	-	3,51	7,86	10,17
CV - E (%)	-	3,44	9,50	14,98

⁽⁵⁾FV - Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; A – Fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); E – Transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); g_s – Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); ** – Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * – Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação as variáveis fotossíntese, transpiração e condutância estomática do feijão-caupi, pode-se observar na Tabela 5, que as mesmas foram influenciadas significativamente pelos efeitos principais dos fatores tratamentos (T), cultivares (C) e épocas de avaliação (E). Com exceção da variável condutância estomática, verificou-se efeito significativo para a interação tripla entre fatores tratamentos x cultivares x épocas de avaliação (T x C x E), pelo teste F ($p < 0,01$), o que indica dependência entre os fatores da interação, de tal forma que existem diferenças entre os tratamentos, entre as cultivares de feijão-caupi, quando aplicados em cada época de desenvolvimento da cultura.

A verificação das trocas gasosas representa uma importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas, sendo determinadas para as condições edafoclimáticas locais, isto porque a redução no crescimento e a consequente diminuição na produtividade das plantas pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética, limitada por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (PEIXOTO *et al.* 2002, PAIVA; MATTA; CAMBRAIA, 2005).

O desdobramento em teste de médias da interação tripla significativa para a variável fotossíntese (A), pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Médias dos dados de fotossíntese (A) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽⁶⁾

Tratamentos/ Cultivares	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
	E1	E2	E3
T1 C1	30,32 A	29,34 A	29,45 A
T1 C2	31,12 AB	29,48 B	32,77 A
T2 C1	32,82 A	27,41 B	27,25 B
T2 C2	31,89 A	28,88 B	28,41 B
T3 C1	29,17 B	26,88 C	32,59 A
T3 C2	31,67 B	27,59 C	34,34 A
T4 C1	30,13 A	27,47 B	29,59 A
T4 C2	30,49 A	27,51 B	27,35 B
T5 C1	28,91 A	29,02 A	30,06 A
T5 C2	30,05 B	31,18 B	33,71 A
T6 C1	29,75 B	31,71 A	28,23 B
T6 C2	29,83 B	32,10 A	30,38 B
T7 C1	27,04 B	28,73 B	33,38 A
T7 C2	29,01 B	29,11 B	34,48 A
T8 C1	28,22 A	28,44 A	28,31 A
T8 C2	28,57 A	27,85 AB	26,50 B

⁽⁶⁾ A - Fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); C1: Cultivar Sempre Verde; C2: Cultivar Setentão; Épocas: E1 – estágio vegetativo; E2 – estágio de floração; E3 – estágio de formação da produção; Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ($\text{DMS}_L = 1,72$).

De acordo com Floss (2004), cerca de 90% da produção biológica das plantas ocorre em resposta à atividade fotossintética. Segundo Miller *et al.* (2010), a deficiência hídrica, especialmente sob alta intensidade de luz ou em combinação com outros tipos de estresse, afeta a fotossíntese e aumenta a fotorrespiração, alterando a homeostase das células e causando um aumento na produção das espécies reativas de oxigênio (ROS).

Através da análise estatística observa-se que a cultivar Setentão foi superior estatisticamente em relação a cultivar Sempre Verde, com valor médio de $30,18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Com relação à variável fotossíntese (A). Estudando-se o efeito dos tratamentos entre as cultivares de feijão-caupi, dentro de cada época de avaliação, constatou-se que os tratamentos T1 (sem déficit hídrico durante os estádios fenológicos), T5 (déficit hídrico no estágio vegetativo) e T8 (com déficit hídrico em todos os estádios fenológicos) observados na cultivar Sempre Verde (C1), não diferiram estatisticamente com relação a indução das épocas de avaliação, sendo a fase vegetativa (E1), a fase de floração (E2) e a formação da produção (E3) (Tabela 6).

Analisando os tratamentos T1 e T8 da cultivar Sempre Verde, observa-se que os mesmos foram submetidos ao longo das três épocas a mesma situação dentro dos tratamentos, sem e com déficit hídrico em todas as fases, respectivamente, apresentaram resultados esperados, pois não diferiram ao longo das épocas. Já o tratamento T5, apesar de ter sido submetido ao déficit hídrico no estágio vegetativo, foi suficiente para garantir um status hídrico comparável entre as três épocas, pois desempenhou taxas fotossintéticas semelhantes ao longo dos estádios. Sendo este tratamento, uma possível estratégia de manejo da irrigação com déficit hídrico, com o intuito de reduzir a lâmina de água aplicada.

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

Aos 46 DAS, na fase vegetativa (E1), o tratamento com déficit no estágio de formação da produção em ambas as cultivares (T2C1 e T2C2), e o tratamento com déficit no estágio de floração e formação da produção na cultivar Setentão (T4C2), foram estatisticamente superiores com relação aos demais estádios fenológicos. Mas vale ressaltar que o T1C2, não diferiu estatisticamente das épocas E2 e E3. O T4C1, também não diferiu estatisticamente da época E3, e o T8C2 foi similar estatisticamente a época E2. Semelhantemente, nestes tratamentos, a deficiência hídrica não ocorreu no estágio vegetativo (E1), também registraram-se as maiores médias de fotossíntese. Com exceção para o tratamento T8C2 (déficit em todas os estádios fenológicos). Observa-se que os tratamentos

T5, T6, T7 e T8 sofreram déficits no estágio vegetativo por isso tiveram menores médias fotossintéticas na fase vegetativa, resultados estes já esperados para esta condição (Tabela 6).

Os resultados da taxa fotossintética desse estudo mostram que a fase vegetativa foi a segunda mais afetada pelo déficit hídrico, de acordo com Karamanos, Elston e Wadsworth (1982), a ocorrência de estresse hídrico durante a fase vegetativa inicial, provoca redução da área foliar e da superfície fotossintética.

Resende, Henderson e Fereres (1981) relataram que plantas submetidas a tensões hídricas reduzem a turgescência e, conseqüentemente, a expansão celular, o que promove redução no alongamento do caule e da folha.

Aos 64 DAS, na fase de floração (E2), apenas o tratamento com déficit no estágio vegetativo e de formação da produção em ambas as cultivares de feijão-caupi (T6C1 e T6C2), apresentaram superioridade estatística significativa nesta época, quando equiparada com as demais (Tabela 6). Esse resultado está condizente para esta fase, pois as maiores taxas fotossintéticas alcançadas foram devido este estágio fenológico não ter sofrido déficit hídrico. A fase de floração diferiu estatisticamente das demais e apresentou a menor média geral de taxa fotossintética, com um valor de $28,92 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Este valor está acima do encontrado pelos autores Silva *et al.* (2010), que analisando o comportamento das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica, constataram que a maior taxa fotossintética foi observada no tratamento T0 - reposicao de 100% da água perdida por evapotranspiração, com um valor de $23,86 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Segundo Jones (1992), o estresse hídrico afeta a bioquímica, a fisiologia, a morfologia e os processos de desenvolvimento das plantas, reduzindo a fotossíntese de três maneiras: pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar, através da diminuição da difusão do CO_2 para dentro da folha e pela dificuldade de fixação de CO_2 pelos cloroplastos.

Devido a severos ataques de pragas na cultura do feijão-caupi, observadas principalmente a partir da fase de floração, constatou-se uma diminuição na área foliar, ocasionando reduções na fotossíntese, sendo este um dos indicativos dessa fase ter sido a mais afetada pelo déficit hídrico.

Aos 83 DAS, na fase de formação da produção (E3), apenas o tratamento com déficit no estágio floração (T3C1 e T3C2) e o tratamento com déficit no estágio vegetativo e de floração (T7C1 e T7C2), em ambas as cultivares, apresentaram superioridade estatística significativa nesta época, quando equiparada com as demais (Tabela 6). Similaridades entre

esses tratamentos, foi em decorrência da ausência de déficit hídrico na fase de formação da produção, justificando valores mais elevados de fotossíntese nesta fase.

Conforme Taiz e Zeiger (2010), na medida em que as folhas crescem sua capacidade para produzir fotoassimilados aumenta até o alcance da maturidade, que consiste em seu crescimento final, fase na qual as taxas de fotossíntese começam então a decrescer. Porém, o estágio de formação da produção (E3) foi superior estatisticamente com relação as demais épocas, com uma fotossíntese média de $30,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

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

Silva *et al.* (2010), analisando o comportamento das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica, observaram que os níveis de fotossíntese no tratamento T0 (reposição de 100% da água perdida por evapotranspiração) e T1 (reposição de 50%) foram semelhantes, demonstrando que o déficit hídrico submetido as plantas no tratamento T1 não danificou o aparato fotossintético. Estas informações estão condizentes aos encontrados na pesquisa, pois apesar do estágio de formação da produção ter passado por mais períodos de déficits em comparação as outras fases, de maneira geral não acarretou em reduções na fotossíntese.

Segundo Kozłowski e Pallardy (1997), as variações que ocorrem nas taxas fotossintéticas dos vegetais em função das distintas fases fenológicas estão ainda associadas às diversas modificações que ocorrem nas folhas em nível morfológico, anatômico e fisiológico, em decorrência do processo de expansão foliar, onde se menciona: o desenvolvimento de tecidos foliares internos, frequência de estômatos e tricomas, síntese de clorofilas, aumento da condutância estomática, capacidade de transporte de elétrons, síntese de proteínas e atividade da ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase/oxidase (Rubisco), além da redução na respiração mitocondrial.

O desdobramento em teste de médias da interação tripla significativa para a variável transpiração (E), pode ser observado na Tabela 7. Com relação à transpiração, observa-se que cultivar Setentão foi superior estatisticamente quando equiparado com a cultivar Sempre Verde, com valor médio de $9,75 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Constata-se que a época de floração foi a que apresentou os maiores valores de transpiração, diferindo estatisticamente das demais épocas, com média de $11,83 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, o que evidencia que neste estágio fenológico a cultura do feijão-caupi possui uma maior demanda hídrica, seguida das fases vegetativa e de formação da produção.

Tabela 7 – Médias dos dados de transpiração (E) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽⁷⁾

Tratamentos/ Cultivares	E (mmol m ⁻² s ⁻¹)		
	E1	E2	E3
T1 C1	9,56 B	11,64 A	7,08 C
T1 C2	9,52 B	13,50 A	7,74 C
T2 C1	10,09 A	10,90 A	6,56 B
T2 C2	10,02 B	13,33 A	6,97 C
T3 C1	9,17 B	12,02 A	8,08 B
T3 C2	10,08 AB	11,40 A	8,77 B
T4 C1	8,08 B	11,13 A	7,01 B
T4 C2	9,30 A	10,70 A	6,54 B
T5 C1	9,98 A	10,47 A	7,07 B
T5 C2	9,50 B	13,01 A	8,32 B
T6 C1	9,00 B	10,68 A	7,56 B
T6 C2	9,12 B	11,61 A	7,90 B
T7 C1	9,04 B	12,21 A	8,47 B
T7 C2	8,42 B	12,84 A	8,43 B
T8 C1	8,72 B	13,75 A	6,86 C
T8 C2	8,98 AB	10,07 A	7,97 B

⁽⁷⁾ E - Transpiração (mmol m⁻² s⁻¹); Épocas: E1 – estágio vegetativo; E2 – estágio de floração; E3 – estágio de formação da produção; Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; (DMS_L = 1,53).

François (2012), avaliando as relações hídricas das plantas de feijão, quando submetidas a diferentes manejos de irrigação deficitária, constatou que o valor médio da taxa de transpiração durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi de 11,65 mmol m⁻²s⁻¹ para as plantas com irrigação de 100% da ET_c, sendo este valor semelhante ao encontrado na pesquisa para época de floração, e nas plantas com irrigação deficitária de 25% da ET_c, o valor médio da taxa de transpiração foi de 8,05 mmol m⁻²s⁻¹, no qual se assemelha aos valores obtidos na época vegetativa e de formação da produção.

Segundo Nóbrega *et al.* (2001), o consumo hídrico do feijão-caupi aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação. Devido este maior requerimento da cultura por água na fase de floração, justifica-se o fato desta fase fenológica apresentar os maiores valores de transpiração.

Silva (2012), avaliando as respostas da cultura do girassol a irrigação plena e a diferentes regimes de déficit hídrico durante seus estádios fenológicos, também constatou que

o maior valor médio de transpiração ($17,64 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi registrado para a avaliação realizada aos 68 DAS (fase de floração).

Com relação à variável transpiração (E), estudando-se o efeito dos tratamentos entre as cultivares de feijão-caupi, dentro de cada época de avaliação, constatou-se que os tratamentos T1C1 e T1C2 (sem déficit hídrico durante os estádios fenológicos), o T2C2 (déficit hídrico de formação da produção) e T8C1 (com déficit hídrico em todos os estádios fenológicos), diferiram estatisticamente nas três épocas de avaliação. As épocas apresentaram a seguinte sequência de superioridade, onde $E2 > E1 > E3$. Semelhantemente, os tratamentos não foram submetidos ao déficit hídrico no estágio de floração, fato este que acarreta nos elevados valores desta fase fenológica (Tabela 7).

Entre os tratamentos T2C1, T4C2, T5C1 não foi verificada diferença estatística entre as épocas E1 e E2, porém observa-se inferioridade estatística quando comparada com a época E3. Com relação ao T3C2 e T8C2, à época E2 não diferiu estatisticamente da E1, já está também não diferiu da época E3. Com relação as épocas E1 e E3, não foram denotadas diferenças significativas entre elas nos tratamentos T3C1, T4C1, T5C2, T6C1, T6C2, T7C1 e T7C2, observa-se inferioridade estatística quando equiparadas com a época E2 (Tabela 7).

Larcher (2000), afirma que a deficiência hídrica ocasiona perda progressiva da turgescência protoplasmática e aumento na concentração de solutos, resulta inicialmente um distúrbio na função celular. Surgem os déficits funcionais e, por fim, as estruturas protoplasmáticas são danificadas. Segundo o autor, o menor consumo de água, pela redução da superfície de transpiração da planta, para evitar a sua dessecação, parece ser uma das medidas comportamentais, entre outras, de resistência ao déficit hídrico, refletindo-se na sua morfologia. Esse comportamento pode ser observado na fase de maturação, onde foram detectados os menores valores de transpiração, visto que nesta fase a quantidade de folhas já se encontrava bastante reduzida e a planta já havia passado por todos os déficits ao longo do ciclo.

Constata-se que o déficit hídrico não foi um fator determinante para influenciar diferenças entre os tratamentos dentro de cada época, pois os tratamentos com e sem estresse hídrico apresentaram um comportamento bastante semelhante. É importante ressaltar que medidas momentâneas de trocas gasosas podem não refletir o autêntico comportamento fisiológico da planta em decorrência da condição de estresse ao longo de todo dia e, portanto, merecem ser avaliadas com certa precaução (SILVA *et al.*, 2010).

Segundo Taiz e Zeiger (2010), reportam que no curso diário natural ocorre desbalanço entre a água absorvida pelo sistema radicular e a transpirada pelas folhas,

independente da condição de suprimento hídrico em função da oscilação da demanda evaporativa da atmosfera ao longo do dia. Silva (2012), afirma que provavelmente em algum momento do dia pudesse ter sido detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, uma vez que aqueles tratamentos que não se encontravam sob limitado suprimento hídrico ao longo dos diferentes estádios de desenvolvimento, poderiam ser favorecidos em detrimento aos tratamentos submetidos ao déficit, levando-se em consideração a exigência diferenciada de água ao longo do ciclo cultural.

O controle estomático é uma importante propriedade fisiológica por meio da qual as plantas limitam a perda de água, ocasionando reduções na condutância estomática, acarretando em reduções das trocas gasosas como forma de resposta das plantas a diversos fatores, incluindo o déficit hídrico (PAIVA *et al.*, 2005).

A comparação das médias da variável condutância estomática (g_s) para o efeito entre a interação dos tratamentos x épocas de avaliação, pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Médias dos dados de condutância estomática (g_s) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽⁸⁾

Tratamentos	g_s (mol m ⁻² s ⁻¹)		
	E1	E2	E3
T1	0,97 abA	0,61 aB	0,52 aB
T2	1,09 aA	0,61 aB	0,50 aB
T3	0,89 bcA	0,53 aB	0,55 aB
T4	0,73 cdA	0,54 aB	0,52 aB
T5	0,75 cdA	0,63 aB	0,50 aC
T6	0,85 bcA	0,65 aB	0,53 aC
T7	0,68 dA	0,56 aB	0,55 aB
T8	0,85 bcA	0,58 aB	0,55 aB

⁽⁸⁾ g_s – Condutância estomática (mol m⁻² s⁻¹); Épocas: E1 – estágio vegetativo; E2 – estágio de floração; E3 – estágio de formação da produção; Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; (DMS_C = 0,16; DMS_L = 0,12).

Com relação à condutância estomática, observa-se que a cultivar Setentão seguiu o mesmo comportamento das outras variáveis de trocas gasosas, foi superior estatisticamente quando equiparado com a cultivar Sempre Verde, com valor médio de 0,68 mol m⁻² s⁻¹. Verifica-se que a condutância estomática atingiu os maiores valores na fase vegetativa (E1), com valor médio de 0,85 mol m⁻² s⁻¹, depois os valores foram decrescendo com o decorrer das épocas de floração (E2) e formação da produção (E3), com reduções de 30,60 e 37,65%, respectivamente, ao se comparar com a época E1.

Estes resultados estão condizentes com as informações de Silva (2012), estudando a cultura do girassol submetida à diferentes déficits hídricos durante seus estádios fenológicos, também verificou que o maior valor médio ($1,42 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de condutância estomática foi registrado para a avaliação realizada aos 52 DAS, que corresponde a fase vegetativa, com valores decrescentes com o decorrer das épocas.

Estes resultados corroboram com François (2012), que avaliando as relações hídricas das plantas de feijão, quando submetidas a diferentes manejos de irrigação deficitária, verificou que ao final do ciclo da cultura, a intensificação do déficit hídrico nas plantas ocasionou diminuição da condutância estomática, demonstrando que o controle estomático em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária é um mecanismo de defesa fisiológica das plantas por meio da qual elas reduzem a perda de água.

De acordo com Gholz, Ewel e Teskey (1990), a disponibilidade de água no solo afeta diretamente o crescimento das plantas, pois regula a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a produção de fitomassa. O decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e sua condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos, interrompendo o fluxo de CO_2 para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade.

Estudando-se o efeito entre as épocas, quanto à condutância estomática, observa-se que a fase vegetativa (E1) foi superior estatisticamente em todos os tratamentos quando comparado com as demais épocas. Já as fase de floração (E2) e formação da produção (E3) não diferiram estatisticamente entre si, com exceção dos tratamentos T5 (déficit no estágio vegetativo) e T6 (déficit no estágio vegetativo e formação da produção), que foram estatisticamente inferiores na época E3, quando equiparada com as outras épocas.

Analisando os efeitos dos tratamentos dentro da época E1, observa-se que os tratamentos T2 (déficit hídrico no estágio de formação da produção) e T1 (sem déficit hídrico), não diferiram estatisticamente entre si, registrando as maiores médias, com valores médios de $1,09$ e $0,97 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Já o tratamento T1 não diferiu do T3, T6 e T8, no qual estes foram semelhantes ao T4 e T5, que porventura não diferiram do T7. Este tratamento foi o mais afetado pelo estresse hídrico, com redução de 37,61% em relação a T2. No entanto, não foi verificada diferenças significativas entre os efeitos dos tratamentos dentro das épocas E2 e E3, o que implica que o déficit hídrico não afetou a g_s (Tabela 8).

Tais resultados estão abaixo do encontrado por François (2012), ao constatar que o maior valor de condutância estomática, $1,36 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, foi observado nas plantas sem

irrigação deficitária, aos 66 DAE, o que caracteriza maior abertura dos estômatos, favorecendo a perda de água pela folha.

Lima (2008) encontrou um valor médio de condutância estomática de $0,55 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, para plantas de feijão irrigado e, com o aumento do déficit hídrico, o valor foi reduzido para $0,015 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005), quando estudaram condutância estomática como indicador estresse hídrico em feijão-caupi, encontraram valores de g_s variando de 0,03 a $0,18 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Contudo, os valores encontrados neste estudo foram superiores aos observados pelos referidos autores.

Para Nascimento (2009), o fechamento dos estômatos juntamente com a inibição do aumento da área foliar estão entre as primeiras respostas ao estresse hídrico, protegendo as plantas contra as perdas de água, a qual pode resultar em desidratação celular, fechamento da cavidade xilemática ou até a mesmo a morte dessa planta. Nesse sentido, plantas que conseguem rapidamente evitar a perda de água por meio do fluxo estomático e manter, pelo menos temporariamente, taxas fotossintéticas razoáveis apresentam um bom comportamento fisiológico em situações de deficiência hídrica.

4.2 Matéria seca da parte aérea

Na Tabela 9 estão os resumos das análises de variâncias para as variáveis de produção de matéria seca da parte aérea para os dados de matéria seca das folhas (MSF), matéria seca das hastes (MSH), matéria seca das vagens (MSV) e matéria seca total (MST).

Tabela 9 – Resumo das análises das variâncias para os dados de matéria seca da parte aérea do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽⁹⁾

FV	GL	Quadrados médios			
		MSF	MSH	MSV	MST
Blocos	3	65,21 ^{ns}	415,29*	166,45 ^{ns}	1662,43*
Tratamentos (T)	7	220,04**	1465,56**	7767,85**	16329,82**
Resíduo (T)	21	22,95	131,40	85,47	452,39
Cultivares (C)	1	84,18 ^{ns}	273,90 ^{ns}	0,09 ^{ns}	676,87 ^{ns}
T x C	7	84,71*	345,60*	605,81**	1669,57**
Resíduo (C)	24	28,40	102,51	43,32	305,13
CV - T (%)	-	10,79	14,58	12,84	10,91
CV - C (%)	-	12,00	12,88	9,14	8,96

⁽⁹⁾ FV - Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; MSF - Matéria seca das folhas, MSH - Matéria seca das hastes, MSV - Matéria seca das vagens; MST - Matéria seca total; ** – Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * – Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação às variáveis de produção de matéria seca da parte aérea (MSF, MSH, MSV e MST), verificou-se que as mesmas foram influenciadas significativamente pelos efeitos principais dos fatores tratamentos (T) pelo teste F a 1% de probabilidade. Já com relação as cultivares não foi verificado efeito significativo em nenhuma das variáveis analisadas. Contudo, houve interação significativa entre os fatores tratamentos x cultivares (T x C), pelo teste F a 1% de probabilidade para a variável MSV e MST a 5% de probabilidade para MSF e MSH, o que indica dependência entre os fatores da interação, de tal forma que existem diferenças entre os tratamentos, quando aplicado entre as cultivares (Tabela 9).

Leite e Virgens Filho (2004), estudando a influência do déficit hídrico sobre a produção de matéria seca no feijão-caupi evidenciaram que, os efeitos negativos sobre o crescimento da cultura se acentuaram como resposta aos déficits hídricos de maior duração, tanto na fase vegetativa quanto na fase reprodutiva, resultando em progressiva redução da matéria seca total, de folhas, de flores e vagens.

O desdobramento em teste de médias das interações significativas para as variáveis MSF, MSH, MSV e MST, pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 – Médias dos dados de matéria seca das folhas (MSF), matéria seca das hastes (MSH), matéria seca das vagens (MSV) e matéria seca total (MST) em (g planta⁻¹) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽¹⁰⁾

Cultiv.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
MSF (g planta ⁻¹)								
SVE	54,36 aA	46,25 abB	42,50 bA	44,75 abA	36,50 bB	40,50 bA	41,25 bA	40,00 bA
SET	51,50 abA	57,45 aA	41,50 bcdA	44,25 bcdA	50,25 abcA	42,51 bcdA	40,00 cdA	37,00 dA
MSH (g planta ⁻¹)								
SVE	98,01 aA	82,81 abB	72,93 bcA	85,04 abA	71,83 bcA	72,32 bcA	71,10 bcA	58,28 cA
SET	96,62 abA	112,18 aA	77,53 bcdA	76,15 bcdA	82,49 bcA	81,39 bcdA	57,80 dA	61,26 cdA
MSV (g planta ⁻¹)								
SVE	136,75 aA	60,25 cB	54,75 cdA	90,75 bA	84,00 bA	39,75 deA	80,00 bA	29,50 eB
SET	117,25 aB	89,58 bcA	45,50 dA	92,50 bA	73,25 cB	23,25 eB	86,5 bcA	48,50 dA
MST (g planta ⁻¹)								
SVE	289,12 aA	189,31 bcB	170,18 cdA	220,54 bA	192,33 bcA	152,57 cdA	192,35 bcA	127,77 dA
SET	265,37 aA	259,21 aA	164,53 cdA	212,90 bA	205,99 bcA	147,15 dA	184,30 bcdA	146,76 dA

⁽¹⁰⁾ Cultiv – Cultivares; SVE – Sempre Verde; SET – Setentão; MSF - Matéria seca das folhas, MSH - Matéria seca das hastes, MSV - Matéria seca das vagens; MST - Matéria seca total; Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; MSF (DMS_L= 11,38; DMS_C= 7,78); MSH (DMS_L= 24,35; DMS_C= 14,78); MSV (DMS_L= 18,16; DMS_C= 9,61); MST (DMS_L= 43,87; DMS_C= 25,50).

Como pode ser observado na Tabela 10, os resultados de MSF, MSH, MSV e MST exibiram um comportamento semelhante entre as cultivares de feijão-caupi. Sendo que o tratamento T1 na cultivar Sempre Verde apresentou os maiores valores para todas as variáveis de produção de matéria seca da parte aérea, e na cultivar Setentão para a variável MSV, resultado este já esperado para este tratamento, pois não sofreu déficit hídrico em nenhum estágio fenológico da cultura. No tratamento T8 constatou-se para a cultivar Sempre Verde os menores valores para todas as variáveis estudadas da matéria seca e na Setentão apenas a variável MSF e MST, comportamento condizente para este tratamento, pois ocorreu déficits hídricos em todos os estágios fenológicas da cultura.

Já para a cultivar Setentão os maiores valores de MSF e MSH foi observado no tratamento T2, mostrando que o déficit de água ocorrido no estágio de formação da produção não exerceu influência sobre a produção de matéria seca das folhas, hastes e total. Este fato supõem que uma irrigação com a metade da lâmina de água necessária, durante o estágio de formação da produção, se destaca como uma das estratégias para obter economia de água sem afetar a produção de matéria seca pela planta. Para as variáveis MSH a menor média foi no tratamento T7 e para MSV foi no tratamento T6 (Tabela 10).

Os tratamentos T6, T7 e T8, possuem em comum o déficit hídrico na fase vegetativa, apresentaram os menores valores de matéria seca da parte aérea entre as cultivares. Acredita-se que, esses resultados foram menores devido uma maior prolongação do período de estresse, sendo o estágio vegetativo o principal contribuinte, por ser a fase de maior duração, e por afetar o sistema assimilador e translocador de fotoassimilados das cultivares.

Os resultados da variável MSF estão condizentes com informações de Leite e Virgens Filho (2004), que estudando os efeitos do déficit hídrico no feijão-caupi constatou que os tratamentos irrigados apresentaram os maiores valores de MSF, enquanto os tratamentos submetidos a períodos prolongados de déficits apresentaram decréscimos nos valores desta variável. Segundo Taiz e Zeiger (2010), a limitação na área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas em relação ao déficit hídrico, mas a quantidade de folhas também pode ser prejudicada devido baixo índice de crescimento dos ramos.

Para Leite *et al.* (1999), as folhas são os centros de produção da fotossíntese e que o resto da planta depende da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão, o estresse hídrico nesta cultura, compromete tal exportação, contribuindo para os decréscimos de seu crescimento e produção.

Ainda com relação à variável MSF, diferenças entre as cultivares de feijão-caupi, ocorreram apenas nos tratamentos T2 e T5, que diferiram estatisticamente entre si, porém nos dois tratamentos a cultivar Setentão apresentou maiores valores de matéria seca das folhas comparada com a cultivar Sempre Verde (Tabela 10). Ambos os tratamentos sofreram déficits em apenas uma fase fenológica da cultura, o tratamento T2 (no estágio de formação da produção) e o T5 (no estágio vegetativo). Semelhantemente, se comportou a variável MSH, onde foi observado diferenças entre as cultivares no tratamento T2, que diferiu estatisticamente entre si, onde foi registrado a maior média de MSH na cultivar Setentão (Tabela 10). Sendo possível observar que a cultivar Setentão apresentou uma melhor estratégia ao déficit hídrico nessa fases.

Dutra *et al.* (2013), avaliando genótipos de feijão caupi submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica, em relação à fitomassa seca do caule e da parte aérea, verificou-se para todos os genótipos um acréscimo de massa com o incremento da disponibilidade de água, denotando que o estresse hídrico promove menor desenvolvimento e translocação de solutos para parte aérea. Oliveira *et al.* (2008) constataram em todos os tratamentos um decréscimo significativo à medida que diminuía os níveis de água no solo.

Segundo Resende, Henderson e Fereres (1981), quando as plantas são submetidas a restrições hídricas, reduzem a turgescência e, conseqüentemente, a expansão celular, o que provoca redução no alongamento da folha e do caule. Bascur, Oliva e Laing (1985) estudando o efeito do teor de água no solo sobre cultivares de feijão, verificaram que plantas submetidas a estresse hídrico tiveram forte redução da área foliar e do rendimento, mas apresentaram maior acúmulo de matéria seca em talos e ramos. Observaram, também, que variedades de feijoeiro com resistência à seca apresentam maior manutenção foliar, que resulta em maior peso de matéria seca.

Quanto à MSV, foi observado diferenças entre as cultivares de feijão-caupi nos tratamentos T1, T2, T5, T6 e T8, diferiram estatisticamente entre si, porém, sem denotação de diferenças estatisticamente significativas com relação aos demais. Na cultivar Sempre Verde foram superiores o tratamento T1, T5 e T6, já para a cultivar Setentão os tratamentos T2 e T8 (Tabela 10).

Em se tratando da MST, constata-se que a cultivar Setentão no tratamento T2 (déficit hídrico no estágio de formação da produção), diferiu estatisticamente entre si, detectando-se superioridade de aproximadamente, 27% quando comparado com o tratamento da cultivar Sempre Verde. Por outro lado, para os demais tratamentos não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre as cultivares (Tabela 10). Este resultado corroboram com Tomich,

Rodrigues e Gonçalves (2003), ao mencionarem que a produção de matéria seca dos componentes morfológicos está condicionada, dentre outros fatores, ao estágio de desenvolvimento da planta.

Göksoy *et al.* (2004) relataram que o máximo acúmulo de matéria seca foi observado quando as irrigações foram aplicadas em sua totalidade ao longo do ciclo. Millar e Gardner (1972) observaram que a redução da matéria seca total dos feijoeiros sobre estresse hídrico, está relacionada com o fechamento de estômatos, enquanto Stone, Castro e Moreira (1988) verificaram que a produção de matéria seca foi reduzida devido à redução na área foliar e na taxa assimilatória líquida de CO₂.

Torna-se evidente que os estádios fenológicos do feijão-caupi se distinguem quanto ao consumo de água, revelando assim a importância do adequado suprimento hídrico durante a fase vegetativa para a efetivação de um vigoroso crescimento por parte das plantas, refletido na produção de matéria seca da parte aérea.

4.3 Partição da matéria seca e Índice de colheita (IC)

A Tabela 11 apresenta os resumos das análises das variâncias para os dados de percentagem de contribuição de fitomassa seca das folhas, das hastes e das vagens em relação ao total de fitomassa seca e índice de colheita de plantas de feijão-caupi.

Tabela 11 – Resumo das análises de variância das variáveis de percentagem de matéria seca do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013⁽¹¹⁾

FV	GL	Quadrados médios			
		%MSF	%MSH	%MSV	%IC
Blocos	3	2,73 ^{ns}	4,72 ^{ns}	1,89 ^{ns}	3,25 ^{ns}
Tratamentos (T)	7	89,96**	269,42**	627,74**	318,89**
Resíduo (T)	21	3,21	7,83	5,33	4,21
Cultivares (C)	1	0,30 ^{ns}	423 ^{ns}	6,79 ^{ns}	107,16**
T x C	7	22,54**	40,13**	95,90**	74,70**
Resíduo (C)	24	3,36	5,86	7,97	6,07
CV - T (%)	-	7,65	6,82	6,50	7,84
CV - C (%)	-	7,82	5,90	7,94	9,42

⁽¹¹⁾ FV - Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; %MSF - Contribuição relativa percentual de fitomassa seca da folha em relação ao total; %MSH- Contribuição relativa percentual de fitomassa seca da haste em relação ao total; %MSV- Contribuição relativa percentual de fitomassa seca da vagem em relação ao total; %IC – Percentual do Índice de Colheita; ** – Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação às variáveis percentagem de matéria seca da folha, da haste e da vagem e índice de colheita, pode-se observar na Tabela 11, que as mesmas foram influenciadas significativamente pelos efeitos principais dos fatores tratamentos (T) e cultivares (C), ao nível de 1% de probabilidade. Houve interação tratamentos x cultivares (T x C), ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis em estudo, o que indica dependência entre os fatores da interação, de tal forma que existem diferenças entre os tratamentos, quando aplicados nas cultivares de feijão-caupi submetidas a déficits hídricos nas distintas fases de desenvolvimento da cultura.

O desdobramento em teste de médias das interações significativas para percentagem de fitomassa seca das folhas, das hastes, das vagens e índice de colheita de plantas de feijão-caupi, podem ser observados na Figura 12.

Tabela 12 – Contribuição relativa percentual (%) da fitomassa seca das folhas, das hastes e das vagens na produção de fitomassa seca total e índice de colheita do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013⁽¹²⁾

Cultiv.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
%MSF								
SVE	18,89 dA	24,49 bcA	24,94 bcA	20,29 dA	18,99 dB	26,55 bB	21,48 cdA	31,27 aA
SET	19,56 dA	22,04 bcdA	25,01 bA	20,78 cdA	24,39 bcA	29,28 aA	21,64 bcdA	25,29 abB
%MSH								
SVE	33,57 dA	43,78 abA	43,01 abcB	38,56 bcdA	37,34 cdA	47,44 aB	37,02 dA	45,50 aA
SET	36,31 defA	43,11 bcA	47,35 bA	35,79 efA	40,06 cdeA	54,73 aA	31,26 fB	41,72 bcdA
%MSV								
SVE	47,54 aA	31,73 cdA	32,05 cA	41,15 bA	43,67 abA	26,01 deA	41,50 bB	23,22 eB
SET	44,13 aA	34,85 bA	27,63 cB	43,43 aA	35,55 bB	15,99 dB	47,10 aA	32,98 bcA
%IC								
SVE	29,99 bA	19,80 cA	27,46 bA	40,07 aA	32,13 bA	21,98 cA	28,77 bA	19,39 cA
SET	31,16 aA	22,57 bA	13,88 cB	29,32 aB	33,15 aA	20,67 bA	30,10 aA	18,01 bcA

⁽¹²⁾ Cultiv – Cultivares; SVE – Sempre Verde; SET – Setentão; % (MSF, MSH, MSV, IC) – Contribuição percentual da fitomassa seca das folhas, das hastes e das vagens e índice de colheita; Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; %MSF (DMS_L= 4,07; DMS_C= 2,68); %MSH (DMS_L= 5,89; DMS_C= 3,53); %MSV (DMS_L= 5,80; DMS_C= 4,12); %IC (DMS_L= 5,09; DMS_C= 3,59).

De acordo com os resultados de comparação de médias pelo teste de Tukey, estudando-se o efeito dos tratamentos na cultivar Sempre Verde, em relação à variável %MSF, constatou-se que o tratamento T8 (déficit em todos os estádios fenológicos) apresentou a maior média, com 31,27%. Observa-se que os tratamentos T2, T3, T6, e T7

foram estatisticamente similares entre si, estando entre as maiores médias. Já os tratamentos T4, T5 e T1 apresentaram os menores valores, com uma redução de 35,11, 39,27 e 39,59%, respectivamente, quando equiparados ao T8. No geral, médias semelhantes foram registrados na cultivar Setentão. Destacando-se o tratamento T6 e T8, com médias de 29,28 e 25,29% de fitomassa seca das folhas, que diferiu estatisticamente dos tratamentos T4 e T1, sendo respectivamente as menores médias (Tabela 12).

O comportamento entre as cultivares de feijão-caupi foi bastante semelhante, observando diferença nos tratamentos T5 e T6, em que a cultivar Setentão foi superior a Sempre Verde, em 22,14 e 9,32% de fitomassa seca das folhas. Já a cultivar Sempre Verde foi superior a Setentão no tratamento T8, em 19,12%. Ambas as cultivares apresentaram uma média geral dos tratamentos em torno de 23,4% de fitomassa seca das folhas (Tabela 12).

De acordo com Inman-Bamber (2004), o déficit hídrico afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo, a produção de folhas, acelerando a senescência foliar da planta.

Para Gholz, Ewel e Teskey (1990), a disponibilidade de água no solo afeta o crescimento das plantas por controlar a abertura estomática e, conseqüentemente, a produção de fitomassa. O decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e sua condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o fluxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, implicando em reduções da produtividade.

Pelos resultados, verificou-se que a partição de fitomassa seca das hastes permaneceu praticamente semelhante nas duas cultivares, com uma média geral dos tratamentos em torno de 41%.

Na cultivar Sempre Verde as maiores médias de %MSH foram os tratamentos T6, T8 e T2, que possuem em comum o déficit hídrico no estágio de formação da produção. Resultado similar também foi encontrado na cultivar Setentão, onde as maiores médias dos tratamentos foram o T6, T3, T2 e T8. Constatou-se diferenças estatísticas entre as cultivares, destacando-se superioridade da cultivar Sempre Verde nos tratamentos T7 e T8, já a cultivar Setentão foi superior nos tratamentos T3 e T6 (Tabela 12).

Com relação à fitomassa seca das vagens, para a cultivar Sempre Verde, registram-se os maiores valores de %MSV para os tratamentos T1 (47,54%), T5 (43,67%), T7 (41,50%) e T4 (41,15%). Cumpre salientar, que o tratamento T5, embora tenha sido exposto ao déficit hídrico durante o estágio vegetativo, conseguiu ao final do ciclo recuperar sua fitomassa na variável %MSV, a um nível comparado estatisticamente ao tratamento

plenamente irrigado (T1). As menores médias seguiram a seguinte sequência $T3 > T2 > T6 > T8$. No tratamento T8 (déficit em todas as fases fenológicas), foi detectada inferioridade estatística com relação aos demais tratamentos, e uma redução expressiva da %MSV, de aproximadamente 51,16% quando equiparado com o tratamento T1 (Tabela 12).

Ao analisar a %MSV, na cultivar Setentão, observa-se que os tratamentos T7 (47,10%), T1 (44,13%) e T4 (43,43%), foram superiores estatisticamente com relação aos demais tratamentos, que por ventura não difeririam significativamente quando comparados entre si. Esse comportamento está condizente com as informações de Silva (2012), que reforça a hipótese de que em alguns estádios de desenvolvimento as lâminas de irrigação podem ser reduzidas sem ocasionar decréscimos significativos na produção de biomassa.

Registrou-se as menores médias de %MSV no tratamento T8, T3 e T6, respectivamente. O déficit hídrico no estádio vegetativo e formação da produção (T6), acarretou uma significativa redução de fitomassa seca das vagens em 66,10% em relação ao T7 (Tabela 12).

Entre as duas cultivares de feijão-caupi, observa-se superioridade estatística, da cultivar Sempre Verde, nos tratamentos T3, T5 e T6. Nos tratamentos T7 e T8, da cultivar Setentão, denota-se superioridade estatística em relação a Sempre Verde. Ambas as cultivares apresentaram uma média geral dos tratamentos em torno de 35,53%.

Ao analisar o índice de colheita, que é a proporção da biomassa total acumulada nos grãos, observa-se que o tratamento T4 da cultivar Sempre Verde, que sofreu déficit hídrico no estádio de floração e formação da produção, superou estatisticamente todos os tratamentos. Os tratamentos T1, T3, T5 e T7, não diferiram estatisticamente entre si, porém diferiram dos tratamentos T2, T6 e T8, sendo estes as menores médias de %IC. O tratamento com déficit hídrico em todas as fases (T8) foi o mais prejudicado, onde apenas 19,39% da biomassa total foi exportada para os grãos (Tabela 12).

Seguramente, o baixo rendimento de grãos foi limitado pelo estresse hídrico, por essa razão, a cultura deve ser manejada de maneira a permitir o acúmulo máximo de biomassa, e que uma proporção máxima dessa biomassa seja desviada para os grãos.

Com relação a cultivar Setentão, ao analisar a %IC, os tratamentos T1, T4, T5, T7, não diferiram entre si, mas foram estatisticamente superiores aos demais tratamentos. Já as menores médias seguiram a seguinte sequência $T2 > T6 > T8 > T3$. Não denotando diferenças estatísticas entre T3 e T8 (Tabela 12).

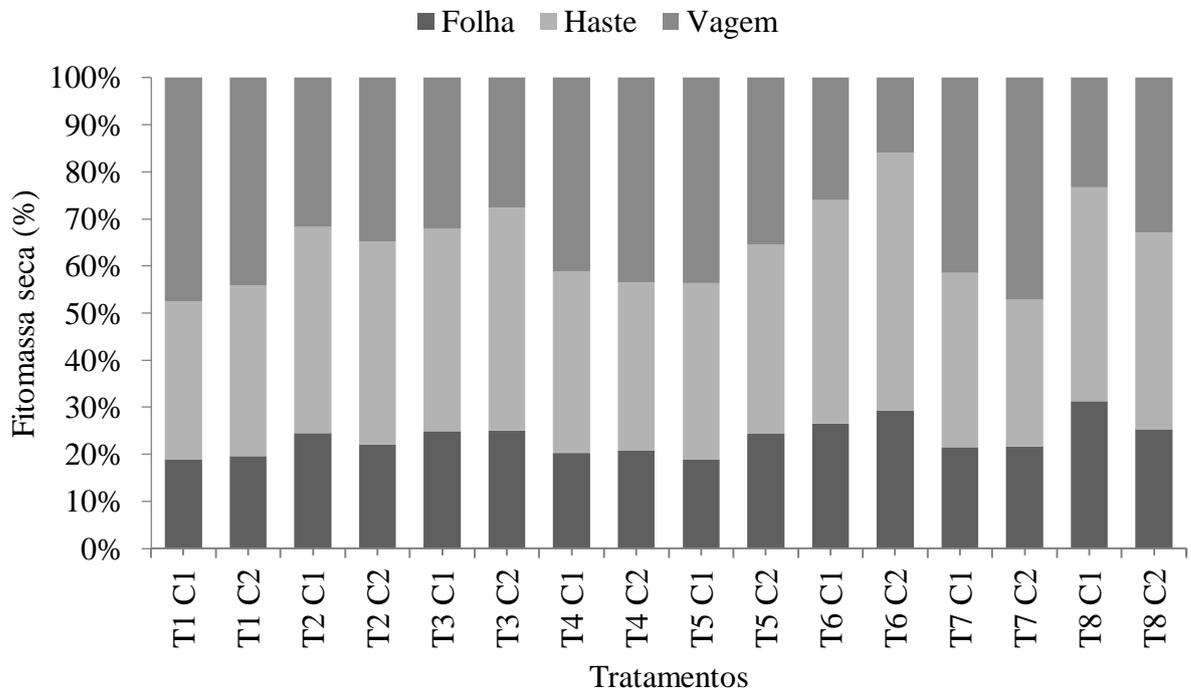
Entre as cultivares, constata-se superioridade estatística da cultivar Sempre Verde, tanto na média geral dos tratamentos que foi de 27,45%, com nos tratamentos T3 e T4, que

em termos percentuais diferiram em 49,42 e 26, 83%, respectivamente, quando equiparada com a cultivar Setentão, que teve uma média geral de 24,86%.

Melo, Bezerra e Lacerda (2012), avaliando as alterações na partição de matéria seca da parte aérea em feijão-de-corda, encontraram índices de colheitas variando de 31,2 a 34,7% em todos os tratamentos. Apesar desses autores terem submetidos estresses salinos e não hídricos, as médias encontradas por eles ficaram um pouco acima das encontradas neste estudo. Tal fato, suscita a hipótese de que em condições de restrição hídrica, o índice de colheita, que representa a produção de grãos em relação à matéria seca total da planta, foi mais afetado do que um estresse salino.

Os valores médios de contribuição relativa percentual da fitomassa seca produzida pelas folhas, hastes e vagens, nos diferentes tratamentos estudados podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 – Contribuição relativa percentual (%) da fitomassa seca das folhas, das hastes e das vagens na produção de fitomassa seca total do feijão-caupi, cv. Sempre (C1) e Setentão (C2), cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013



Observa-se na Figura 8, que em ambas as cultivares, no tratamento plenamente irrigado (T1), a fitomassa seca no feijão-caupi está alocada de forma que, em média, 20% correspondem à matéria seca das folhas, 30% hastes e 50% vagens. Enquanto o tratamento que sofreu déficit hídrico em todos os estádios (T8), alocando matéria seca das folhas, hastes e vagens, em torno de 30, 45 e 25% na C1 e 25, 40 e 35% na C2. Observam-se incrementos na produção de fitomassa seca das folhas e hastes no T8 com relação T1.

Constatou-se que em ambas as cultivares de feijão-caupi as hastes e vagens foram os órgãos que mais contribuíram para o acúmulo da matéria seca total, independente dos déficits hídricos impostos aos tratamentos.

As menores contribuições de matéria seca das folhas, explicam-se conforme os relatos de Coêlho e Oliveira Júnior (1990), devido as reduções do nível de água no solo torna-se um dos principais fatores limitantes ao crescimento das plantas o qual depende, por sua vez, da crescente formação dos tecidos, tal como da expansão e diferenciação celular, atividades essas que são reduzidas em condições de deficiência hídrica acarretando diminuição da área foliar.

Percebe-se na Figura 8, que as duas cultivares, no tratamento T6, com déficit hídrico nos estádios vegetativo e formação da produção, apresentaram uma menor alocação de matéria seca nas vagens do que os demais tratamentos. Tal comportamento, pode ser explicado levando-se em conta o baixo acúmulo de fotoassimilados nas folhas, durante a fase vegetativa, que não conseguiu suprir a necessidade de translocação dos mesmos para o enchimento dos grãos, já que neste período também houve déficit hídrico.

Apesar de evidenciarem-se algumas diferenças entre a alocação de biomassa entre os órgãos constituintes da parte aérea do feijão-caupi frente às estratégias de irrigação impostas à cultura, acredita-se que, nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico as plantas tenham investido em uma maior alocação de biomassa para o sistema radicular a fim de assegurar o suprimento hídrico da cultura através do aumento de sua área de exploração. Tal variável não foi analisada no presente estudo, devido o experimento ter sido conduzido em campo, inviabilizando de certa forma sua mensuração.

De acordo com Fumis e Pedras (2002), o déficit hídrico favorece o desenvolvimento do sistema radicular durante o estágio vegetativo, comparativamente à parte aérea da maioria das culturas. Este fenômeno atua em todo o crescimento da planta reduzindo seu potencial de crescimento na parte aérea porém estimulando o crescimento das raízes, na tentativa de buscar por água em maiores profundidades do solo (SOARES; NASCIMENTO, 1998).

4.4 Componentes de produção e produtividade

O resumo das análises das variâncias para os dados de massa de 100 grãos (MCG), número de vagens por planta (NVP), comprimento das vagens (COV), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade de grãos (PG) do feijão-caupi está apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Resumo das análises de variâncias para as variáveis de componentes de produção do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013⁽¹³⁾

FV	GL	Quadrados médios				
		MCG	NVP	COV	NGV	PG
Blocos	3	0,87 ^{ns}	8,21*	0,50 ^{ns}	0,25 ^{ns}	2256,66 ^{ns}
Tratamentos (T)	7	34,24**	5,71*	2,59**	3,42**	162331,63**
Resíduo (T)	21	1,44	2,09	0,38	0,51	842,94
Cultivares (C)	1	0,86 ^{ns}	0,01 ^{ns}	5,01**	47,32**	9255,02**
T x C	7	10,49**	1,57 ^{ns}	1,48**	2,54**	20745,34**
Resíduo (C)	24	1,26	0,89	0,26	0,44	684,51
CV - T (%)	-	9,33	30,23	3,80	4,71	8,31
CV - C (%)	-	8,74	19,65	3,16	4,38	7,49

⁽¹³⁾ FV - Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; NVP - Número de vagens por planta; COV - Comprimento da vagem, NGV - Número de grãos por vagem, MCG - Massa de 100 grãos, PG - Produtividade de grãos; ** – Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * – Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em relação às variáveis MCG, NVP, COV, NGV e PG pode-se observar ainda na Tabela 13, que as mesmas foram influenciadas significativamente pelos efeitos principais dos tratamentos (T), pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade apenas para a variável NVP, sendo as demais variáveis significativas pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. Verificou-se efeito significativo das cultivares de feijão-caupi apenas as variáveis comprimento das vagens (COV), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade de grãos (PG) pelo teste F ($p < 0,01$). Também foram influenciadas significativamente pela interação tratamentos x cultivares (T x C), as variáveis MCG, COV, NGV e PG pelo teste F ($p < 0,01$), o que indica dependência entre os fatores da interação, de tal forma que existem diferenças entre os tratamentos, quando aplicados entre as cultivares de feijão-caupi Sempre Verde e Setentão.

O desdobramento em teste de médias das interações significativas para as variáveis dos componentes de produção e produtividade das cultivares de feijão-caupi, pode ser observada na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores médios da massa de 100 grãos (MCG), número de vagens por planta (NVP), comprimento médio das vagens (COV), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade de grãos (PG) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽¹⁴⁾

Cultiv.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	MCG (g)							
SVE	13,70 abAB	11,55 bA	12,16 bA	15,08 aA	13,68 abB	13,25 abA	13,84 abA	8,61 cA
SET	15,71 abA	12,80 cA	13,29 bcA	11,31 cB	17,26 aA	12,90 cA	12,07 cB	8,38 dA
	COV (cm)							
SVE	17,45 aA	16,25 abcA	16,44 abcA	15,47 cA	17,37 abA	16,36 abcA	16,24 abcA	16,17 bcA
SET	16,96 aA	16,19 abcA	15,94 abcA	15,46 bcdA	15,16 cdB	16,61 abA	16,29 abcA	14,67 dB
	NGV (unidade)							
SVE	16,38 aA	15,40 aA	16,09 aA	16,00 aA	16,87 aA	15,55 aA	16,85 aA	15,33 aA
SET	15,05 abB	14,53 abA	14,50 abB	14,47 abB	14,22 abB	15,75 aA	14,12 bB	12,06 cB
	PG (kg ha ⁻¹)							
SVE	573,11 aA	250,75 deB	309,33 cdA	589,27 aA	411,90 bB	223,37 efA	368,48 bcA	164,03 fA
SET	548,35 aA	386,32 cA	150,09 dAB	415,12 bcB	454,96 bA	199,43 dA	368,19 cA	175,37 dA

⁽¹⁴⁾ MCG - Massa de 100 grãos; COV - Comprimento da vagem; NGV - Número de grãos por vagem; PG - Produtividade de grãos; Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; MCG (DMS_L= 2,61; DMS_C= 1,63); COV (DMS_L= 1,27; DMS_C= 0,74); NGV (DMS_L= 1,55; DMS_C= 0,97); PG (DMS_L= 62,15; DMS_C= 38,19).

De acordo com os resultados de comparação de médias pelo teste de Tukey, estudando-se o efeito dos tratamentos na cultivar Sempre Verde, em relação à variável massa de 100 grãos (MCG), observa-se que os tratamentos T1, T4, T5, T6 e T7, não diferiram estatisticamente entre si, alcançando maiores valores de MCG. Constatou-se que o tratamento T4 (déficit no estágio de floração e formação da produção), apresentou a maior média, com um valor igual a 15,08 g. Já os tratamentos T3, T2 e T8 apresentaram os menores valores de MCG, porém o T8 (déficit em todos os estádios fenológicos), diferiu estatisticamente quando equiparado aos demais tratamentos. Desta forma, o estresse hídrico no tratamento T8 proporcionou uma significativa redução de 43% na massa de 100 grãos em relação à T4. (Tabela 14).

Analisando o efeito dos tratamentos na cultivar Setentão, em relação à variável massa de 100 grãos (MCG), observa-se que os tratamentos T1 (irrigação plena) e T5 (déficit no estágio vegetativo), não diferiram estatisticamente entre si, alcançando maiores valores de MCG, destacando o tratamento T5 com a maior média, valor igual a 17,26 g (Tabela 14). Este valor está abaixo do indicado por Paiva *et al.* (1977), que relata que para a cultivar “Setentão”, a massa de 100 grãos é de 19,8 gramas. Infere-se que os tratamentos T2, T3, T4, T6 e T7 exibiram desempenhos estatisticamente similares ao longo do ciclo cultural. Mas estes resultados estão condizentes com informações de Teixeira *et al.* (2010), estudando o

desempenho agrônômico e a qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi, encontraram peso de cem grãos de 17 g. E semelhantemente a cultivar Sempre Verde, o tratamento T8, diferiu estatisticamente dos demais com a menor média, valor igual a 8,38 g de MCG. Que em termos percentuais representa uma expressiva redução de 51,45% em relação ao T5 (Tabela 14).

Estes resultados corroboram com as informações de François (2012), que avaliando as relações hídricas das plantas de feijão, quando submetidas a diferentes manejos de irrigação deficitária, constatou que a aplicação da irrigação deficitária reduziu em 39,26%, a massa de cem grãos de feijão.

Ao comparar as cultivares de feijão-caupi, verifica-se que os tratamentos T4 e T7 na cultivar Sempre Verde, foram estatisticamente superiores quando equiparados com os tratamentos da cultivar Setentão, que em termos percentuais foi respectivamente 25 e 12,80%, quanto aos demais tratamentos não se detectaram diferenças estatísticas. Já os tratamentos T1 e T5 da cultivar Setentão, foram aproximadamente, 12,80 e 20,74% superiores quando equiparados com os tratamentos da cultivar Sempre Verde (Tabela 14).

Os resultados indicam que os tratamentos que apresentaram menores valores de massa de cem grãos nas cultivares de feijão-caupi, possuem em comum, déficits hídricos nas fases de floração e formação da produção. Conforme Guimarães (1988), se o déficit hídrico ocorrer durante a fase de floração, acarreta o abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens por planta; se ocorrer na fase de enchimento dos grãos, prejudica a formação de sementes ou reduz seu peso.

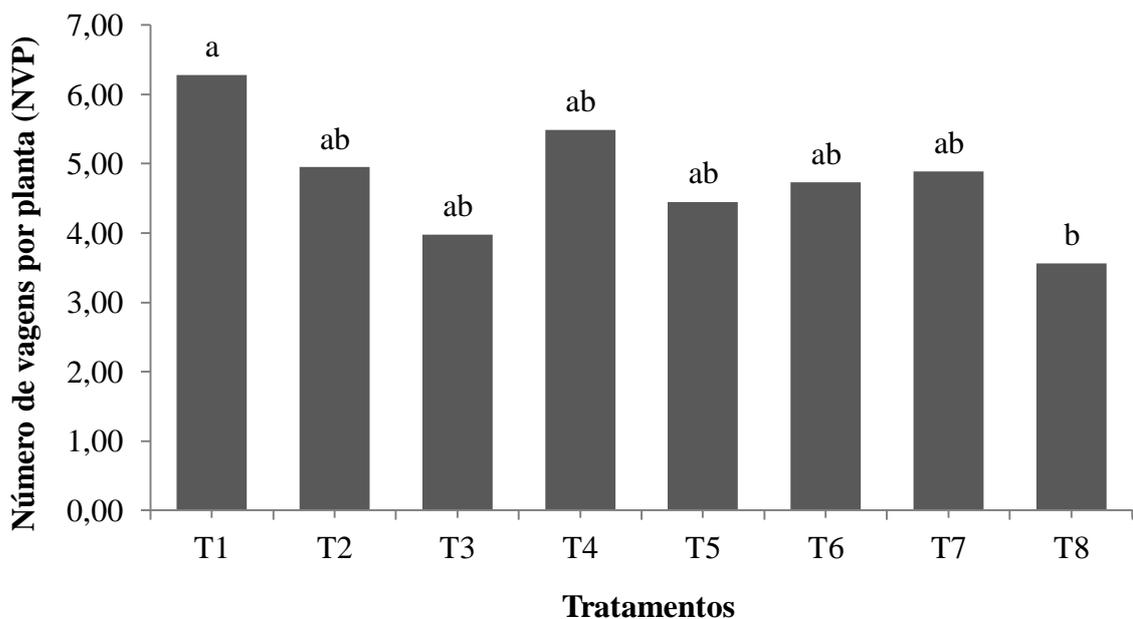
Um déficit hídrico de 50% no período vegetativo ocasiona uma redução no rendimento de 10%, enquanto que se o mesmo déficit ocorrer na fase de floração e durante o período de enchimento de vagens, têm-se reduções de 55 e 38% na produção, respectivamente (CALVACHE *et al.*, 1997). Para Portes (1996), no feijoeiro a principal fonte de fotoassimilados para a formação dos grãos é obtida durante o período pós-florescimento e durante o crescimento das vagens.

De acordo com Ramos (2011), a massa de cem grãos reflete a relação entre fonte dreno. Quando ocorre diminuição deste componente de produção, isto indica que a produção foi limitada na fonte. Este fato pode ocorrer devido ao grande número de vagens, como no caso dos tratamentos adequadamente irrigados, ou pelo efeito do estresse hídrico sobre a fotossíntese ou translocação de fotoassimilados. Neste caso, há uma redução do número de vagens e um aumento da massa de grãos, refletindo em uma compensação para limitações de tamanho do dreno.

Em relação à variável número de vagens por planta (NVP), observa-se na Tabela 14 que não houve interação tratamentos x cultivares (T x C), também não ocorreu significância quando comparado os efeitos entre as cultivares de feijão-caupi. Mas constata-se que o NVP foi influenciado significativamente pelos efeitos principais dos tratamentos (T), pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. Pelos resultados, verificou-se que NVP variou de 3,56 para 6,28 unidades em função dos diferentes tratamentos. François (2012) também constatou que o número de vagens por planta foi influenciado pelo manejo da irrigação.

Na Figura 9 estão contidas as médias dos número de vagens por planta (NVP) nos diferentes tratamentos estudados.

Figura 9 - Valores médios do número de vagens por planta (NVP) do feijão-caupi cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013



O maior valor para a variável em questão, com média de 6,28 unid. foi verificado no tratamento T1 (irrigação plena), sendo estatisticamente semelhante aos tratamentos T2, T3, T4, T5, T6 e T7, diferindo apenas do tratamento T8 (déficit em todos os estádios da cultura) (Figura 9). Resultados semelhantes foram obtidos em estudos conduzidos por Pereira *et al.* (2004), que observaram que o manejo da irrigação influenciou o número de vagens por planta, constatando que maior lâmina de água aplicada proporcionou o maior número de vagens por planta.

Com relação ao tratamento T8, constatou-se o menor dos valores, com média de 3,56 unid., representando uma redução de 43,31% em relação a T1. Em seguida os

tratamentos T3 (déficit no estágio de floração) e T5 (déficit no estágio vegetativo), também apresentaram reduções de 36,62 e 29,14%, respectivamente nos valores de NVP (Figura 9).

Estes resultados corroboram Mendes *et al.* (2007) e Costa *et al.* (1997), ao mencionarem que o estresse hídrico imposto tanto na fase vegetativa, como na reprodutiva, reduziu significativamente o número de vagens planta produzidas em ambos os cultivares. Outros autores encontraram reduções no número de vagens por planta com a imposição da deficiência hídrica no feijão-caupi, no período de pré-floração e de enchimento de grãos (LEITE; RODRIGUES; VIRGENS FILHO, 2000).

Os resultados encontrados estão condizentes com as informações de Nascimento, Pedrosa e Sobrinho (2004), relatam que o componente de produção número de vagens por planta foi fortemente afetado pelos níveis de estresse hídrico e com mais severidade que o ocorrido nos outros componentes, em todos os níveis de déficit hídrico impostos pelos tratamentos. Miranda e Belmar (1977) e Stone, Castro e Moreira (1988) também observaram redução no número de vagens por planta em feijoeiros submetidos à deficiência hídrica.

Conforme Lima (1996), avaliando o efeito de cinco níveis de água disponível no crescimento e produtividade de grãos do feijão-caupi, observou também que o número de vagens por planta diminuiu com o aumento do estresse hídrico. Para este autor, a redução deste componente parece ser o principal fator de decréscimos na produção de grãos de feijão-caupi. Para Leite, Rodrigues e Virgens Filho (2000), tal comportamento pode ser explicado como um dos mecanismos de resistência à seca utilizada por esta planta, no sentido de buscar melhores condições para superar a falta de água, produzindo menor quantidade de vagens. Segundo Navarro Júnior e Costa (2002), o número de vagens por planta é o componente de produção mais importante quando se busca aumento de rendimento de grãos.

Analisando o efeito dos tratamentos na cultivar Sempre Verde, em relação à variável comprimento médio das vagens (COV) na Tabela 14, observa-se que o tratamentos T1 (irrigação plena), alcançou a maior média, valor igual a 17,45 cm, que diferiu estatisticamente do tratamento T4 (déficit na floração e formação da produção) em 11,34%. Os demais tratamentos apresentaram semelhantes valores de comprimento médio das vagens.

Resultados semelhantes foram obtidos na cultivar Setentão, que também apresentou o maior valor de COV para o tratamento plenamente irrigado (T1), que diferiu estatisticamente do tratamento T8 (déficit em todos os estágios) em 13,50% (Tabela 14). Em geral os demais tratamentos apresentaram um comportamento semelhante ao efeito das diferentes estratégias de irrigação deficitária impostas à cultura.

Paiva *et al.* (1977) informam que a cultivar Setentão é caracterizada botanicamente, por apresentar um comprimento da vagem de 21 cm, porém este valor está acima dos encontrados no estudo para referida cultivar. Já Nascimento, Pedrosa e Sobrinho (2004) observaram decréscimos crescentes do comprimento médio das vagens com o aumento do déficit hídrico, com reduções de aproximadamente 8%, 16% e 24%, referentes aos níveis de 80%, 60% e 40% de água disponível, respectivamente.

Segundo Miorini, Saad e Menegali (2011), a supressão de água em qualquer fase do feijoeiro prejudica o comprimento das vagens. O menor comprimento de vagens foi observado no tratamento sem nenhuma irrigação, este comportamento está condizente com os resultados obtidos, pois o tratamento T8 teve os menores valores de COV, em ambas as cultivares de feijão-caupi.

Ao comparar as cultivares de feijão-caupi, verifica-se que os tratamentos T5 e T8 na cultivar Sempre Verde, foram estatisticamente superiores quando equiparados com os tratamentos da cultivar Setentão, que em termos percentuais foi respectivamente 12,72 e 9,28%, quanto aos demais tratamentos não se detectaram diferenças estatísticas. Tal fato demonstra que a cultivar Sempre Verde apresenta maior potencial em superar os estresses hídricos nessas fases.

Com relação à variável número de grãos por vagem (NGV), na cultivar Sempre Verde, não houve diferença significativa entre os tratamentos, obteve-se um valor médio entre todos os tratamentos de 16,06 grãos por vagem. Já para a cultivar Setentão, este componente de produção diferiu estatisticamente entre os tratamentos T6, T7 e T8, sendo o maior valor igual a 15,75 grãos (T6) e o menor valor igual a 12,06 grãos no (T8), uma diferença de 23,43%. Os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas (Tabela 14).

A cultivar Setentão registrou um valor médio entre os tratamentos de 14,34 grãos, este resultado está condizente com as informações de Paiva *et al.* (1977), relatam que para cultivar Setentão a média é de 14 grãos por vagem.

Ainda com relação a mesma cultivar, o tratamento T7 (déficit hídrico na fase vegetativa e floração), foi a segunda menor média, ficando acima apenas do T8 (déficit em todas as fases). Estes resultados corroboram com as informações de Miorini, Saad e Menegale (2011), que avaliando os efeitos da supressão de água ao longo dos estádios de desenvolvimento do feijoeiro, verificaram que a restrição hídrica nas fases vegetativa e de floração afetou significativamente o número de grãos por vagem.

Ao analisar as duas cultivares de feijão-caupi, constatou-se que a cultivar Sempre Verde demonstrou superioridade estatística em quase todos os tratamentos equiparada com a

cultivar Setentão, só não diferiram os tratamentos T2 (déficit na fase de formação da produção) e T6 (déficit na fase vegetativa e formação da produção) (Tabela 14). Esta superioridade da cultivar Sempre Verde demonstra melhor rendimento mesmo diante da incidência de déficit hídrico durante as estações de cultivo, sendo uma alternativa para driblar a escassez de água.

No que diz respeito a cultivar Sempre Verde com relação a variável produtividade média de grãos, o tratamento T4 (déficit na floração e formação da produção) o T1 (irrigação plena) e, não diferiram estatisticamente entre si, e foram respectivamente as maiores médias, com valores iguais a 589,27 kg ha⁻¹ e 573,11 kg ha⁻¹. Os demais tratamentos seguiram a seguinte sequência, T5 > T7 > T3 > T2 > T6 > T8 com relação a produtividade média de grãos (Tabela 14).

Verificou-se que os tratamentos T6 e T8 não diferiram estatisticamente quando comparados entre si, sendo estes tratamentos os que apresentaram expressivas reduções na produtividade média de grãos. O tratamento T6 (déficit no estágio vegetativo e de formação da produção) e o T8 (déficit em todas os estádios da cultura), tiveram respectivamente sua produtividade de grãos reduzida em 69,10 e 72,16%, em relação ao tratamento T4 (Tabela 14). Estes resultados corroboram com os obtidos por Bezerra *et al.* (2003), que também constataram uma maior redução da produção de grãos do feijão-caupi, para os tratamentos que sofreram déficit hídrico durante esses estádios.

Confirmando os presentes resultados, Guimarães (1988) relata que a incidência de déficit hídrico na fase vegetativa do desenvolvimento do feijoeiro tem efeito indireto no rendimento de grãos pela redução da área foliar das plantas. Esta redução da área foliar acarreta na diminuição das taxas fotossintéticas, afetando o acúmulo de carboidratos, no qual está intimamente relacionado com o rendimento de grãos.

Para a cultivar Setentão, à variável produtividade média de grãos, no tratamento T1 (irrigação plena), diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando a maior média, com 548,35 kg ha⁻¹, valor este, considerado bem abaixo da média apresentada por Paiva *et al.* (1977) para esta cultivar de feijão-caupi, que é de 1.200 kg ha⁻¹. Mas redução está em função de diversos fatores, sendo que a forte incidência de pragas pode ter sido o fator mais limitante à expressão de todo potencial produtivo da espécie. Os demais tratamentos seguiram a seguinte sequência, T5 > T4 > T2 > T7 > T6 > T8 > T3 com relação a produtividade média de grãos. Os tratamentos T6, T8 e T3, foram respectivamente as menores médias, com reduções de 63,63; 68,02 e 72, 63%, em relação a T1 (Tabela 14).

Observa-se na cultivar Setentão que o tratamento T3, que sofreu déficit no estágio de floração da cultura, teve sua produtividade de grãos bastante comprometida. O fato de o déficit hídrico, durante o estágio de floração, ter alcançado baixos valores de produtividade de grãos pode ser explicado pela razão da ocorrência de um maior abortamento das flores. Molina *et al.* (2001) observaram que a supressão hídrica, ocorrida durante as fases de florescimento, ocasiona redução para a maioria das características agrônômicas do feijão. Nestas condições, o uso da irrigação torna-se fundamental neste período.

Para Doorenbos e Kassam (1994), em análises experimentais com o feijoeiro, notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca uma redução de rendimento de grãos de apenas 10%. O mesmo déficit na floração reduz a produção em 55%, e durante a formação da produção, em 38%.

De acordo com Carvalho *et al.* (2000) que, estudando o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão-caupi, encontraram redução no rendimento de grãos variando de 34 a 81%, para reposição da água consumida pela planta de 80 e 20%, respectivamente, com déficit hídrico imposto à fase de floração. Sousa *et al.* (2009) verificaram que o estresse hídrico afeta os componentes de rendimento do feijoeiro, acarretando reduções de 68,61% na produtividade de grãos para o déficit hídrico aplicado em plena floração, resultado este que corrobora com o presente estudo.

Analisando os resultados entre as cultivares de feijão-caupi, observa-se pelo teste de Tukey, que a cultivar Sempre Verde em relação a produtividade média de grãos nos tratamentos T3 e T4, diferiram estatisticamente quando equiparados aos tratamentos da cultivar Setentão, constatou-se que as respectivas médias desses tratamentos foram superiores em 51,48 e 29,55%. Já os resultados obtidos na cultivar Setentão demonstram que os tratamentos T2 e T5, foram estatisticamente superiores quando comparados com os tratamentos da cultivar Sempre Verde. E que em termos percentuais, alcançaram respectivamente valores iguais a 35,09 e 9,47% (Tabela 14).

As cultivares Sempre Verde e Setentão registraram, respectivamente, um valor médio entre os tratamentos de 361,28 e 337,23 kg ha⁻¹. Constatando, mais uma vez, superioridade da cultivar Sempre Verde, sendo esta cultivar a mais viável para o uso das práticas de manejo da irrigação com déficit hídrico. Porém, as maiores médias de produtividade de grãos para ambas as cultivares de feijão-caupi, foram acima da média esperada para o estado do Ceará que é de 441 kg ha⁻¹ para a cultura do feijão (CONAB, 2014).

4.5 Eficiência do uso da água

O resumo das análises das variâncias para os dados de eficiência de uso da água em relação à produção de matéria seca e a produção de grãos pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 – Resumo das análises de variância das variáveis de eficiência do uso de água em relação à produção de matéria seca e a produção de grãos do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/2013⁽¹⁵⁾

FV	GL	Quadrados médios	
		EUA _{MST}	EUA _{PROD.}
Blocos	3	2,06*	0,07 ^{ns}
Tratamentos (T)	7	8,37**	3,91**
Resíduo (T)	21	0,54	0,02
Cultivares (C)	1	0,99 ^{ns}	0,32**
T x C	7	1,98**	0,62**
Resíduo (C)	24	0,43	0,02
CV - T (%)	-	9,79	7,41
CV - C (%)	-	8,78	7,20

⁽¹⁵⁾ FV - Fontes de variação; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficientes de variação; EUA_{MST} - Eficiência do uso de água em relação à produção de matéria seca; EUA_{PROD.} - Eficiência do uso de água em relação à produção de grãos; ** – Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * – Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} – Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Pelos resultados, constatou-se que a eficiência do uso de água em relação à produção de matéria seca e a produção de grãos no feijão-caupi foram influenciadas significativamente pelos tratamentos estudados, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Foi influenciada significativamente pelas cultivares apenas a eficiência do uso de água em relação à produção de grãos no feijão-caupi, pelo teste F ($p < 0,01$). Também foram influenciadas significativamente pela interação tratamentos x cultivares (T x C), pelo teste F ($p < 0,01$), o que indica dependência entre os fatores da interação, de tal forma que existem diferenças entre os tratamentos, quando aplicados em distintas cultivares de feijão-caupi (Tabela 15).

De acordo com Angus e Herwaarden (2001), o conhecimento da eficiência do uso da água torna-se uma ferramenta de fundamental importância para avaliar se a produção está sendo limitada pelo suprimento de água ou por outros fatores. Segundo os autores Hatfield, Sauer e Prueger (2001), o aumento da eficiência do uso da água está relacionado com o manejo do solo, afetando o processo de evapotranspiração pois altera a energia disponível, a

disponibilidade de água ao longo do perfil do solo e a taxa de troca de vapor entre o solo e a atmosfera.

O desdobramento em teste de médias das interações significativas para as variáveis eficiência do uso de água em relação à produção de matéria seca e a produção de grãos, pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores médios da lâmina aplicada em cada tratamento durante o ciclo da cultura, da eficiência do uso da água em relação à matéria seca (EUA_{MST}) e da eficiência do uso de água em relação à produção de grãos ($EUA_{PROD.}$) do feijão-caupi, cv. Sempre Verde e Setentão, cultivado com déficits de irrigação em seus estádios de desenvolvimento. Fortaleza – CE, 2012/ 2013⁽¹⁶⁾

Cultiv.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Lâmina aplicada (mm)							
	218,47	202,05	186,83	170,41	175,61	159,19	143,97	127,55
EUA_{MST} (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)								
SVE	8,82 abA	6,25 cB	6,07 cA	8,63 abA	7,3 bcA	6,39 cA	8,91 aA	6,68 cB
SET	8,1 aA	8,55 aA	5,87 cA	8,33 aA	7,82 aA	6,16 bcA	8,53 aA	7,67 abA
$EUA_{PROD.}$ (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)								
SVE	2,62 bA	1,24 dB	1,66 cA	3,46 aA	2,35 bB	1,40 cdA	2,56 bA	1,28 dA
SET	2,51 aA	1,91 bA	0,80 dB	2,44 aB	2,59 aA	1,25 cA	2,56aA	1,37 cA

⁽¹⁶⁾ Cultiv – Cultivares; SVE – Sempre Verde; STE – Setentão; Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; EUA_{MST} ($DMS_L =$; $DMS_C =$); $EUA_{PROD.}$ ($DMS_L = 0,33$; $DMS_C = 0,21$).

Estudando-se o efeito dos tratamentos na cultivar Sempre Verde, em relação à eficiência de uso da água na produção de matéria seca total, constatou-se que os tratamentos T1, irrigação plena, T4, déficit no estádio de floração e formação da produção, e T7, déficit no estádio vegetativo e de floração, não diferiram estatisticamente entre si, alcançando maiores valores de EUA_{MST} , demonstrando-se eficientes quanto ao uso da água. Já os tratamentos T2, T3, T5, T6 e T8 não diferiram entre si e apresentaram os menores valores quando equiparados aos demais tratamentos. Vale ressaltar que o tratamento T7, apresentou a maior média e a segunda menor lâmina aplicada durante todo o ciclo, com uma EUA_{MST} igual a 8,91 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e 143,97 mm de lâmina aplicada (Tabela 16). Estes resultados estão condizentes com as informações de Souza *et al.* (2000) quando mencionam que na maioria das vezes, o aumento da eficiência de uso da água é obtido como consequência do decréscimo da quantidade de água aplicada.

Para a cultivar Setentão, em relação à eficiência de uso da água na produção de matéria seca total, constatou-se que os tratamentos T1, T2, T4, T5, T7 e T8, não diferiram

estatisticamente entre si, alcançando maiores valores de EUA_{MST} . Demonstrando semelhança entre a cultivar Sempre Verde nos tratamentos T1, T4 e T7. Com déficit em apenas um estágio fenológico, na formação da produção, o tratamento T2, foi o mais eficiente para o uso de água, com uma EUA_{MST} igual a $8,55 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Já os menores valores foram do T6 e T8, que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 16).

O tratamento T1, sem déficit hídrico em nenhuma fase fenológica, destacou-se nas duas cultivares por ser eficiente no uso da água. Estes resultados corroboram com Oliveira (2012), ao avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijoeiro nas fases fenológica da cultura, constatou que a eficiência de uso da água na produção de matéria seca total foi maior nos tratamentos sem estresse hídrico.

Ao comparar as cultivares de feijão-caupi, verifica-se que os tratamentos T2 e T8, diferiram estatisticamente entre si, porém nos dois tratamentos a cultivar Setentão apresentou maiores valores de EUA_{MST} , quanto aos demais tratamentos, não se detectaram diferenças estatísticas. Os tratamentos T2 e T8 da cultivar Setentão, foram aproximadamente, 27% e 13% superiores quando equiparados com os tratamentos da cultivar Sempre Verde (Tabela 16).

Estudando-se o efeito dos tratamentos na cultivar Sempre Verde, em relação à eficiência de uso da água na produção de grãos, verificou-se pelo resultado do teste de Tukey, que o tratamento T4 (déficit no estágio de floração e formação da produção) diferiu estatisticamente dos demais tratamentos e que alcançou o valor máximo de $3,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, com uma lâmina de água aplicado de 170,41 mm (Tabela 16). Supõe-se que a cultura certamente seguiu a tendência de favorecer e maximizar a eficiência de uso de água na produção de grãos sob déficit hídrico no estágio de floração e formação da produção.

No entanto, este resultado foi inferior aos obtidos por Ramos *et al.* (2013), estudando o efeito de diferentes lâminas de irrigação no cultivo de feijão-caupi, constatou máximas eficiências de uso da água no valor de $4,20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e $4,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, obtidas com a aplicação das lâminas de irrigação 326 mm e 279 mm, respectivamente, para as cultivares BRS Guariba BRS Paraguaçu.

Ainda analisando a avaliação anterior, com relação aos tratamentos (T1, T7 e T5) observou-se que as correspondentes médias ($2,62$; $2,56$ e $2,35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) não diferiram estatisticamente entre si e foram estatisticamente inferiores à média obtida no tratamento T4. Desta forma, o estresse hídrico nestas respectivas fases proporcionou uma redução de 24,28; 26 e 32% na eficiência de uso da água na produção de grãos em relação à T4. Já os tratamentos (T6; T8 e T2) exibiram desempenhos estatisticamente similares ao longo do ciclo

cultural, com decréscimos médios da ordem de 59,54; 62,72 e 64,16%, respectivamente, ao serem comparadas com T4 (Tabela 16).

Semelhantemente, a cultivar Sempre Verde, foram observados o efeito dos tratamentos na cultivar Setentão, em relação à eficiência de uso da água na produção de grãos, constatou-se pelo resultado do teste de Tukey, que os tratamentos T5, T7, T1 e T4, não diferiram estatisticamente entre si, alcançando, respectivamente os maiores valores de EUA_{PROD} . Sendo o tratamento T5 (déficit no estágio vegetativo) o que alcançou o valor máximo de $2,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, obtido com uma lâmina de água aplicada de 175, 61 mm. Os menores valores de EUA_{PROD} registram-se, respectivamente nos tratamentos T3, T6 e T8 (Tabela 16), tal fato pode ser explicado, principalmente, por esses tratamentos apresentaram baixos valores de produtividade.

Verifica-se também na cultivar Setentão, pelo resultado do teste de Tukey, que o tratamento T3 (déficit no estágio de floração), foi estatisticamente inferior aos demais tratamentos (Tabela 16). Desta forma, o estresse hídrico nesta respectiva fase proporcionou uma expressiva redução de 65,64% na eficiência de uso da água na produção de grãos em relação à T5, apesar de ser o tratamento com a terceira maior lâmina total de água.

Em ambas as cultivares de feijão-caupi, analisando os dados do tratamento T7 (déficit no estágio vegetativo e floração), observou-se que, mesmo diante de um menor valor de produtividade que o tratamento com irrigação plena (T1), o mesmo apresentou maiores valores de eficiência do uso de água. Acredita-se que este comportamento assumido pelo T7 deve-se ao seu volume de água aplicado, de 143,97 mm de lâmina aplicada, sendo ele menor do que o tratamento com irrigação plena (T1), com 218,47 mm, porém superior ao tratamento com déficit em todo ciclo da cultura (T8), de 127,55 mm, não se caracterizando como um déficit hídrico tão severo.

Neste sentido, tais observações, estão condizentes com as informações de Chaves; Maroco e Pereira (2003), ao relatarem que muitas plantas tendem a apresentar aumentos na eficiência do uso de água quando o déficit hídrico é moderado. De acordo Taiz e Zeiger (2010), este fato ocorre com as plantas porque a taxa fotossintética da folha raramente é tão responsiva ao estresse hídrico moderado quanto à expansão foliar, pois a fotossíntese é muito menos sensível ao turgor do que a expansão foliar. Ou seja, mais CO_2 pode ser absorvido por unidade de água transpirada, isto acontece porque o fechamento estomático inibe a transpiração, resultando em menor consumo de água.

Analisando os resultados entre as cultivares de feijão-caupi, observa-se pelo teste de Tukey, que a cultivar Sempre Verde em relação a variável EUA_{PROD} , nos tratamentos T3 e

T4, diferiram estatisticamente quando equiparados aos tratamentos da cultivar Setentão, contatou-se que as respectivas médias desses tratamentos foram superiores em 51,81 e 29,48%. Já os resultados obtidos na cultivar Setentão demonstram que os tratamentos T2 e T5, foram estatisticamente superiores quando comparados com os tratamentos da cultivar Sempre Verde. E que em termos percentuais, alcançaram respectivamente valores de EUA_{PROD} igual a 35,08 e 9,27% (Tabela 16).

O conhecimento do comportamento da eficiência de uso da água para as cultivares de feijão-caupi torna-se importante para indicar possíveis estratégias de manejo, com o intuito de reduzir a lâmina de água aplicada nas fases fenológicas da cultura mais susceptíveis ao déficit hídrico, conseqüentemente diminuindo os gastos com a quantidade de água aplicada, mas sem comprometer a produção. Para Sousa *et al.* (2000) a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura, reduzem as perdas de água por drenagem e os períodos de estresse hídrico da cultura, o que aumenta a eficiência de uso da água.

5 CONCLUSÕES

A cultivar Setentão foi superior estatisticamente em relação a cultivar Sempre Verde em todas as variáveis de trocas gasosas.

A fotossíntese e a transpiração foram influenciadas significativamente pelo efeito da interação entre fatores tratamentos x cultivares x épocas de avaliação, com exceção da variável condutância estomática.

A época de floração foi a que apresentou os maiores valores de transpiração, o que evidência que neste estágio fenológico a cultura do feijão-caupi possui uma maior demanda hídrica.

A condutância estomática atingiu os maiores valores na época vegetativa (E1), depois os valores foram decrescendo com o decorrer das épocas de floração (E2) e formação da produção (E3).

Os déficits de irrigação e as cultivares de feijão-caupi interagiram e afetaram as variáveis de produção de matéria seca da parte aérea (MSF, MSH, MSV e MST).

A aplicação do déficit hídrico, durante o estágio de formação da produção (T2), não influenciou a produção de matéria seca total da parte aérea das cultivares de feijão-caupi.

A percentagem de matéria seca da folha, da haste, da vagem e índice de colheita foram influenciadas significativamente pelo efeito da interação entre os déficits hídricos nas fases fenológicas x cultivares de feijão-caupi.

Nas duas cultivares de feijão-caupi as hastes e vagens foram os órgãos que mais contribuíram para o acúmulo da matéria seca total, independente dos déficits hídricos impostos aos tratamentos.

A massa de 100 grãos, o comprimento das vagens, o número de grãos por vagem e a produtividade de grãos do feijão-caupi foram influenciadas pelo efeito da interação entre os déficits hídricos nas fases fenológicas x cultivares de feijão-caupi, porém não houve influência sobre o número de vagens por planta.

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

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi – RN**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. (Ed.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 305 p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense**. 2000. 566f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- ANGUS, J. F.; van HERWAARDEN, A. F. (2001). Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. **Agronomy Journal**, 93. p. 290-298, 2001.
- ARAÚJO, J. P. P. de; SANTOS, A. A. dos; CARDOSO, M. J.; WATT, E. E. Nota sobre a ocorrência de uma inflorescência ramificada em caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Subsp. *unguiculata* no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.12, n.1/2, p.187-193, 1981.
- ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA/Embrapa, 1988. p. 99-136.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 29) 1981.
- BARRACLOUGH, G. (Ed.). **Atlas da história do mundo da Folha de São Paulo/Times**. 4. ed. rev. São Paulo: Folha da Manhã, 1995. p. 154-157.
- BASCUR, G.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a sequia. II. Crecimiento y productividad. **Turrialba**, São José, v. 35, p. 49-53, 1985.
- BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia, PI. **Irriga**, v.13, p.182-190, 2008.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.1, 2003.
- BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.20, n.2, p.135-148, 1996.

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

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E. e BACCHI, O. O. S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Sci. agric.** [online]. 1997, vol.54, n.3, p. 232-240.

CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B. da; ROCHA, de M. R. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**. v.5, n.2, p.110-116, 2000.

CARDOSO, J. M.; MELO, F. B.; LIMA, M. G. Ecofisiologia e manejo de plantio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 5, p 213 – 225.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. de B.; Cultivos consorciados. In: CARDOSO, M. J. (Org.) **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Embrapa/Meio-Norte. Teresina, PI. 2000. 264 p. (Circular técnica, 28).

CARVALHO, J. A.; PEREIRA, G. M.; ANDRADE, M. J. B.; ROQUE, M. W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.3, p.710-717, 2000.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought from the genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v.30, p. 239-264, 2003.

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

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos** <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_02_11_15_22_20_boletim_graos_fevereiro_2014.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2013.

COSTA, R.C.L.; CARDOSO, B.B.; SILVA, J.T.; GOMES FILHO, J.G.F.; SILVEIRA, J.A.G. O estresse hídrico diminui intensamente a assimilação do nitrato e a nodulação em feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*, (L.) Walp.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4. 1996, Teresina. **Resumos**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 1996. p.78-79.

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N. de; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.2, n.1, p.43-50, 1997.

DADSON, R. B.; HASHEM, F. M.; JAVAID, I.; JOSHI, J.; ALLEN, A. L.; DEVINE, T. E. Effect of water stress on the yield of cowpea [*Vigna unguiculata* 106 (L.) Walp] genotypes in the Delmarva region of the United States. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.191, p. 210-217, 2005.

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

DUTRA, W. F.; OLIVEIRA, I. M.; DUTRA, A. F.; SANTOS, E. E. S.; MELO, A. S. Crescimento inicial de genótipos de feijão-caupi cultivados sob estresse hídrico. **III CONAC** – Congresso Nacional de Feijão-Caupi. Recife-PE, 2013.

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

FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza, CE: UFC, 1993. p. 248.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo: Ed. da UPF, 2004.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.5, p.661-669, 1992.

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113p. Dissertação de mestrado –Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2012.

FREIRE FILHO, F. R. Cowpea taxonomy and introduction to Brazil. In: WATT, E. E.; ARAÚJO, J. P. P. **Cowpea research in Brazil**. IITA, EMBRAPA, Brasília, p.3-10, 1988.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ALCÂNTARA, J. P.; BELARMINO FILHO, J.; ROCHA, M. M. BRS Marataoã: nova cultivar de feijão-caupi com grão tipo sempre-verde. **Revista Ceres**, v. 52, n. 303, p. 771-777, 2005.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. dos. Cultivares de caupi para a região Meio Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 2000. p.67-68 (Embrapa-CPAMN, Circular Técnica)

FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

FROTA, A. A. A.; PEREIRA, P. R. Caracterização do feijão-caupi na região meio-norte do Brasil. CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no meio-norte do Brasil**. EMBRAPA Meio-Norte, 2000. 264p. (Circular Técnica, 28)

FUMIS, T. DE F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.449-453, 2002.

GHOLZ, H. L.; EWEL, K. C.; TESKEY, R. O. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v.30, n.1, p.118, 1990.

GOMIDE, R. L.; MAGALHÃES, P. C.; WAQUIL, J. M.; FERREIRA, W. P. Avaliação do estresse hídrico em cultivares de milho e sorgo por meio de um gradiente contínuo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Anais**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária/Embrapa-CNPMS, 1998. CDROM.

GOMES, E. P.; TESTEZLAF, R. **Manejo de irrigação na tomati cultura-de-mesa**. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/manejoirrig.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2013.

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

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

GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 157-174.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.70-75, 2006.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. (2001). Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journal**, Wisconsin, 93, p. 271-280.

HOLANDA *et al.* Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, R. H.; DIAS, S. N.; LACERDA, F. C. dos (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza INCT Sal, 2010. p. 43 - 59.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.89, p.107-122, 2004.

JONES, H.G. **Plants and microclimate**. 2 ed. Cambridge: University Press, 1992. 428p.

KARAMANOS, A. J.; ELSTON, J.; WADSWORTH, R. M. Water stress and leaf growth of field beans (*Vicia faba*, L.) in the field: water potentials and laminar expansion. **Annals of Botany**, Oxford, v. 49, n. 6, p. 815-826, 1982.

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

LANGYINTUO, A. S.; LOWENBERGDEBOER, J.; FAYE, M.; LAMBERT, D.; IBRO, G.; MOUSSA, B.; KERGNA, A.; KUSHWAHA, S.; MUSA, S.; NTOUKAM, G. Cowpea supply and demand in west and central Africa. **Field Crops Research**, v.82 p.215231, 2003.

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

LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; MISCHAN, M. M.; VIRGENS FILHO, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cv, EMAPA821. II – Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, v.74, n.3, p.351370, 1999.

LEITE, M.de L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III. Produção. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.75, n.1, p.9-20, 2000.

LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas a déficits hídricos. **Revista Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharia**, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 43-51, 2004.

LIMA, A. A. F. **Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*phaseolus vulgaris* (L) e *vigna unguiculata* (L.) walp.] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semiárido sergipano**. 2008. 112f. Dissertação (mestrado em Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão. 2008.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SILVA, I. F. Estimativa da evapotranspiração do feijão-caupi utilizando o modelo de Penman-Monteith, **Irriga**, Botucatu, v.11, p.477-491, 2006.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v.102, p.15-27, 2004.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, WASHINGTON L. C.; OLIVEIRA, C. A. S.; SILVA, H. R. Resposta da cultura da batata a diferentes regimes de irrigação. **Revista Latino americana de la Papa**, v. 1, p. 25 -34, 1988.

MATZENAUER, R.; MALUF, J.R.J.; BUENO, A.C. Relações entre a evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.173-178, 1999.

MELO, C. A. C.; BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F. Partição de matéria seca em feijão-de-corda sob irrigação com água salina. In: **Inovagri International Meeting**, IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação - WINOTEC, Fortaleza, 2012.

MELO, R. F. de. **Interações rizóbio, fungo micorrizico e adubação com NPK em feijão de corda**. 2002. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

- MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N.; PITOMBEIRA, J. B. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência Agrônômica**, v.38, p.95-103, 2007.
- MILLAR, A.A.; GARDNER, W.R. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, n.5, p.559-562, Sept./Oct. 1972.
- MILLER, G., SUZUKI, N., CIFTCI-YILMAZ, S., MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, p. 453–467, 2010.
- MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. 2012. 111 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP. 2012.
- MIORINI, T. J. J.; SAAD, J.C.C; MENEGALE, M. L. Supressão de Água em Diferentes Fases Fenológicas do Feijoeiro, **Revista Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 360-368, outubro-dezembro, 2011.
- MIRANDA, N. O.; BELMAR, N. C. Déficit hídrico y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultura Técnica**, Santiago de Chile, v. 37, n. 3, p. 111-117, 1977.
- MOLINA, J. C.; MODA-CIRINO, V.; JÚNIOR, N. S. F.; FARIA, R. T.; DESTRO, D. Response of common bean cultivars and lines to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 363-372, 2001.
- MOURA, E. G. de.; TEIXEIRA, A. P. R.; RIBEIRO, V. S.; AGUIAR, A. das C. F.; FARIAS, M. F. de. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays*) submetido a vários intervalos de irrigação, na região da Pré-Amazônia. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.2, p.169-177, 2006.
- MOUSINHO, F. E. P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí**. 2005. 125p. Tese (Doutorado). Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo.
- NANGOI, I. I. **Probabilidade de redução relativa da produtividade do milho por ocorrência de déficit hídrico em função de datas de plantio na região de Piracicaba, SP**. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- NASCIMENTO, S. P. do. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 109 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Piauí. Teresina-PI, 2009.
- NASCIMENTO, S. P. do.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853-860, 2011.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; SOBRINHO, J. T. Efeição da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção do feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 174-177, abril-junho 2004.

NAVARRO JÚNIOR, H. M.; COSTA, A. C. Contribuição relativa dos componentes do crescimento para produção de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, 2002.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: Mecanismos fisiológicos e moleculares. **Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, p.12-18, 2001.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.86-95, 2005.

OLIVEIRA, A. E. de S. **Efeito do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijão - fava em ambiente protegido**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. A cultura do caupi nas condições de clima e solo dos trópicos úmidos e semi-áridos do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA; EMBRAPA, 1988. cap. 3, p.63-96.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, E. M.; SILVA, A. F. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fonológicos do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L., cv. Capixaba precoce). **Engenharia na agricultura**, Viçosa-MG, v.16, n.3, p. 343-350, jul./set., 2008.

ONOFRE, A. V. C. **Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão -caupi contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF e ISSR**. Dissertação de Mestra do, UFPE, Recife, 2008.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; TERESINHA J. D. RODRIGUES, T. J. D.; JOSÉ E. P. TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de Irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

PAIVA, J.B.; SANTOS, J.H.R. dos; OLIVEIRA, F. J.; TEÓFILO, E. M. 1977. Seminário de avaliação das pesquisas desenvolvidas no Estado do Ceará sob o patrocínio da SUDENE - **Programa de Pesquisa com a Cultura do Feijoeiro**. Fortaleza, CCA/UFC. Departamento de Fitotecnia. 1977.

PAIVA, J. B.; TEÓFILO, E. M.; SANTOS, J. H. R. dos; LIMA, J. A. A.; GONÇALVES, M. F. B.; SILVEIRA, L. de F. S. "Setentão" uma nova cultivar de feijão-de-corda para o estado do Ceará. **Acta Botânica Brasílica**. Feira de Santana/BA, v.4, n.2, p. 165-169, 1990.

PATANÉ, C. TRINGALI, S. SORTINO, O. Effects of déficit irrigation on biomasses, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. **Scientia Horticulturae**. p. 590–596. 2011.

PARAÍBA. Universidade Federal de campina Grande. **Assistat - Assistência Estatística**, V - 7.6 beta. Campina Grande, PB, 2011. Disponível em: <<http://www.assistat.com/indformp.html>>. Acesso em: 21 jan. 2013.

PEIXOTO, P. H. P.; MATTA, F. M. da; CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, n. 4, p. 821-832, 2002.

PEREIRA, J.C.R.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; ALVAREZ, A. C.C. Influência do manejo do solo, lâminas de água e doses de nitrogênio na produtividade do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 01, p. 13-19, 2004.

PHENE, C.J. Techniques for computerized irrigation management. **Computer and Electronics in Agriculture**, New York, v. 3, n. 3, p. 189-208, 1989

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 101-137.

PUPPALA, N.; FOWLER, J.L.; JONES, T.L.; GUTSCHICK, V.; MURRAY, L. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, v.21, p.33-47, 2005.

RAMOS, H. M. M. **Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos**. 2011. 109 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

RAMOS, H. M. M.; BASTOS, E. A.; JÚNIOR, A. S. de A.; CARDOSO, M. J.; NASCIMENTO, F. N. Eficiência do uso da água e produtividade de grãos do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **III CONAC – Congresso Nacional de Feijão-Caupi**. Recife-PE, 2013.

RAVEN, P.H., et al. **Biologia Vegetal**. Ed. Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 2001, 906p

RESENDE, M.; HENDERSON, D.W.; FERERES, E. Frequência de irrigação, desenvolvimento e produção do feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.16, n. 3, p. 363-370, 1981.

SALES, M. G.; RODRIGUES, M. A. C. Consumo, qualidade nutricional e métodos de preparo do Caupi... In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA; EMBRAPA, 1988. cap. 24, p.697-722

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

SANTOS, J. F. dos.; GRANGEIRO, I. T. J.; BRITO, C. de.; SANTOS, M do. C. C. A. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão-caupi na microrregião Cariri paraibano. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 214-222, jan/abr 2009.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

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

SILVA, A. R. A. da. **Irrigação plena e com déficit em diferentes estádios fenológicos da cultura do girassol no semiárido cearense**. 2012. 173 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2012.

SILVA, C. D. S., SANTOS, P. A. A., LIRA, J. M. S., SANTANA, M. C. de., SILVA JUNIOR, C. D. da. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010

SILVA, J. C. S. **Parâmetros de irrigação para o feijoeiro em diferentes solos e épocas de semeadura na região central do rio grande do sul**. 2008. 113p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Área de concentração Engenharia Agrícola, Santa Maria, 2008.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIREFILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMO, M. (Eds) **Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production**. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, p.22-40, 2002.

SMARTT, J. Evolution of genetic resources. In: SMARTT, J. (Ed.), **Grain Legumes**. Cambridge University Press, Cambridge, p.140–175, 1990.

SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. Distribuição do sistema radicular da videira em vertissolo sob irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.142-147, 1998.

SOUSA, M. A.; LIMA, M. D. B.; SILVA, M. V. V.; ANDRADE, J. W. S. Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.175-182, 2009.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; JUNIOR, A. S. de A.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.183-188, 2000.

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

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, v. 10, n. 03, p. 241-248, 2005.

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

STONE, L.F.; CASTRO, T.A.P.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos da tensão da água no solo sobre a produtividade e o crescimento do feijoeiro. II. Crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.23, p. 503-510, 1988.

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

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; OLIVEIRA, J. P. R.; ALESSANDRO GUERRA DA SILVA, A. G.; PELÁ, A. Desempenho agrônomico e qualidade de sementes de genótipo de feijão-caupi na região do cerrado. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 2, p. 300-307, 2010.

TEÓFILO, E. M.; MAMEDE, F. B.; SOMBRA, N. S. Hibridação natural em feijão-caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.1011-1012, 1999.

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

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; CALDAS, M. T. Comportamento do feijão fradinho na primavera verão na zona da mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1359-1365, 2000.

WANDER, A. E. Produção e participação brasileira no mercado internacional de feijão-caupi. **III CONAC – Congresso Nacional de Feijão-Caupi**. Recife-PE, 2013.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, p.187-206, 2003.