



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
DOUTORADO EM FITOTECNIA

RÔMULO MAGNO OLIVEIRA DE FREITAS

**ECOFISIOLOGIA DE FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO A DEFICIÊNCIA HÍDRICA
NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

MOSSORÓ

2015

RÔMULO MAGNO OLIVEIRA DE FREITAS

**ECOFISIOLOGIA DE FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO A DEFICIÊNCIA HÍDRICA
NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas culturais

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Luiz Dallabona Dombroski

MOSSORÓ

2015

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Catálogo na Fonte

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ

Freitas, Rômulo Magno Oliveira de.

Ecofisiologia de feijão-caupi submetido a deficiência hídrica nos sistemas de plantio direto e convencional / Rômulo Magno Oliveira de Freitas. - Mossoró, 2015.
61f: il.

1. *Vigna unguiculata*. 2. Ecofisiologia – feijão-caupi. 3. Sistema de plantio – deficiência hídrica. 4. Fotossíntese. 5. Condutância estomática-resistência à seca. I. Título

RN/UFRSA/BCOT/462

CDD 633.33 F862e

RÔMULO MAGNO OLIVEIRA DE FREITAS

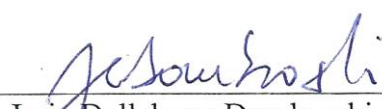
**ECOFISIOLOGIA DE FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO A DEFICIÊNCIA HÍDRICA
NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

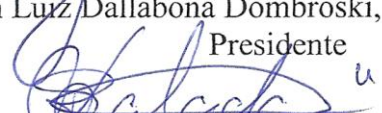
Linha de Pesquisa: Práticas culturais

Defendida em: 07/07/2015

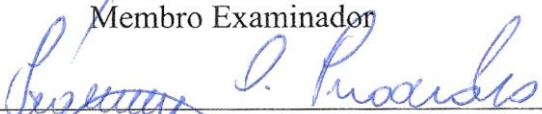
BANCA EXAMINADORA



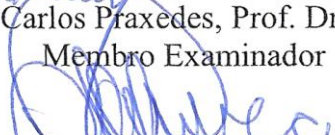
Jeferson Luiz Dallabona Dombroski, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Daniel Valadão Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Sidney Carlos Praxedes, Prof. Dr. (UFRN)
Membro Examinador



Vander Mendonça, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Welder de Araújo Rangel Lopes, Dr. (UFERSA - CAPES)
Membro Examinador

Aos meus amados pais, Ademir Freitas de Souza e
Maria de Freitas Oliveira de Souza, por sempre
acreditarem incondicionalmente em meu potencial.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter tornado tudo isso possível e concedido vitórias e conquistas que, em princípio, pareciam impossíveis.

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

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por meio do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

À minha esposa, Narjara Walessa Nogueira de Freitas, pela paciência, amizade, companheirismo e ajuda prestada durante todo o doutorado e durante a condução do experimento.

Aos meus pais, Ademir de Freitas de Souza e Maria de Freitas Oliveira de Souza, pela educação e exemplo de vida e a meus irmãos, Ruan Magno Oliveira de Freitas e Raissa Maria Oliveira de Freitas.

Ao professor e orientador, Dr. Jeferson Luiz Dallabona Dombroski, pela orientação, dedicação, amizade e, principalmente, pelo exemplo de profissionalismo transmitido durante esses nove anos.

Aos membros da banca, pela compreensão, por suas considerações e sugestões.

Ao professor Francisco Cláudio, pela orientação no experimento na fase de campo.

Aos amigos Augusto, Cássia, Caio, Igor, Moadir, Raul, Rivanildo e Tiago, sem a ajuda dos quais a realização desse trabalho se tornaria bem mais difícil.

A todos os alunos e funcionários da UFERSA que ajudaram para que este trabalho pudesse ser concretizado.

O futuro tem muitos nomes. Para os incapazes,
o inalcançável. Para os medrosos, o
desconhecido. Para os valentes, a
oportunidade.

VICTOR HUGO

RESUMO

A cultura do feijão-caupi possui grande importância para a região Nordeste, principalmente para a população mais carente. Um dos grandes problemas encontrados para essa cultura é o estresse hídrico, provocado pela irregularidade das chuvas, aliado a altas temperaturas, comuns a esta região. O sistema de plantio direto possui características como redução da evaporação da água do solo, maior retenção do solo e menores oscilações da temperatura, e pode ser uma forma de minimizar o efeito do estresse hídrico para a cultura do feijão-caupi. Dois experimentos foram conduzidos na horta didática do Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no município de Mossoró-RN, com o objetivo de avaliar o consumo, e eficiência de uso da água, bem como as respostas ecofisiológicas de feijão-caupi sob estresse hídrico nos sistemas de plantio direto e convencional. O primeiro experimento foi realizado no delineamento experimental em blocos casualizados completos, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de plantio (convencional e direto) e nas subparcelas, seis períodos de suspensão da irrigação (2; 6; 10; 14; 18 e 22 dias) aplicados no início do período reprodutivo. Foram avaliadas a biomassa das partes das plantas e a área foliar, aos 64 dias após a semeadura (DAS) e o rendimento de grãos, consumo de água e eficiência de uso da água, aos 70 DAS. No segundo experimento, utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados completos, no esquema de parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de plantio (direto e convencional), nas subparcelas, três condições hídricas (sem estresse, estresse moderado e estresse severo) e nas subsubparcelas, períodos de avaliação. Foram determinados: área foliar, matéria seca total, fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ e potencial hídrico foliar. No primeiro experimento, constatou-se que o sistema de plantio direto foi promissor para cultura do feijão-caupi, apresentando maior rendimento de grãos e maior eficiência de uso da água. Nesse sistema de plantio, foi possível o cultivo de feijão-caupi, sem perdas, mesmo com períodos de veranico moderados. Veranicos prolongados afetaram negativamente o acúmulo de biomassa, rendimento de grãos e eficiência de uso da água. No segundo experimento, o estresse hídrico afetou todas as variáveis avaliadas, com exceção do potencial hídrico foliar. O feijão-caupi apresentou recuperação de todas as características fisiológicas após estresse hídrico moderado e severo. O fechamento estomático foi o principal mecanismo de resistência à seca, sendo o feijão-caupi uma espécie conservadora. Os sistemas de plantio não afetaram as taxas de fotossíntese. O sistema de plantio direto promoveu maior acúmulo de biomassa e de área foliar.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Veranico. Fotossíntese. Condutância estomática.

ABSTRACT

The cowpea crop has great importance for the Brazilian Northeast, especially for the poorest population. One of the major problems encountered for this crop is drought stress caused by erratic rainfall, coupled with the high temperatures common in this region. The no-tillage system has features, such as reduction of soil water evaporation, higher water retention and lower soil temperature fluctuations, and can be a way to minimize the water stress in a cowpea crop. Two experiments were carried out at the experimental garden in the Departamento de Ciências Vegetais of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), in Mossoró city, RN, with the aim of evaluating the use and use efficiency of water, and the ecophysiological traits of cowpea plants under water shortage in tillage and no-till cropping systems. The first experiment was conducted in a randomized complete blocks design with subsampling and four replications. The treatments were the two cropping systems (tillage and no-till), and the subsamples were the six periods of irrigation suspension (2; 6; 10; 14; 18 e 22 days), applied at the beginning of the flowering stage. The plants parts dry mass and the leaf area 64 days after sowing (DAS), and the grain production, water use and water use efficiency at that 70 DAS were evaluated. For the second experiment, it was used a randomized complete blocks design with subsampling and sub-subsampling, with four replications. The treatments were the cropping systems (tillage and no-till), and the subsamples were three water availability conditions (no shortage, moderate shortage and severe shortage), and the sub-subsampling were the evaluation periods. Plants' dry mass, leaf areas, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, lowest leaf CO₂ internal concentration and leaf water potential were evaluated. In the first experiment, it was observed that the no-till system is promising for the cowpea crop, with better grain production and better water use efficiency. In this system, the cowpea cultivation was possible even under a moderate water shortage. Prolonged water shortage periods did affect the dry mass accumulation, grain yield and water use efficiency. In the second experiment, the water shortage affected all the studied variables, with the exception of the leaves water potential. The cowpea fully recovered all physiological traits after moderate and severe water shortage. Stomatal closure was the main mechanism of resistance to water shortage, and the cowpea may be considered as a water-saving species. The cropping system did not affect the photosynthesis rates. The plants had more dry weight and leaf areas at the no-till system.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Dry spell. Photosynthesis. Stomatal conductance.

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

- Gráfico 1 – Temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do experimento. Mossoró/RN, 201529
- Gráfico 2 – Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto (SD) e convencional (SC). Mossoró/RN, 2015.....33
- Gráfico 3 – Matéria seca do caule (MSC), das hastes florais (MSHF), das folhas (MSF) e das vagens (MSV) de feijão-caupi sob efeito de veranico e dos sistemas de plantio direto (SD) e convencional (SC). Mossoró/RN, 2015.....34
- Gráfico 4 – Matéria seca das vagens (MST), rendimento de grãos (RG), consumo de água (CA) e eficiência de uso da água (EUA) de feijão-caupi sob efeito de veranico e dos sistemas de plantio direto (SD) e convencional (SC). Mossoró/RN, 201536

CAPÍTULO 3

- Gráfico 1 – Temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do experimento. Mossoró/RN, 2015 47
- Gráfico 2 – Área foliar (AF) e matéria seca total (MST) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio convencional (A; C) e direto (B; D). Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 201551
- Gráfico 3 – Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio convencional (A; C; E) e direto (B; D; F). Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 2015.53
- Gráfico 4 – Concentração interna de CO_2 (C_i) e relação entre fotossíntese (A) e condutância estomática (g_s) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação. Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 201555

Gráfico 5 – Potencial hídrico foliar (Ψ_w) ao pré-amanhecer (A; B) e ao meio-dia (C; D) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio convencional (A; C) e direto (B; D). Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 2015 ..56

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 – Resumo da análise de variância para as variáveis matéria seca de caule (MSC), hastes (MSH), folhas (MSF), vagens (MSV) e total (MST), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), rendimento de grãos (RG), consumo de água (CA) e eficiência de uso da água (EUA) de feijão-caupi submetido a diferentes períodos de veranico (2, 6, 10, 14, 18, 22 dias após o florescimento) nos sistemas de plantio direto e convencional. Mossoró/RN, 201532
- Tabela 2 – Valores médios de matéria seca das vagens (MSV) e total (MST) de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio sistemas direto (SPD) e convencional (SPC). Mossoró/RN, 201535

CAPÍTULO 3

- Tabela 1 – Resumo da análise de variância para as variáveis área foliar (AF), matéria seca total (MST), fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (Ci), potencial hídrico folia pré-amanhecer (Ψ_{w3}) e ao meio-dia (Ψ_{w12}), de feijão-caupi. Mossoró/RN, 201550

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO	13
1	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Feijão-caupi.....	14
2.2	Ecofisiologia e estresse hídrico.....	15
2.3	Sistemas de plantio.....	16
	REFERÊNCIAS	19
	 CAPÍTULO 2 - EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO A DEFICIÊNCIA HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL.....	 25
	RESUMO	25
	ABSTRACT	26
1	INTRODUÇÃO	27
2	MATERIAL E MÉTODOS	29
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	40
	 CAPÍTULO 3 - ECOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB EFEITO DE ESTRESSE HÍDRICO E REIDRATAÇÃO NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL.....	 43
	RESUMO	43
	ABSTRACT	44
1	INTRODUÇÃO	45
2	MATERIAL E MÉTODOS	47
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	58

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO

1 INTRODUÇÃO GERAL

A região semiárida do Nordeste é afetada por secas periódicas, conhecidas por veranico, que causam graves consequências sobre grande proporção da população rural, dependente da produção de culturas de sequeiro para subsistência. A alta variabilidade climática, em diferentes tempos e escalas de espaço, exerce efeitos sobre a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico da região (SILVA et al., 2010).

A deficiência hídrica causada pelos veranicos é comum a muitas culturas, em especial a do feijão-caupi, e constitui um dos fatores que mais afetam a produção agrícola, influenciando praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal (DAMATTA, 2007). A redução da capacidade produtiva das plantas, inicialmente ocorre devido ao fechamento estomático, com consequente redução da absorção de CO₂ (FARIA et al., 1996; CHAVES et al., 2002; TANG et al., 2002), mas conforme o aumento da intensidade do estresse ocorrem várias alterações metabólicas (BAKER; ROSENQVIST, 2004; SANTOS JUNIOR; GONÇALVES; FELDPAUSCH, 2006; RIBEIRO et al., 2008; TAIZ; ZEIGER, 2009), culminando com a queda das folhas nas espécies (SANTANA; SOUTO, 2011) como forma de redução da área de transpiração (MENDES et al., 2007).

Nesse contexto, o sistema de plantio direto aparece como tecnologia que visa à preservação da água no solo (SILVA, 2013). Esse sistema de plantio reduz os efeitos drásticos das condições climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura (SIMIDU et al., 2010), como o estresse hídrico e térmico. A cobertura morta utilizada atua como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo e contribuindo para a menor evaporação da água armazenada, com melhor aproveitamento da água no solo pelas plantas (BIZARI et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2003).

Dessa forma, o sistema de plantio direto tem potencial para o aprimoramento do cultivo do feijão-caupi em regiões semiáridas. Para isso, é necessário que sejam realizados estudos com o intuito de avaliar as respostas dessa cultura ao déficit hídrico associado a diferentes manejos do solo. Logo, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o

consumo, a eficiência de uso da água, e as respostas ecofisiológicas de feijão-caupi sob estresse hídrico nos sistemas de plantio direto e convencional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Feijão-caupi

O cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é uma atividade de grande importância para o Nordeste do Brasil, desempenhando função de destaque socioeconômico, sobretudo para a população rural, pois, além de fixar mão-de-obra no campo (CARDOSO; RIBEIRO, 2006), gera emprego e renda na região (FREIRE FILHO et al., 2005). É o alimento básico das populações mais pobres, exercendo função social no suprimento das necessidades nutricionais, como a principal fonte de proteína vegetal (DUTRA et al., 2007).

No Brasil, historicamente, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste (1,2 milhão de hectares) e Norte (55,8 mil hectares) do país (SILVA, 2009). No entanto, essa cultura está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. Nessa Região, em especial no estado do Mato Grosso, o feijão-caupi passou a ser cultivado em larga escala desde 2006. A produção provém principalmente de médios e grandes empresários que praticam uma lavoura altamente tecnificada, com produtividade média de 960 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO, 2011). A produtividade média do feijão-caupi, no Brasil, é baixa (366 kg ha⁻¹), em função do baixo nível tecnológico empregado no cultivo (SILVA, 2009). Isso ocorre porque o feijão-caupi tem sido cultivado principalmente por pequenos agricultores, que utilizam pouca tecnologia ou o cultivam consorciado com outras culturas (VICTORIA FILHO, 2007).

No Nordeste brasileiro, a produção do feijão-caupi tem apresentado, ao longo dos últimos anos, variações importantes de acréscimo e decréscimo, com tendência oscilante. Essas variações na produção são típicas de regiões cujos processos produtivos são dependentes do clima, em que um ano de distribuição pluviométrica regular quase sempre é seguido por uma distribuição irregular, com reflexos na produção (FROTA; PEREIRA, 2000). Esse efeito é mais observado no cultivo do feijão-caupi na 1ª safra (plantio das águas), que geralmente é responsável por mais de 70% da produção média anual e os 30% restantes, para o cultivo de 2ª safra.

2.2 Ecofisiologia e estresse hídrico

A deficiência hídrica é uma situação comum a muitas culturas e constitui um dos fatores que mais afetam a produção agrícola, influenciando praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal (DAMATTA, 2007). Os danos provocados pelo estresse hídrico variam conforme a duração, intensidade, frequência, época de sua ocorrência e o genótipo. A frequência e a intensidade da deficiência hídrica constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O estresse hídrico é o problema mais importante na agricultura (SHAO et al., 2008), e a compreensão das respostas das plantas à seca é de grande importância para o desenvolvimento de estratégias que permitam a melhoria da produtividade das culturas agrícolas sob estresse hídrico (FUSSELL; BINDER; BIELER, 1991; CATTIVELLI et al., 2008; JALEEL et al., 2009), bem como a melhoria de programas de irrigação em áreas semiáridas (FLEXAS et al., 2004).

Diversos estudos foram realizados a fim de avaliar o efeito do déficit hídrico no rendimento e/ou componentes produtivos do feijão-caupi, como os realizados por Costa et al. (1997), Cordeiro et al. (1998), Nascimento, Pedrosa e Tavares Sobrinho (2004), Leite e Virgens Filho (2004) e Mendes et al. (2007).

Ao avaliar o efeito do estresse hídrico na fase vegetativa e reprodutiva, sobre o crescimento do feijão-caupi, Leite e Virgens Filho (2004) constataram que houve efeitos negativos sobre o crescimento da cultura, que se acentuaram com os 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 fim do período estressado. A recuperação da planta foi caracterizada por intensa emissão de novas folhas e botões florais, salientando sua aptidão para atravessar condições adversas.

A deficiência hídrica afeta a capacidade produtiva das plantas, inicialmente devido ao fechamento estomático, com consequente redução da absorção de CO₂ (FARIA et al., 1996; TANG et al., 2002; CHAVES et al., 2002), mas conforme o aumento da intensidade do estresse, ocorrem várias alterações metabólicas (BAKER; ROSENQVIST, 2004; SANTOS JUNIOR; GONÇALVES; FELDPAUSCH, 2006; RIBEIRO et al., 2008; TAIZ; ZEIGER,

2009), culminando com a queda das folhas nas espécies (SANTANA; SOUTO, 2011). Outros aspectos relacionados ao estresse hídrico incluem a diminuição da absorção de nutrientes minerais (GONZALEZ-DUGO; DURAND; GASTAL, 2010; FIRMANO; KUWAHARA; SOUZA, 2009) e a redução do crescimento celular (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009) e da planta (SHAO et al., 2008; BENGOUGH et al., 2011).

Em trabalho realizado por Silva et al. (2010), avaliando trocas gasosas do feijão-caupi variedade BRS Xiquexique, cultivado sob diferentes níveis de deficiência hídrica, observou-se, que quando essas plantas tiveram reposição de 50% da água perdida por evapotranspiração, não houve danos ao aparelho fotossintético. As plantas que recebem reposição de 25% da água perdida por evapotranspiração foram observadas reduções nos níveis de assimilação fotossintética, condutância estomática e transpiração.

2.3 Sistemas de plantio

Para o manejo adequado da cultura do feijão-caupi, visando à produtividade, é importante conhecer a capacidade de resposta aos níveis de déficit hídrico (NASCIMENTO; PEDROSA; TAVARES SOBRINHO, 2004), bem como formas de manejo que possam minimizar os danos provocados por esse problema, sendo uma dessas formas a utilização da cobertura morta do solo, conhecida como plantio direto.

O plantio direto melhora a qualidade química do solo em razão do aumento de matéria orgânica e da maior disponibilidade de nutrientes às plantas (CAVALIERI et al., 2004). Esse manejo do solo tem ação direcionada para o sistema de preparo mínimo do solo ou de semeadura direta, em várias áreas agrícolas do mundo, dando ênfase à prevenção contra a erosão e a degradação, bem como à capacidade de armazenamento de água no solo (BONFIL et al., 1999; GALANTINI et al., 2000; MARTENS; HOEPPNER; ENTZ, 2001), proporcionando menor variabilidade térmica (NASCIMENTO et al., 2003).

O plantio direto é considerado um sistema de manejo sustentável e consiste na semeadura diretamente sobre a palhada da cultura anterior ou de plantas cultivadas para este fim. Caracteriza-se pela semeadura sem revolvimento do solo, pelo uso de rotação de culturas e pela cobertura permanente do solo, seja com plantas em desenvolvimento ou seus restos culturais (OLIVEIRA et al., 2001).

O sistema de plantio convencional é o método mais adotado de produção agrícola, caracterizando-se pelo uso intenso de insumos comerciais, como defensivos agrícolas e

adubos químicos. Nele pouco se considera a preservação dos recursos naturais (DANTAS; FILHO, 2006). O preparo do solo com grade aradora é muito usado e normalmente a grade trabalha o solo a pouca profundidade e apresenta alto rendimento de campo. Porém, o uso contínuo desse implemento pode levar à formação de camadas compactadas, chamadas “pé-de-grade” (SILVEIRA; STONE, 2003).

Em experimento realizado, com o feijoeiro, sob plantio direto em relação a diferentes porcentagens de cobertura morta no solo, Andrade et al. (2002) concluíram que a evapotranspiração observada ao fim do ciclo foi menor à medida que aumentou a cobertura do solo pela palhada, verificando que a maior disponibilidade de água no plantio direto deveu-se principalmente à diminuição das perdas por evaporação e à diminuição da taxa de infiltração.

Uma forma de avaliar o efeito do plantio direto e como ele minimiza os efeitos do estresse hídrico na cultura do feijão-caupi, é através da análise de crescimento, que descreve as mudanças na produção vegetal em função do tempo, o que não é possível com o simples registro do rendimento. Os índices determinados na análise de crescimento indicam a capacidade do sistema assimilatório das plantas em sintetizar (fonte) e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (drenos) que dependem da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação de carbono aos locais de utilização ou de armazenamento, onde ocorrem o crescimento e a diferenciação dos órgãos (LARCHER, 2004).

O consumo de água do feijão-caupi aumenta da germinação até o 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 bem distribuídos nos diferentes estádios de desenvolvimento e é dependente da cultivar, do solo e das condições climáticas locais (NASCIMENTO, 2009).

Quando cultivadas no sistema de plantio direto, a redução do consumo de água foi verificada em várias culturas, com reduções de 29% para o feijoeiro (PEREIRA; MOREIRA; KLAR, 2002); 10% para cultura do tomateiro (MAROUELLI; SILVA; MADEIRA, 2006); 13% na cultura do repolho (MAROUELLI et al., 2010) e 13% na cultura do melão (TEÓFILO et al., 2012).

A utilização de indicadores da eficiência do uso de água (EUA) é uma das formas de se analisar a resposta dos cultivos às diferentes condições de disponibilidade de água, pois relaciona a produção de biomassa seca ou a produção comercial com a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura (LIU; STUZEL, 2004; PUPPALA et al., 2005).

Estudos têm verificado maior eficiência de uso da água em sistemas de plantio direto em relação com o sistema convencional em diferentes culturas, como a do melão (TEÓFILO et al., 2012), pimentão (COELHO et al. 2013) e feijoeiro (BIZARI et al., 2009).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. S. et al. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 35-38, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v6n1/v6n1a07.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004. Disponível em: <<http://jxb.oxfordjournals.org/content/55/403/1607>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- BENGOUGH, A. G. et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011. Disponível em: <<http://jxb.oxfordjournals.org/content/62/1/59.full.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n7/a18v39n7.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- BONFIL, D. J. et al. Wheat grain yield and soil profile water distribution in a no-till and environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 91, n. 3, p. 368-373, 1999. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/91/3/AJ0910030368?access=0&view=pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamento entre linhas e densidade de plantas sob regime de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 102-105, 2006. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/223/218>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- CATTIVELLI, L. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1-2, p. 1-14, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429007001414>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- CAVALIERI, K. M. V. et al. Alterações nas propriedades químicas de um latossolo vermelho eutroférico por dois sistemas de manejo do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 377-385, 2004. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/1710/1252>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/content/103/4/551>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

CHAVES, M. M. et al. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/content/89/7/907.full.pdf+html>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

COELHO, M. E. H. et al. Interferência de plantas daninhas no crescimento do pimentão nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 4, p. 19-30, 2013. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/2371/237129900003.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

CORDEIRO, L. G. et al. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultivar de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 153-157, 1998. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v2n2/153.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

COSTA, M. M. M. N. et al. Produção, componentes e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 43-50, 1997. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/12177/1/pabJAN5.pdf>> Acesso em: 5 de jul. 2015.

DAMATTA, F. M. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 4, p. 239-244, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjpp/v19n4/a01v19n4.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

DANTAS, C. L. F.; FILHO, R. A. M. Estratégia competitiva para empresas produtoras de hortaliças no sistema orgânico. **Revista de Gestão**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 66-67, 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rege/article/view/36559/39280>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

DUTRA, A. S. et al. Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi em quatro regiões do Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 111-116, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbs/v29n2/v29n2a15.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

FARIA, T. et al. Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. **Tree Physiology**, Victoria, v. 16, n. 1-2, p. 115-123, 1996. Disponível em: <<http://treephys.oxfordjournals.org/content/16/1-2/115.full.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

FIRMANO, R. S.; KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n7/a275cr1186.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

FLEXAS, J. et al. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 144, n. 3, p. 273-283, 2004. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00343.x/abstract>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

FREIRE FILHO, F. R. et al. BRS Marataoã: nova cultivar de feijão-caupi com grão tipo sempre-verde. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 303, p. 771-777, 2005. Disponível em: <<http://www.ceres.ufv.br/ceres/revistas/V52N303P06405.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2011, 84p.

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

FUSSELL, L. K.; BINDER, F. R.; BIELER, P. Crop physiology and breeding for drought tolerance: research and development. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 183-199, 1991. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037842909190061Y>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

GALANTINI, J. A. et al. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. Nutrient balance, yield and grain quality. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 137-144, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198799000975>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

GONZALEZ-DUGO, V.; DURAND, J.; GASTAL, F. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. **Agronomy Sustainable Development**, Baghdad, v. 30, n. 3, p. 529-544, 2010. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1051/agro/2009059>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

JALEEL, C. A. et al. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **International Journal of Agriculture & Biology**, Faisalabad, v. 11, n. 1, p. 100-115, 2009. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PK2009000855>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004.

LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 43-51, 2004. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/view/820>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

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**, Amsterdam v. 102, n. 1, p. 15-27, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423804000202>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MARQUELLI, W. A. et al. Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 369-375, 2010. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2010000400004>.
Acesso em: 5 de jul. 2015.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1399-1404, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n9/a08v41n9.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MARTENS, J. R. T.; HOEPPNER, J. W.; ENTZ, M. H. Legume cover crops with winter cereals in southern Manitoba. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 5, p. 1086-1096, 2001. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/93/5/1086?search-result=1>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MENDES, R. M. S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/158/152>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, v. 7, n. 3, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n3/v7n3a08.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão-caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 174-177, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v22n2/21010.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 112p. Dissertação de Mestrado. Teresina, PI. Universidade Federal do Piauí, 2009.

NÓBREGA, J. Q. et al. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v5n3/v5n3a12.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

OLIVEIRA, A. P. et al. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 81-84, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v19n1/v19n1a17.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 42-52, 2002. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/236/141>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

PUPPALA, N. et al. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 33-47, 2005. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666900300150X>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

RIBEIRO, R. V. et al. Photochemical heat-shock response in common bean leaves as affected by previous water deficit. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 55, n. 3, p. 350-358, 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1021443708030102>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. **IDESIA**, Arica, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v29n2/art11.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SANTOS JUNIOR, U. M.; GONÇALVES, J. F. C.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 226, n. 1-3, p. 299-309, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112706000909>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

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. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/287.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SHAO, H. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Amsterdam, v. 331, n. 1-3, p. 215-225, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069108000048>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SILVA, C. D. S. et al. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica, **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/1479/4609>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SILVA, F. A. **Produção de milho para ensilagem e espigas verdes em função de períodos de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2013. 86 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013. Disponível em: [http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/82/Tese%20\(2013\)%20FRANCINEUDO%20ALVES%20DA%20SILVA.pdf](http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/82/Tese%20(2013)%20FRANCINEUDO%20ALVES%20DA%20SILVA.pdf)>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SILVA, K. J. D. Centro de Inteligência do Feijão. Disponível em: <www.cpamn.embrapa.br>. Acesso em 5 de jul. 2015.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n2/v7n2a09.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SIMIDU, H. M. et al. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região de cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 309-315, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v32n2/a18v32n2.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 819p.

TANG, A. C. et al. Photosynthetic oxygen evolution at low water potential in leaf discs lacking an epidermis. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 86-870, 2002. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/content/89/7/861>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

TEÓFILO, T. M. S. et al. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v30n3/10.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

VICTORIA FILHO, R. V. Manejo da cultura do feijoeiro visando ao controle de plantas daninhas. In: **Anais VI Seminário sobre pragas, doenças e plantas daninhas do feijoeiro**, Campinas (SP), p. 59-67, 2007. (Documentos IAC).

CAPÍTULO 2

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO A DEFICIÊNCIA HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de períodos de veranico sobre o consumo e eficiência de uso da água na cultura do feijão-caupi nos sistemas de plantio direto e convencional. O experimento foi realizado no semiárido do Rio Grande do Norte, utilizando-se o delineamento experimental em blocos casualizados completos, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de plantio (convencional e direto) e nas subparcelas, seis períodos de suspensão da irrigação (2; 6; 10; 14; 18 e 22 dias) aplicados no início do período reprodutivo. Foram avaliados a biomassa das partes das plantas e a área foliar, aos 64 dias após a semeadura (DAS), além do rendimento de grãos, consumo de água e eficiência de uso da água, aos 70 DAS. O sistema de plantio direto é promissor para cultura do feijão-caupi, apresentando maior rendimento de grãos e maior eficiência de uso da água. No sistema de plantio direto, é possível o cultivo de feijão-caupi, sem perdas, mesmo com períodos de veranico moderados. Veranicos prolongados afetam negativamente o acúmulo de biomassa, rendimento de grãos e eficiência de uso da água.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Estresse hídrico. Cobertura morta.

WATER USE EFFICIENCY ON TILLAGE AND NO-TILL COWPEA CROPPING SYSTEMS UNDER WATER SHORTAGE

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effect of drought periods on the water use efficiency in cowpea production on tillage and no-till cropping systems. The experiment was conducted in the Rio Grande do Norte semiarid region under a complete random blocks design with subsampling and four replicates. The treatments were the two crop systems (tillage and no-till), and the subsamples were the six periods of irrigation suspension (2; 6; 10; 14; 18 and 22 days), applied at the beginning of the reproductive phase. 65 days after sowing (DAS), the biomass of plants parts and the leaves areas were evaluated, and at 70 DAS, we evaluated the grain production, water use and water use efficiency. No-tillage is a promising system for the cowpea crop, with no production losses even in moderate drought periods. Prolonged drought periods affect negatively the biomass accumulation, grain yield and water use efficiency.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Water stress. Mulch.

1 INTRODUÇÃO

Em condições tropicais, a produtividade agrícola pode ser negativamente afetada por uma série de estresses bióticos e abióticos que alteram o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Nesse contexto, destacam-se estresses decorrentes da baixa disponibilidade hídrica e das altas temperaturas (SILVA et al., 2012). A ocorrência de déficit hídrico resulta em reduções expressivas da produção de biomassa e em baixas produtividades justamente por inviabilizar o processo fotossintético, uma vez que o status hídrico da planta é o responsável pela abertura dos estômatos, essencial para a entrada do gás carbônico no mesófilo (MOURA et al., 2006; BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2000).

Em condições de campo, quando dependente das chuvas, a deficiência hídrica pode ocorrer devido a períodos de estiagem em épocas chuvosas, conhecidos como veranicos. O efeito do estresse causado pela baixa disponibilidade hídrica às plantas dependerá da duração, severidade e da fase fenológica de ocorrência (MOURA et al., 2006). A fase reprodutiva é a mais crítica, sendo verificadas reduções severas na produção de sementes por planta para cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (MENDES et al., 2007).

Na região Nordeste do Brasil, a produção de feijão-caupi tradicionalmente concentra-se nas áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais, em razão da irregularidade das chuvas e das altas temperaturas, não se desenvolvem satisfatoriamente (FREIRE FILHO, 2011). Associado a isso, as condições de cultivo sem adoção de tecnologias avançadas fazem com que a produtividade nessa região seja em torno de 300 a 400 kg ha⁻¹ (SOARES et al., 2006). Na região Centro-Oeste, em especial no estado do Mato Grosso, onde o feijão-caupi passou a ser cultivado em larga escala desde 2006, a produção provém principalmente de médios e grandes empresários que praticam uma lavoura altamente tecnificada, com produtividade média de 960 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO, 2011).

O manejo do solo exerce influência direta sobre a produtividade das culturas agrícolas, sendo determinante para a obtenção de produções economicamente viáveis (SOUZA et al., 2014), especialmente em áreas de difícil cultivo. A utilização da cobertura morta é um dos princípios nos quais se baseia o sistema de plantio direto na palha (TEÓFILO et al., 2012). Esse sistema de plantio reduz o efeito drástico das condições climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura (SIMIDU et al., 2010), atuando como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo e contribuindo para a menor evaporação da água armazenada, com melhor aproveitamento da água no solo pelas plantas (BIZARI et al., 2009).

A utilização de indicadores da eficiência do uso de água (EUA) é uma das formas de se analisar a resposta dos cultivos às diferentes condições de disponibilidade de água, pois relaciona a produção de biomassa seca ou a produção comercial com a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura (LIU; STUZEL, 2004; PUPPALA et al., 2005). Estudos têm verificado maior eficiência de uso da água em sistemas de plantio direto em comparação com o sistema convencional em diferentes culturas, como a do melão (TEÓFILO et al., 2012), pimentão (COELHO et al. 2013a) e feijoeiro (BIZARI et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar os períodos de veranico sobre o consumo e eficiência de uso da água na cultura do feijão-caupi nos sistemas de plantio direto e convencional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na horta do Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, em solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico. O município de Mossoró está localizado no Nordeste brasileiro e possui coordenadas geográficas 5° 11' de latitude sul, 37° 20' de longitude W. Gr., com 18 m de altitude.

Durante o ciclo da cultura, foram observadas: temperatura máxima média de 33,5, média de 27,9 e mínima média de 23,6 °C (Gráfico 1A). Para umidade relativa do ar, máxima média de 79,1, média 60,9 e mínima média de 35,5% (Gráfico 1B). No decorrer da pesquisa, verificou-se apenas uma chuva, de 5 mm, aos 31 dias após a semeadura (DAS).

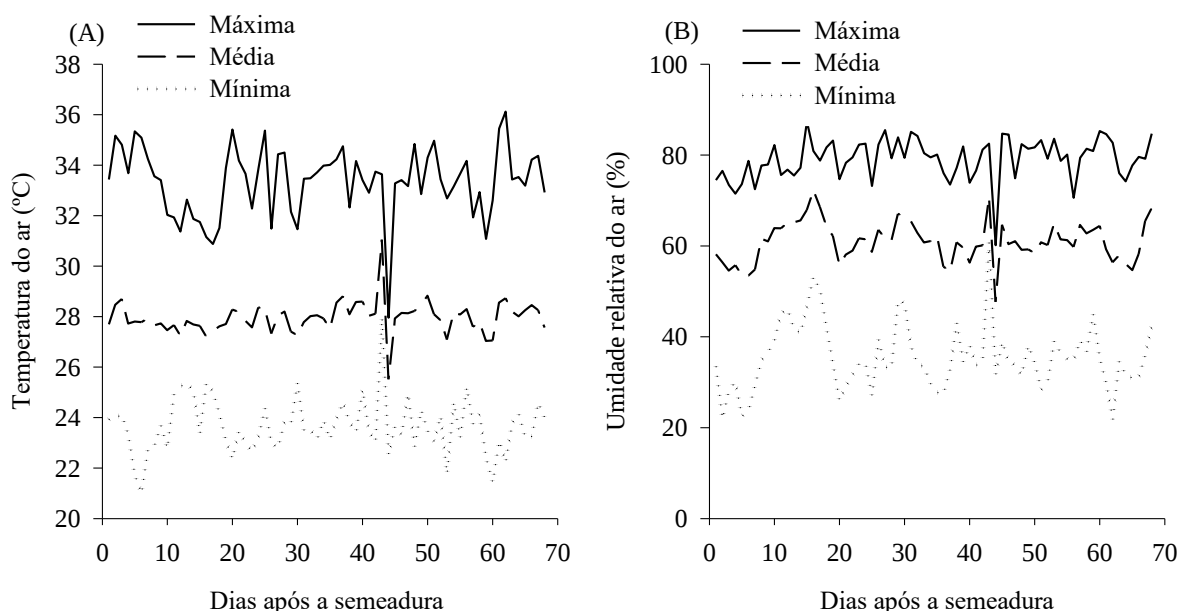


Gráfico 1 - Temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do experimento. Mossoró/RN, 2015.

Fonte: Estação meteorológica da UFERSA.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados completos, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de plantio (convencional e direto) e nas subparcelas, seis períodos de suspensão da irrigação (2; 6; 10; 14; 18 e 22 dias). A suspensão da irrigação foi realizada por ocasião do florescimento, período em que 70% das plantas apresentaram no mínimo uma flor, aos 34 dias após a semeadura (DAS). As unidades experimentais foram constituídas por quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, tendo como área útil as duas linhas centrais,

descartando-se 0,5 m em cada uma das extremidades. Visando a garantir o isolamento, cada subparcela foi separada por um metro.

Na área destinada ao sistema de plantio direto, para obtenção da palhada, foi realizado no período chuvoso (março-agosto) o plantio de *Brachiaria brizantha* (Hochst ex. A. Rich.) stapt. cv. Marandue e aos 30 dias antes da instalação do experimento foi realizada a dessecação com 1,90 kg ha⁻¹ do herbicida glyphosate. Na área destinada ao plantio convencional, foi realizado preparo do solo por meio de uma aração e duas gradagens. Essas áreas foram cultivadas nos sistemas de plantio direto e convencional nos quatro anos anteriores à instalação do experimento.

Da área onde foi conduzido o experimento, foi retirada uma amostra composta de solo a uma profundidade de 0-0,20 m para análise química a fim de determinar a adubação. A seguinte caracterização química do solo foi verificada: pH (água): 6,1; matéria orgânica: 11,5 g kg⁻¹; P: 173,7 mg dm⁻³; K: 158,8 mg dm⁻³; Ca: 3,52 cmolc dm⁻³; Mg: 1,02 cmolc dm⁻³ e Al: 0,17 cmolc dm⁻³. A análise física revelou a seguinte granulometria: areia total: 0,88 kg kg⁻¹; silte: 0,08 kg kg⁻¹; Argila: 0,04 kg kg⁻¹.

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento na linha de plantio, com emissores de 1,7 L h⁻¹ espaçados por 0,3 m. A fim de evitar diferenças no fornecimento de água entre os tratamentos, foram feitas leituras diárias em tensiômetros instalados a 0,20 m de profundidade. Com base nas lâminas de água aplicadas em cada parcela experimental, obtida a partir da vazão dos gotejadores e do somatório do tempo de todas as irrigações realizadas durante o ciclo da cultura, determinou-se a quantidade de água fornecida a cada tratamento. Foi acrescentada a esse cálculo a chuva que ocorreu durante o experimento (5 mm). Foi aplicado o turno de rega de dois dias para as plantas que não sofreram estresse ao longo de todo o experimento, mantendo-se o solo próximo a 70% da capacidade de campo.

A cultivar utilizada foi a BRS Guariba, de crescimento semiereto, destinada à produção de grãos secos. A semeadura e a adubação foram realizadas com utilização de uma matraca, regulada para duas a quatro sementes por cova e 250 kg ha⁻¹ de NPK na formulação 6-24-12. O espaçamento adotado foi de 0,3 m entre covas. Após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por cova.

No sistema de plantio convencional, o controle de plantas daninhas foi realizado manualmente com utilização de enxada, com capinas realizadas aos 15 e 30 DAS. No sistema de plantio direto, as plantas daninhas foram roçadas aos 25 DAS, de forma localizada.

Aos 64 dias após a semeadura, foram realizadas amostragens de quatro plantas por tratamento, as quais foram fracionadas em folhas, caule, hastes florais e vagens, e em seguida colocadas em estufa com circulação forçada de ar sob temperatura de 65° C, até atingir massa constante. As variáveis avaliadas foram: matéria seca das folhas (MSF), caule (MSC), hastes florais (MSH), vagens (MSV) e total (MST). A área foliar (AF, cm²) foi determinada pelo método do disco corrigido (SOUZA et al., 2012). Aos 70 dias após a semeadura, foi determinado o rendimento de grãos secos colhidos na área útil de cada parcela e corrigidos para 13% de umidade (CARDOSO; RIBEIRO, 2006).

A partir da razão do rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹) e da quantidade de água aplicada pela irrigação no ciclo da cultura para cada tratamento (CA, m³ ha⁻¹), determinou-se a eficiência de uso de água (EUA, kg m⁻³).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade, em caso de significância. Para os dados qualitativos, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2011). Para os dados quantitativos, foram utilizadas regressões geradas utilizando-se o *software* Sigmaplot 11.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se interação significativa entre os períodos de veranico e os sistemas de plantio para todas as variáveis estudadas, exceto para MSV e MST (Tabela1). Para MSV e MST, houve efeito entre os sistemas de plantio e entre os períodos de veranico.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para as variáveis matéria seca de caule (MSC), hastes florais (MSH), folhas (MSF), vagens (MSV) e total (MST), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), rendimento de grãos (RG), consumo de água (CA) e eficiência de uso da água (EUA) de feijão-caupi submetido a diferentes períodos de veranico (2, 6, 10, 14, 18, 22 dias após o florescimento) nos sistemas de plantio direto e convencional. Mossoró/RN, 2015.

FV	MSC	MSH	MSF	MSV	MST	AF	IAF	RG	CA	EUA
SP	121,2**	132,4**	316,1**	112,8**	19,0*	24,38*	40,92**	107,4**	7418,6**	171,7**
V	33,36**	87,35**	31,56**	43,16**	31,0**	23,29**	30,30**	96,732**	293,85**	55,4**
SP*V	5,73**	7,07**	4,431**	1,611 ^{n.s}	1,86 ^{n.s}	3,91**	6,34**	2,831*	16,13**	3,83**
Médias	5,83	2,97	8,89	13,64	31,57	8324	11,34	1354,63	326,54	4,097
CV1(%)	13,31	14,37	6,52	13,60	25,76	21,46	14,08	13,75	0,38	13,57
CV2(%)	8,99	12,87	12,70	14,90	14,82	13,10	12,75	10,83	1,80	10,98

*,** significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade e ^{n.s.} Não significativo; V-Veranico; SP-Sistema de Plantio

Quando mantida a irrigação (turno de rega de dois dias), o sistema de plantio direto proporcionou maior AF e IAF do feijão-caupi que o sistema de plantio convencional, com ganhos relativos de 19 e 20%, respectivamente (Gráfico 2A e Gráfico 2B). Esse resultado pode estar relacionado à capacidade desse sistema em reter água no solo, corroborando com Bastos et al. (2012), os quais observaram que o IAF foi maior quando a disponibilidade de água do solo aumentou. Urchei, Rodrigues e Stone (2000) afirmam que o melhor desenvolvimento do feijão-comum no sistema de plantio direto em comparação com o convencional se deveu à maior expansão foliar e à menor abscisão das folhas, implicando na elevação do IAF.

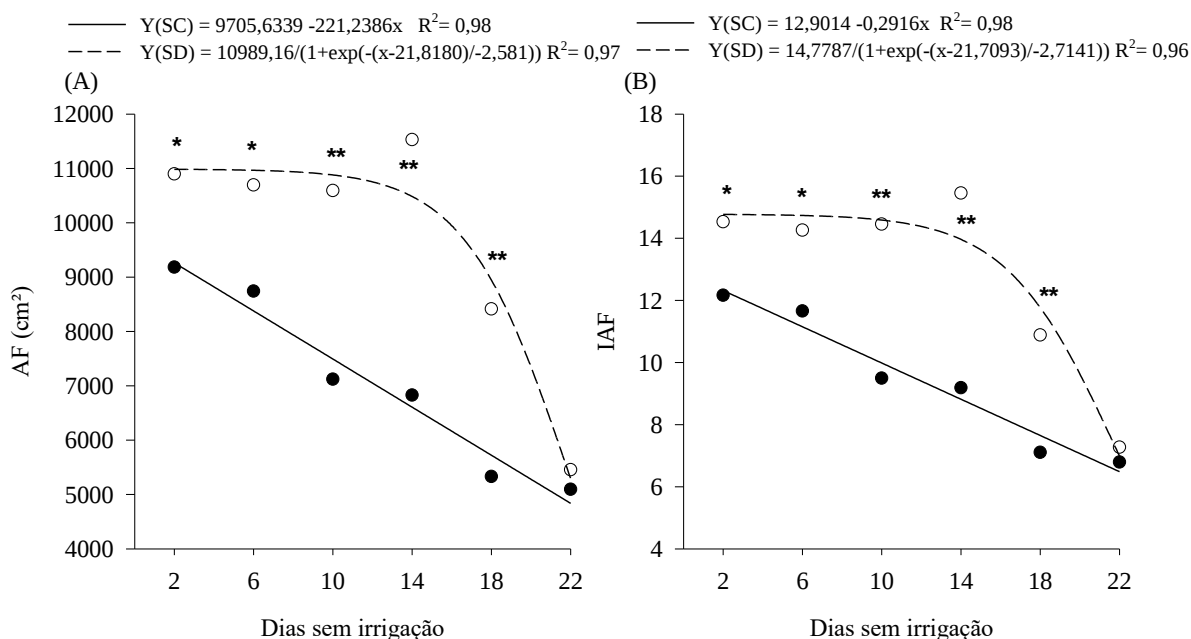


Gráfico 2. Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC). Mossoró/RN, 2015.

Pontos indicam média de quatro repetições e os asteriscos (**) e (*) diferença significativa ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

No sistema de plantio convencional, com o aumento do período sem irrigação, ocorreu decréscimo linear da AF e IAF, com maiores perdas relativas à testemunha aos 22 dias sem irrigação, com redução de 48 e 47%, respectivamente. Para o sistema de plantio direto até o 14º dia de veranico, verificaram-se perdas de 5 e 6% em relação à testemunha, resultado bem inferior ao sistema convencional, com perdas de 29 e 28%, para AF e IAF. Após esse período, verificou-se queda drástica no sistema de plantio direto com redução, até os 22 dias de veranico, de 52 e 53%, para AF e IAF, respectivamente.

Quando irrigado, o sistema de plantio direto teve maior acúmulo de MSC, MSH e MSF, em relação com o convencional (Gráfico 3A; 3B e 3C). Com o aumento do período sem irrigação, pode-se observar decréscimo linear dessas variáveis no sistema de plantio convencional. Para MSC e MSF, verificou-se, para o sistema de plantio direto, decréscimo apenas após 18 e 14 dias de veranico, respectivamente. No mesmo sistema de plantio, a MSH teve decréscimo quadrático em função do aumento dos períodos sem irrigação.

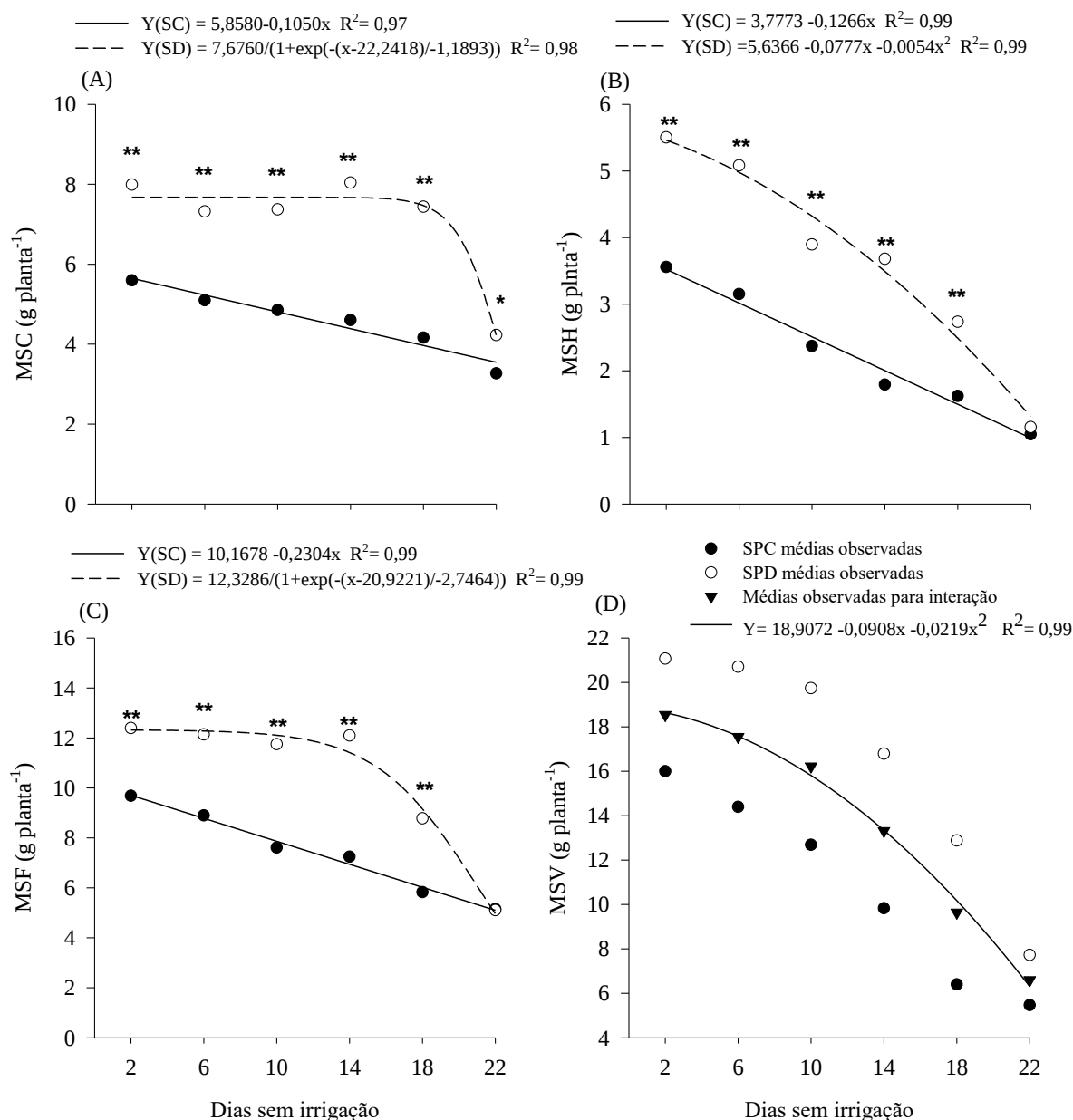


Gráfico 3. Matéria seca do caule (MSC), das hastes florais (MSHF), das folhas (MSF) e das vagens (MSV) de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto (SD) e convencional (SC). Mossoró/RN, 2015.

Pontos indicam média de quatro repetições e os asteriscos (**) e (*) diferença significativa ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

O efeito do veranico proporcionou maior redução na MSH em relação com MSC e MSF, o que ocorreu em função da formação das estruturas florais se dar juntamente com o início do veranico. No caso das folhas, o decréscimo verificado pode estar associado à abscisão foliar verificada nas plantas submetidas aos períodos de veranico mais prolongados,

o que pode ter causado estresse hídrico severo, resultado verificado também por Mendes et al. (2007), estudando o efeito do estresse hídrico na fase reprodutiva do feijão-caupi.

No sistema de plantio direto, os acúmulos de MSV e MST foram maiores (Tabela 2). Independentemente do sistema de plantio utilizado, houve decréscimo em tais variáveis com o aumento dos períodos sem irrigação. Esse decréscimo foi proporcional, com a MSV representando aproximadamente 40% da MST (Gráfico 3D e 4A).

Tabela 2 - Valores médios de matéria seca das vagens (MSV) e total (MST) de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio sistemas direto e convencional. Mossoró/RN, 2015.

Tratamentos	MSV	MST
	g planta ⁻¹	
Plantio convencional	10,79b	26,45b
Plantio direto	16,48a	36,68a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Maior porcentagem de matéria seca das vagens em relação às demais partes da planta também foi verificado por Linhares et al. (2014) para o feijão-caupi. Sendo assim, os efeitos negativos do estresse hídrico no acúmulo de MSV influenciam diretamente o resultado da MST. Nesse sentido, Oliveira et al. (2011), trabalhando com feijão-caupi, observaram redução de 27,16% no acúmulo de MSV no tratamento em que foi aplicada a menor lâmina de irrigação. Na presente pesquisa, as perdas verificadas no maior período sem irrigação foram de 66%, semelhantes às verificadas por Leite e Virgens Filho (2004), que encontraram redução de 61,3% quando o estresse hídrico foi imposto na fase reprodutiva. Segundo esses autores, efeitos negativos sobre o crescimento da cultura se acentuaram como resposta aos déficits hídricos de maior duração, sendo esse considerado mais importante do que a época de ocorrência, resultando em progressiva redução da matéria seca total, de folhas e vagens, fato também verificado no presente trabalho.

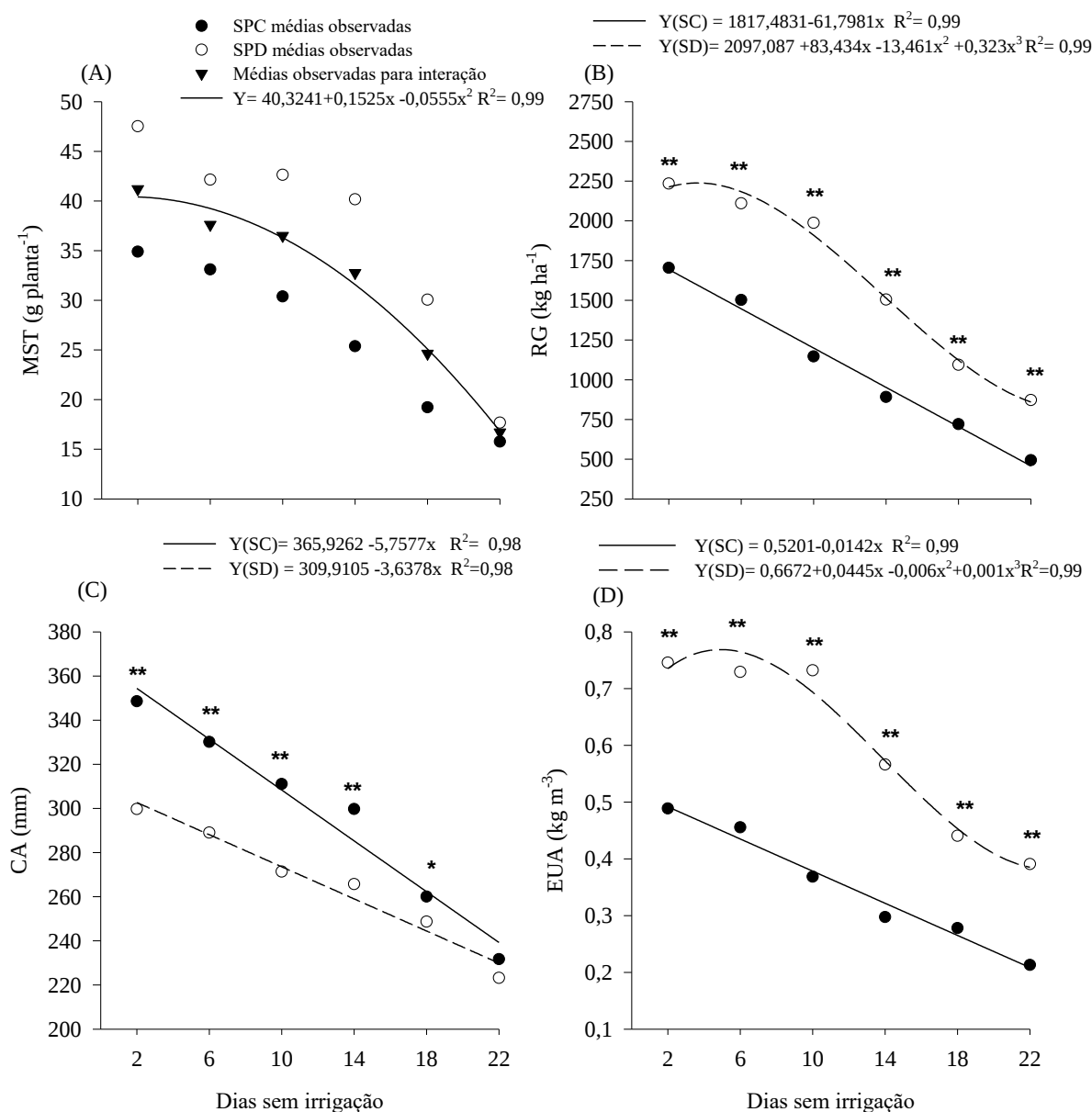


Gráfico 4. Matéria seca das vagens (MST), rendimento de grãos (RG), consumo de água (CA) e eficiência de uso da água (EUA) de feijão-caupi sob efeito de veranico e dos sistemas de plantio direto (SD) e convencional (SC). Mossoró/RN, 2015.

Pontos indicam média de quatro repetições e os asteriscos (**) e (*) diferença significativa ao nível de 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

O rendimento de grãos de feijão-caupi foi diferentemente afetado quando submetido a diferentes condições hídricas e sistemas de plantio. Independentemente do período sem irrigação, o feijão-caupi cultivado no sistema de plantio direto obteve maior rendimento do que o convencional (Gráfico 4B). Quando mantido o turno de rega, houve incremento de

31%, efeito semelhante ao verificado por Bizari et al. (2009), com aumento de 36,2% de produtividade para o feijoeiro cultivado no sistema de plantio direto.

Os decréscimos verificados para o RG nos dois sistemas de plantio indicam haver uma capacidade de plantas cultivadas no sistema de plantio direto de suportar um período de tempo maior sem irrigação, já que um decréscimo mais acentuado só foi verificado após os seis dias, ao passo que no convencional esse decréscimo foi linear. Esse resultado pode ser explicado devido ao sistema plantio direto ser menos suscetível do que o sistema de preparo convencional às variações hídricas no solo, refletindo em menor variação na produtividade de grãos (PAVANI; LOPES; GALBEIRO, 2008). Associado a isso, o sistema de plantio direto apresenta menor aquecimento e amplitude térmica do solo do que o sistema de plantio convencional (COELHO et al., 2013b).

As maiores reduções no rendimento de grãos foram verificadas aos 22 dias de veranico, 72 e 61% para os sistemas de plantio direto e convencional, respectivamente, em relação ao tratamento no qual foi mantida a irrigação. Reduções de 68, 72 e 65% da produtividade do feijoeiro, durante o pleno florescimento, também foram verificados por Sousa et al. (2009), para as cultivares Carioca comum, Rudá e Pérola, respectivamente.

Houve maior consumo de água quando o feijão-caupi foi cultivado no sistema de plantio convencional (Gráfico 4C). A lâmina total aplicada nesse sistema, quando irrigado, foi de 354 mm, 14% a mais do que no sistema de plantio direto, que foi de 303 mm. Esses valores estão próximos aos verificados por Bastos et al. (2012) trabalhando com feijão-caupi na Região Teresina-PI, no sistema de plantio convencional, para produção de grãos verdes, onde as maiores produções foram encontradas na lâmina total estimada de 354 mm para cultivar BRS Guariba, aplicando-se a fração de 125% da evapotranspiração de referência. Já para reduções no consumo de água quando utilizado o sistema de plantio direto em relação ao convencional, essas foram verificadas para outras culturas como 29% para o feijoeiro (PEREIRA; MOREIRA; KLAR, 2002); 10% para cultura do tomateiro (MAROUELLI; SILVA; MADEIRA, 2006); 13% na cultura do repolho (MAROUELLI et al., 2010) e 13% na cultura do melão (TEÓFILO et al., 2012).

Para EUA, que expressa a relação entre consumo de água por quantidade produzida, o sistema de plantio direto mostrou-se mais eficiente em todos os períodos de veranico. Na condição em que não foi aplicado veranico, a EUA foi 50% maior no sistema de plantio direto, com $0,74 \text{ g L}^{-1}$, ao passo que no sistema convencional foi de $0,49 \text{ g L}^{-1}$ (Gráfico 4D). Resposta semelhante foi verificada por Bizari et al. (2009) trabalhando com feijoeiro com

EUA do plantio convencional de 45% dos valores observados no plantio direto. Segundo esses autores, esse resultado é devido à redução do processo de evaporação da água do solo e, conseqüentemente, aumento da disponibilidade de água para as plantas no sistema de plantio direto em relação ao convencional.

Quando cultivado no sistema de plantio direto, a EUA do feijão-caupi manteve-se constante até, aproximadamente, dez dias sem irrigação, resultado diferente dos obtidos no sistema convencional, com redução linear logo após a suspensão da irrigação. Aos 6, 10, 14, 18 e 22 dias sem irrigação, a eficiência de uso da água estimada no sistema de plantio direto em relação ao convencional foi de 76, 83, 78, 70 e 85%. Esse resultado se deve à capacidade do sistema de plantio direto reter uma maior quantidade de água no solo. O aumento da quantidade de água no solo está relacionado às alterações estruturais do perfil proporcionadas pelo plantio direto, principalmente pela redução do número de poros com maior diâmetro e o aumento daqueles com diâmetros intermediários, sempre se mantendo inalterado os poros de menor diâmetros (PEREIRA; MOREIRA; KLAR, 2002).

O feijão-caupi cultivado no sistema de plantio direto teve maior acúmulo de biomassa, produtividade, menor consumo e maior eficiência na utilização da água, o que faz com que essa forma de manejo seja promissora no cultivo do feijão-caupi, principalmente devido à sua capacidade de superar curtos períodos sem irrigação, importante em regiões em que ocorrem irregularidades pluviométricas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Veranicos prolongados afetam negativamente o acúmulo de biomassa, rendimento de grãos e eficiência de uso da água, para ambos os sistemas de plantio utilizados.

O sistema de plantio direto é promissor para a cultura do feijão-caupi, proporcionando maior rendimento de grãos e maior eficiência de uso da água do que o sistema convencional.

No sistema de plantio direto, é possível o cultivo de feijão-caupi, sem perdas, mesmo com períodos de veranico moderados após o florescimento.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, E. A. et al. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012. Disponível em: <http://www.ufrb.edu.br/wrim/images/wrim-1-1-2012/WRIM.pdf_P.31-37.pdf>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n7/a18v39n7.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1408p.
- CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônomo do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 102-105, 2006. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/223/218>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- COELHO, M. E. H. et al. Interferência de plantas daninhas no crescimento do pimentão nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 4, p. 19-30, 2013a. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/2371/237129900003.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- COELHO, M. E. H. et al. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 369-378, 2013b. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v31n2/14.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v35n6/a01v35n6.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-caupi no Brasil: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: EMBRAPA meio Norte, 2011, 84p.
- LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 10, n. 01, p. 43-51, 2004. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/view/820>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- LINHARES, C. M. S. et al. Crescimento do feijão-caupi sob efeito dos herbicidas fomesafen e bentazon+imazamox. **Revista Caatinga**, Mossoró v. 27, n. 1, p. 41-49, 2014. Disponível em: <http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/2572/pdf_84>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- 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**,

Amsterdam v. 102, n. 1, p. 15-27, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423804000202>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MAROUELLI, W. A. et al. Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 369-375, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2010000400004>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1399-1404, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n9/a08v41n9.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MENDES, R. M. S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/158/152>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MOURA, E. G. et al. 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. Disponível em: <<http://200.145.140.50/index.php/irriga/>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

OLIVEIRA, G. A. et al. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1178/621>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; GALBEIRO, R. B. Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 12-21, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n1/a02v28n1.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 42-52, 2002. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/236/141>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

PUPPALA, N. et al. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 33-47, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666900300150X>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SILVA, H. A. P. et al. Expressão gênica induzida por estresses abióticos em nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 797-807, 2012.

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n6/47n06a10.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SIMIDU, H. M. et al. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região de cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 309-315, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v32n2/a18v32n2.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SOARES, A. L. L. et al. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões, (MG). I-caupi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 795-802, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n5/05.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SOUSA, M. A. et al. Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 175-182, 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/viewFile/3383/4786>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SOUZA, H. A. et al. C. E. Níveis críticos para atributos do solo pela distribuição normal reduzida em culturas anuais de subsistência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 425-430, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n4/v18n04a10.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SOUZA, M. S. et al. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 241-245, 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/15764/11188>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

TEÓFILO, T. M. S. et al. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v30n3/10.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n3/v35n3a04.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

CAPÍTULO 3

ECOFISIOLOGIA DE PLANTAS DE FEIJÃO-CAUPI SOB EFEITO DE ESTRESSE HÍDRICO E REIDRATAÇÃO NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar as respostas ecofisiológicas de feijão-caupi sob efeito de estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio direto e convencional. O experimento foi realizado no semiárido do Rio Grande do Norte, utilizando-se o delineamento experimental em blocos casualizados completos, no esquema de parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de plantio (direto e convencional), nas subparcelas, três condições hídricas (sem estresse, estresse moderado e estresse severo) e nas subsubparcelas, períodos de avaliação. Foram determinados: área foliar, matéria seca total, fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ e potencial hídrico foliar. O estresse hídrico afetou todas as variáveis avaliadas, com exceção do potencial hídrico foliar. O feijão-caupi apresenta recuperação de todas as variáveis fisiológicas após estresse hídrico moderado e severo. O fechamento estomático é o principal mecanismo de resistência à seca, sendo o feijão-caupi uma espécie conservadora. Os sistemas de plantio não afetam a fotossíntese. O sistema de plantio direto promove maior acúmulo de biomassa e de área foliar.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Fotossíntese. Condutância estomática. Potencial hídrico. Área foliar.

ECOPHYSIOLOGY OF COWPEA PLANTS UNDER WATER STRESS AND REHYDRATION EFFECT ON NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL SYSTEMS

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the cowpea ecophysiology responses under water stress and rehydration effect on conventional and no-tillage system. The experiment was conducted in the Rio Grande do Norte semiarid region, it was used a randomized complete blocks design with subsampling and sub-subsampling, with four replications. The treatments were the cropping systems (tillage and no-till), and the subsamples were three water availability conditions (no shortage, moderate shortage and severe shortage), and the sub-subsampling were the evaluation periods. We evaluated the plants' dry mass, leaf areas, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, lowest leaf CO₂ internal concentration, and leaf water potential. Water stress affected all variables evaluated, except the leaf water potential. Cowpea provides recovery of all physiological variables after moderate to severe water stress. The stomatal closure is the main drought resistance mechanism, being cowpea a conservative species. Planting systems do not affect photosynthesis. The tillage system promotes greater accumulation of biomass and leaf area.

Key words: *Vigna unguiculata*. Photosynthesis. Stomatal conductance. Water potential. Leaf area.

1 INTRODUÇÃO

A deficiência hídrica é uma situação comum a muitas culturas e constitui um dos fatores que mais afetam a produção agrícola, influenciando praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal (DAMATTA, 2007). Os danos provocados pelo estresse hídrico variam conforme a duração, intensidade, frequência, época de sua ocorrência e o genótipo. A frequência e a intensidade da deficiência hídrica constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Algumas respostas fisiológicas estão relacionadas a adaptações das plantas à deficiência hídrica, como a redução da área foliar, fechamento estomática, inibição da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013). Logo, com base no estudo das interações desses parâmetros com cada fator ambiental, em particular o estado hídrico da planta, pode-se conhecer a eficiência do crescimento e a habilidade de adaptação às condições ambientais de uma dada espécie ou variedade (QUÍÑONES et al., 2005; PEIXOTO et al., 2006).

A cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) tem sido bastante cultivada na região Nordeste do Brasil no regime de sequeiro. Devido à irregularidade pluviométrica dessa região, essa cultura passa por longos períodos sem chuvas, durante épocas chuvosas do ano, conhecidos como veranico. Esse fator, associado a altas temperaturas, reduz a produtividade do feijão-caupi, principalmente quando ocorre nas fases de florescimento e enchimento de grãos (MENDES et al., 2007).

A condição fisiológica da planta está diretamente ligada à condição hídrica do solo. Nesse sentido, destaca-se o sistema de plantio direto, considerado promissor para a cultura do feijão-caupi, por utilizar resíduos de cultura para cobertura do solo com a finalidade de manter a umidade (FREITAS et al. 2013). A cobertura morta atua como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo e contribuindo para a menor evaporação da água armazenada, com melhor aproveitamento da água no solo pelas plantas (BIZARI et al., 2009; MAROUELLI; SILVA; MADEIRA, 2006; OBALUM; OBI, 2010).

O plantio direto reduz o efeito drástico das condições climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura (SIMIDU et al., 2010), principalmente nos estádios em que o seu dossel não cobre totalmente o solo, o que resulta em redução na frequência de irrigação e economia nos custos de operação do sistema (STONE et al., 2006). Esse é um fator importante principalmente quando a cultura é produzida em sequeiro, ocasião na qual ocorrem veranicos prolongados na região Nordeste (FREITAS et al., 2014).

Logo, além de conhecer as estratégias de adaptações fisiológicas, é importante o conhecimento da interação desses fatores com formas de manejo que possibilitem a minimização do efeito da deficiência hídrica. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar as respostas ecofisiológicas de feijão-caupi sob efeito de estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio direto e convencional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na horta do Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, entre setembro e dezembro de 2011, em solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico. O município está localizado no Nordeste brasileiro e possui coordenadas geográficas 5 ° 11 ' de latitude sul, 37 ° 20 ' de longitude W. Gr., com 18 m de altitude.

Durante o ciclo da cultura, foram observadas: temperatura máxima média de 33,5, média de 27,9 e mínima média de 23,6°C (Gráfico 1A). Para umidade relativa do ar, máxima média de 79,1, média 60,9 e mínima média de 35,5% (Gráfico 1B). No decorrer da pesquisa, verificou-se apenas uma chuva aos 31 DAS (dias após a semeadura), de 5 mm.

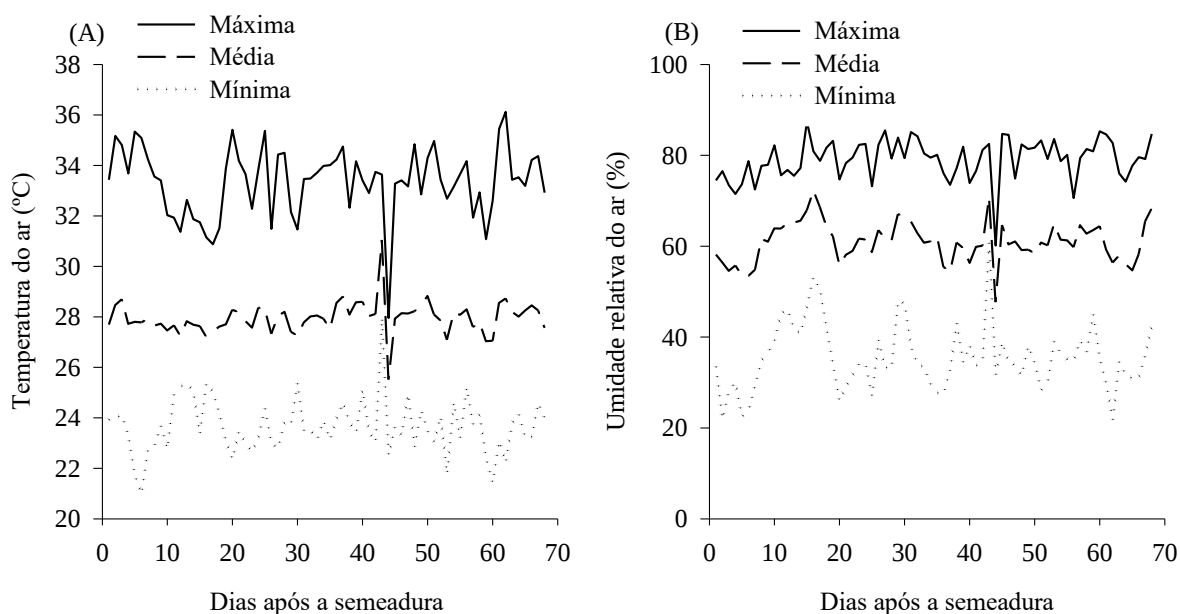


Gráfico 1. Temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) durante a condução do experimento. Mossoró/RN, 2015.

Fonte: Estação meteorológica da UFERSA.

Utilizou-se o esquema de parcelas subsubdividas, distribuídas no delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de plantio (direto e convencional), nas subparcelas, três condições hídricas (sem estresse, estresse moderado e estresse severo) e nas subsubparcelas, os períodos de avaliação.

Na área destinada ao sistema de plantio direto, para obtenção da palhada, foi realizada no período chuvoso (março-agosto) o plantio de *Brachiaria brizantha* (Hochst ex. A. Rich.) stapt. cv. Marandue e aos 30 dias antes da instalação do experimento foi realizada a

dessecação com $1,90 \text{ kg ha}^{-1}$ do herbicida glyphosate. Na área destinada ao plantio convencional, foi realizado preparo do solo por meio de uma aração e duas gradagens. Essas áreas foram cultivadas nos sistemas de plantio direto e convencional nos quatro anos anteriores à instalação do experimento.

Uma amostra composta de solo foi retirada a uma profundidade de 0-0,20 m para análise química e física. A seguinte caracterização química do solo foi verificada: pH (água): 6,1; matéria orgânica: $11,5 \text{ g kg}^{-1}$; P: $173,7 \text{ mg dm}^{-3}$; K: $158,8 \text{ mg dm}^{-3}$; Ca: $3,52 \text{ cmolc dm}^{-3}$; Mg: $1,02 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e Al: $0,17 \text{ cmolc dm}^{-3}$. A análise física revelou a seguinte granulometria: areia total: $0,88 \text{ kg kg}^{-1}$; silte: $0,08 \text{ kg kg}^{-1}$ e Argila: $0,04 \text{ kg kg}^{-1}$.

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento na linha de plantio, com emissores de $1,7 \text{ L h}^{-1}$ espaçados por 0,3 m. A fim de evitar diferenças no fornecimento de água para os tratamentos, foram feitas leituras diárias em tensiômetros instalados a 0,20 m de profundidade. Cada parcela foi constituída por quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, tendo como área útil às duas linhas centrais, descartando-se 0,5 m em cada uma das extremidades.

A cultivar utilizada foi a BRS Guariba, de crescimento semiereto, destinada à produção de grãos secos. A semeadura e a adubação foram realizadas com utilização de uma matraca, regulada para duas a quatro sementes por cova e 250 kg ha^{-1} de NPK na formulação 6-24-12. O espaçamento adotado foi de 0,3 m entre covas. Após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por cova.

No sistema de plantio convencional, o controle de plantas daninhas foi realizado manualmente com utilização de enxada, com capinas realizadas aos 15 e 30 DAS. No sistema de plantio direto, as plantas daninhas foram roçadas aos 25 DAS, de forma localizada.

Por ocasião do florescimento, período em que 70% das plantas tinham no mínimo uma flor, aos 34 DAS, iniciou-se a imposição das diferentes condições hídricas. Para as plantas que não sofreram estresse, utilizou-se turno de rega de dois dias, ao longo de todo o experimento, mantendo-se o solo próximo a 70% da capacidade de campo e as que passaram pelo estresse hídrico tiveram sua irrigação suspensa. As plantas foram monitoradas diariamente durante a suspensão da irrigação, sendo novamente irrigadas (reidratadas) quando taxa de assimilação de CO_2 , às nove horas da manhã, correspondeu a aproximadamente 40% da fotossíntese de referência (irrigada), para estresse moderado, e próxima a zero, para estresse severo. Após a reidratação, as plantas continuaram a ser avaliadas até que as taxas de

assimilação de CO₂, às nove horas da manhã, para o estresse severo fossem semelhantes entre os tratamentos.

Para avaliação do crescimento, foram determinadas as variáveis matéria seca total (MST) - através da pesagem do material seco em estufa a 65 °C até obtenção de massa constante - e área foliar (AF, cm²), determinada pelo método do disco corrigido (SOUZA et al., 2012).

A fotossíntese (A ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$), condutância estomática (g_s ; $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E ; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (C_i ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$) foram avaliadas com um medidor de fotossíntese LI-6400 (LI-COR Biosciences). Os teores de CO₂ foram fixados em 400 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a intensidade luminosa em 1500 $\mu\text{moles de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Foram avaliadas folhas jovens, recém-expandidas, não danificadas e bem iluminadas (quando a intensidade luminosa foi superior a 1000 $\mu\text{moles de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

O potencial hídrico (Ψ_w ; MPa) das plantas foi determinado no pré-amanhecer (Ψ_{w3} ; pre-dawn) e ao meio-dia (Ψ_{w12}) com auxílio de bomba de pressão (bomba de Schollander).

As avaliações foram realizadas a cada sete dias (entre os 15 e 64 DAS), para as variáveis de crescimento, e a cada dois dias (entre os 34 e 59 DAS), do início da suspensão hídrica até total recuperação da fotossíntese das plantas cultivadas sob estresse hídrico severo, para as análises fisiológicas. Para todas as análises, foram utilizadas quatro plantas por tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, para cada sistema e período de avaliação. As análises estatísticas foram realizadas pelo programa ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento do feijão-caupi foi influenciado pela restrição de água e pelos sistemas de plantio, para as variáveis AF e MST (Tabela 1). Após 36 DAS, quando suspensa a irrigação, ocorreu paralisação no aumento da AF e MST para os dois sistemas de plantio (Gráfico 2).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis área foliar (AF), matéria seca total (MST), fotossíntese (A), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*Ci*), potencial hídrico folia pré-amanhecer (Ψ_{w3}) e ao meio-dia (Ψ_{w12}), de feijão-caupi. Mossoró/RN, 2015.

Fonte de variação	Valores de F							
	<i>AF</i>	<i>MST</i>	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	Ψ_{w3}	Ψ_{w12}
Sistemas (A)	25,82*	37,759**	0,061 ^{ns}	0,037 ^{ns}	24,08**	0,308 ^{ns}	1,614 ^{ns}	0,016 ^{ns}
Estresses (B)	350,1**	625,19**	149,4**	96,61**	46,76**	59,39**	0,006*	0,989 ^{ns}
AxB	16,43**	10,93**	2,744 ^{ns}	0,364 ^{ns}	0,403 ^{ns}	1,229 ^{ns}	2,594 ^{ns}	0,259 ^{ns}
Avaliação (C)	16,23**	31,98**	54,07**	21,05**	15,67**	22,94**	10,63**	7,229**
AxC	2,009 ^{ns}	1,363 ^{ns}	2,157*	4,446**	3,501**	1,358 ^{ns}	0,935 ^{ns}	1,563 ^{ns}
BxC	22,29**	25,98**	22,11**	14,60**	17,61**	11,18**	1,116 ^{ns}	0,843 ^{ns}
AxBxC	2,358**	0,977 ^{ns}	2,185**	3,576**	1,013 ^{ns}	0,637 ^{ns}	1,154 ^{ns}	0,914 ^{ns}

*significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns}. Não significativo.

Inicialmente, a MST foi mais afetada pelo estresse hídrico do que a AF. Aos 43 DAS, nove dias após a suspensão da irrigação, observou-se efeito entre os tratamentos apenas para MST (Gráfico 2C e 2D). Nessa época, as plantas estressadas apresentaram menor MST do que as irrigadas, independentemente do sistema de plantio, o que pode ser explicado pela formação de estruturas reprodutivas (flores, hastes florais e vagens) que correspondem à maior porcentagem, entre as partes que compõem a MST de uma planta em boas condições hídricas. Nessa ocasião, ocorre paralisação no investimento em fotoassimilados para formação de novas folhas (fonte) e as estruturas reprodutivas passam a ser o principal dreno (FREITAS et al., 2014). A tendência de maior porcentagem de massa seca dos frutos nessa época em comparação aos demais órgãos também foi constatada por Fontes, Dias e Silva (2005); Silva et al. (2010a); Lopes et al. (2011) e Freitas et al. (2014).

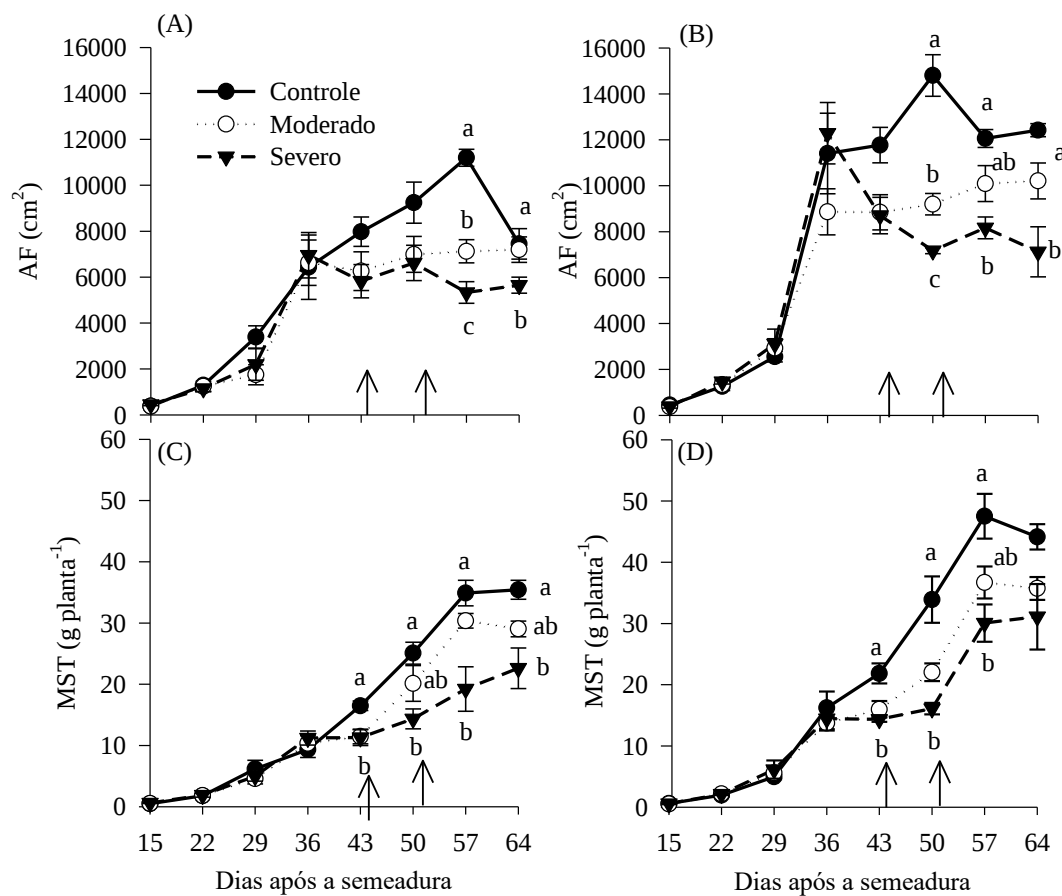


Gráfico 2. Área foliar (AF) e matéria seca total (MST) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio convencional (A; C) e direto (B; D). Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 2015.

Quando submetido ao período de maior estresse, 16 dias de suspensão (50 DAS), observou-se redução drástica da AF (Gráfico 2A e 2B). A abscisão foliar é um dos principais mecanismos de reposta ao estresse hídrico e consiste na eliminação das folhas, após a senescência. As folhas podem ficar senescentes e, por fim, caem, quando as plantas sofrem déficit hídrico após uma considerável área foliar ter se desenvolvido. Nesse sentido, observa-se que a redução AF foi maior no sistema de PD, que inicialmente se apresentou mais desenvolvida. Esse mecanismo possibilita redução em longo prazo da área de *E*, adequando-se a ambientes com baixa limitação hídrica e deve-se em grande parte à síntese acentuada e à sensibilidade ao etileno (TAIZ; ZEIGER, 2013).

De forma geral, o sistema de plantio direto proporcionou maior acúmulo de MST do feijão-caupi. Essa resposta evidencia que o acúmulo de biomassa no feijão-caupi é influenciado por fatores relacionados ao aumento da *A*, pelo incremento de AF e não pela

maior capacidade fotossintética, já que não foi verificado efeito entre os sistemas de plantio para A (Tabela 1). Dessa forma, o maior acúmulo de biomassa no sistema de plantio direto, provavelmente se deve a características relacionadas ao uso da cobertura morta do solo, que promove maior retenção de água no solo, redução da temperatura máxima e diminuição das oscilações de temperatura (ZANETTE et al., 2007; BIZARI et al., 2009; MARTORANO et al., 2009; SIMIDU et al., 2010; COELHO et al., 2013).

Nos dois sistemas de plantio, houve redução da A e C_i , a partir do terceiro dia de suspensão da irrigação, e da g_s e E , a partir dos cinco dias de estresse. As plantas submetidas ao estresse moderado apresentaram recuperação das variáveis fisiológicas três dias após a reidratação. Após esse período, houve uma tendência de aumento dos valores dessas variáveis em comparação à testemunha, em especial no sistema de plantio direto (Gráfico 3), o que pode ser explicado pela senescência das folhas e, conseqüentemente, redução da capacidade fotossintética ao fim do ciclo da cultura (testemunha) e retomada da capacidade fotossintética em plantas que foram submetidas ao estresse e reidratadas, resposta também verificada para AF e MST.

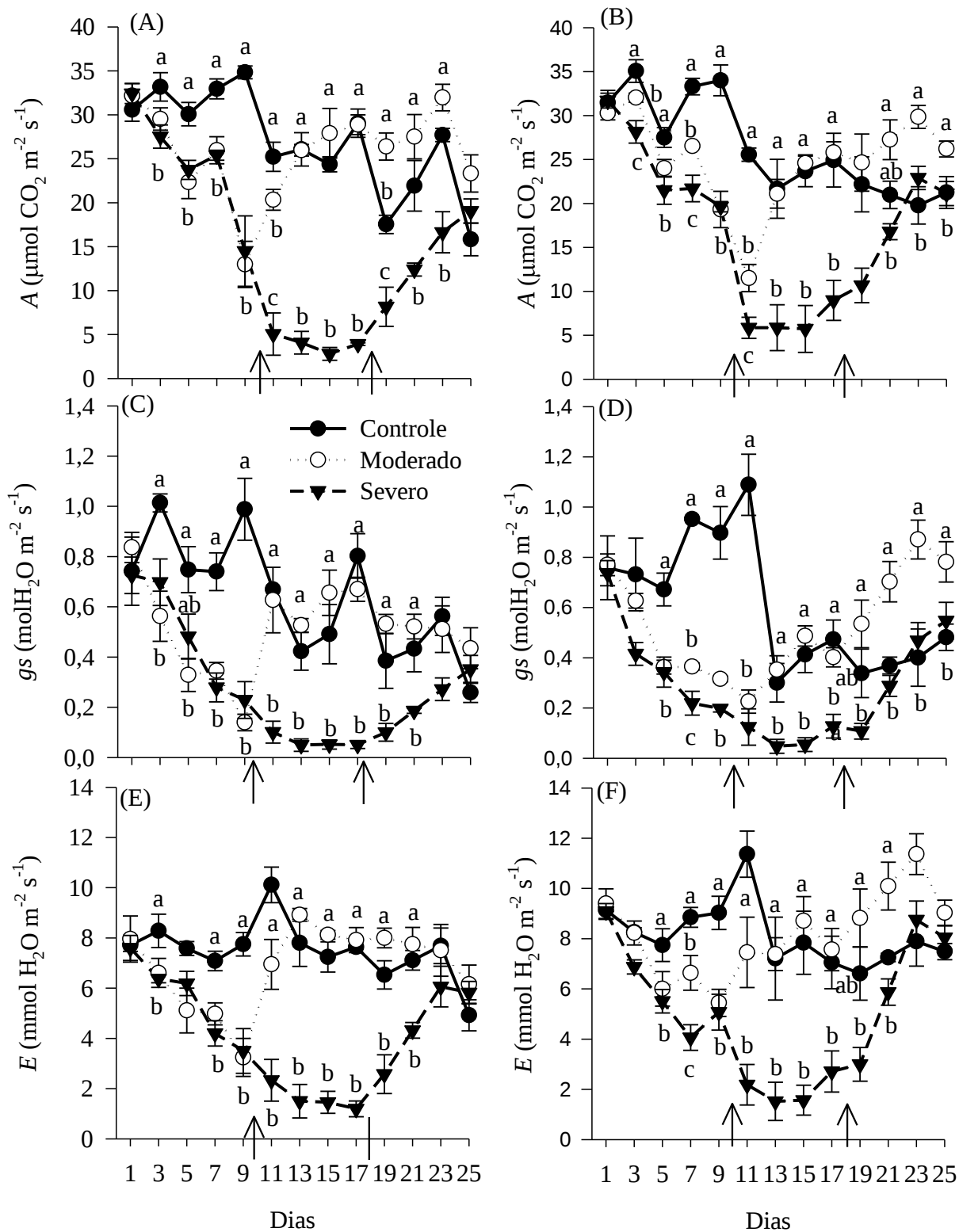


Gráfico 3. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio convencional (A; C; E) e direto (B; D; F). Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 2015.

Em condições adequadas de suprimento hídrico, na medida em que as folhas crescem, sua capacidade para produzir fotoassimilados, através da A , aumenta até o alcance da maturidade, que consiste em seu crescimento final, fase na qual as taxas fotossintéticas começam então a decrescer (TAIZ; ZEIGER, 2013). No entanto, após estresse hídrico seguido de reidratação pode ocorrer, após um período de repouso fisiológico, a retomada da emissão de novas folhas e, conseqüentemente, o aumento da atividade fotossintética da planta (LEITE; VIRGENS FILHO, 2004; MENDES et al., 2007).

Aos 18 dias após a imposição da suspensão da irrigação no estresse severo, foi realizada a reidratação. Embora tenha ocorrido recuperação de todas as variáveis em relação à testemunha para esse tempo de estresse, a recuperação foi lenta, principalmente para o sistema de plantio convencional, que só apresentou recuperação de todas as variáveis após 10 dias da retomada da irrigação, o que pode ser um indicativo de maior dano ao aparelho fotossintético.

Entre as variáveis fisiológicas, a mais sensível ao estresse foi a g_s . O controle da abertura estomática no feijão-caupi parece ser a resposta imediata à redução da água no solo (POMPELLI et al., 2010; SILVA et al., 2010b). Sendo assim, a planta na condição de estresse tende a fechar seus estômatos no sentido de minimizar a perda de água e manter a turgescência, o que se reflete negativamente na formação de carboidratos na fotossíntese e no acúmulo em fitomassa na planta (BRITO et al., 2013). Esse mecanismo apresenta-se como importante estratégia de defesa, principalmente em regiões semiáridas, onde ocorrem longos períodos sem chuvas associados a temperaturas elevadas, o que torna a cultura do feijão-caupi uma das mais cultivadas nessas regiões.

A resposta da A foi semelhante à verificada para a g_s , o que pode ser indicativo de que a redução fotossintética em função do estresse hídrico tenha ocorrido devido a fatores estomáticos. Essa relação foi linear para valores de g_s abaixo de $0,60 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Gráfico 4), o que indica que A é limitado exclusivamente ou principalmente pela condutância estomática (MEDRANO et al., 2002). Em plantas com valores de g_s superiores a $0,60 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, a A foi inibida por outros fatores. Diversos fatores, além da disponibilidade hídrica do solo, atuam sobre a A , como densidade do fluxo de luz; qualidade e duração da energia radiante; teor de CO_2 no ar e temperatura do ar (LOPES; LIMA, 2015).

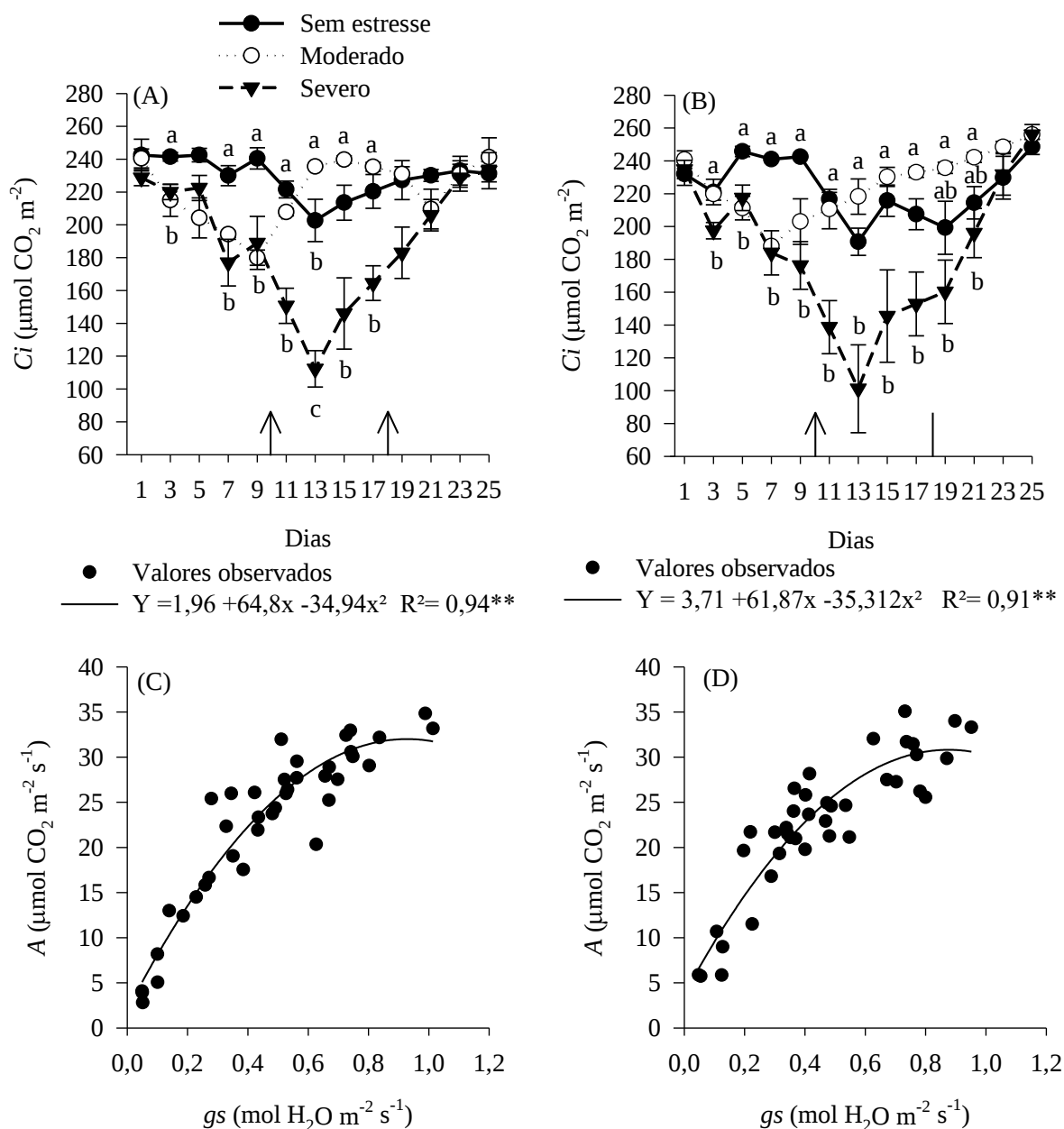


Gráfico 4. Concentração interna de CO_2 (C_i) e relação entre fotossíntese (A) e condutância estomática (g_s) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação. Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 2015.

De acordo com Flexas et al. (2004), valores de g_s inferiores a $0,15 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ são indicadores de estresse severo, o que foi verificado para os dois sistemas de plantio, a partir do 11º dia de estresse. Valores semelhantes aos encontrados por Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005); Mendes et al. (2007) e Nascimento et al. (2011) para a mesma cultura.

Não houve efeito entre as diferentes condições hídricas, épocas de avaliação e sistemas de plantio (Gráfico 5), para o Ψ_w . O menor Ψ_w foi verificado ao meio-dia ($-1,6 \text{ MPa}$)

e o maior, no pré-amanhecer (-0,3 MPa). Esses valores são próximos aos encontrados por outros autores para a mesma cultura (PIMENTEL; HÉBERT, 1999; NASCIMENTO et al., 2011). Os resultados encontrados indicam que o feijão-caupi é uma cultura que apresenta o mecanismo conservador de resistência à seca, com alto Ψ_w e com eficiente controle estomático.

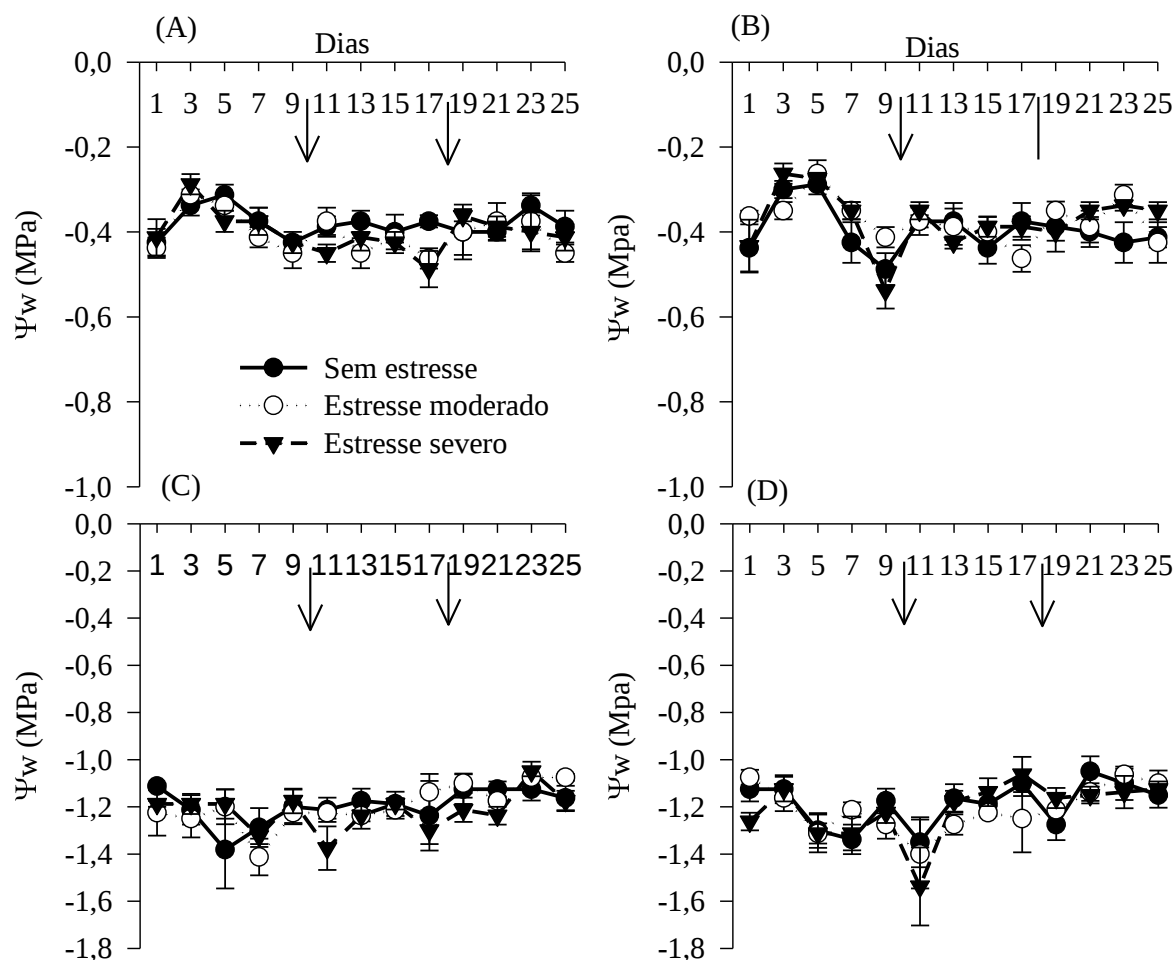


Gráfico 5. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) ao pré-amanhecer (A; B) e ao meio-dia (C; D) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetido a estresse hídrico e reidratação nos sistemas de plantio convencional (A; C) e direto (B; D). Setas indicam o momento da retomada da irrigação. Mossoró/RN, 2015.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O feijão-caupi apresenta recuperação de todas as características fisiológicas após estresse hídrico moderado e severo.

O fechamento estomático é o principal mecanismo de resistência à seca, sendo o feijão-caupi uma espécie conservadora.

Os sistemas de plantio não afetam a fotossíntese.

O sistema de plantio direto promove maior acúmulo de biomassa e de área foliar.

REFERÊNCIAS

- BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n7/a18v39n7.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- BRITO, M. E. B. et al. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/14061/13019>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- COELHO, M. E. H. et al. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 369-378, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v31n2/14.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- DAMATTA, F. M. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 4, p. 239-244, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjpp/v19n4/a01v19n4.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- FLEXAS, J. et al. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 144, n. 3, p. 273-283, 2004. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00343.x/abstract>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 94-99, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v23n1/a20v23n1.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- FREITAS, R. M. O. et al. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17982/13754>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- FREITAS, R. M. O. et al. Produção de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3683-3690, 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/13192/pdf_102>. Acesso em: 5 de jul. 2015.
- LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 43-51, 2004. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas/article/view/820>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2015. 492p.

LOPES, W. A. R. et al. Análise do crescimento de tomate ‘SM-16’ cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, 554-561, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v29n4/a19v29n4.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1399-1404, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n9/a08v41n9.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MARTORANO, L. G. et al. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397-405, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n4/v13n4a05.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MEDRANO, H. et al. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 895-905, 2002. Disponível em: <<http://aob.oxfordjournals.org/content/89/7/895.short>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

MENDES, R. M. S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/158/152>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

NASCIMENTO, S. P. et al. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n8/13.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

OBALUM, S. E.; OBI, M. E. Physical properties of a sandy loam Ultisol as affected by tillage-mulch management practices and cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1-2, p. 30-36, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198710000486>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n1/24874.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

PEIXOTO, C. P. et al. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 439-443, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v28n3/22.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

PIMENTEL, C.; HÉBERT, G. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 7-11, 1999. Disponível em: <<http://www.cnpdia.embrapa.br/rbfv/pdfs/v11n1p7.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

POMPELLI, M. F. et al. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity or purging nut under drought deficit and recovery. **Biomass Bioenerg**, Amsterdam, v. 34, n. 8, p. 1207-1215, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410001066>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

QUIÑONES, A. et al. Recovery of the ¹⁵N-labelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 268, n. 1, p. 367-376, 2005. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-004-0337-x>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

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. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/287.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SILVA, E. N. et al. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 167, n. 14, p. 1157-1164, 2010b. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161710001914>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev41/Art410.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SILVA, P. I. B. et al. Crescimento de pimentão em diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 132-139, 2010a. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n2/v45n2a03.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SIMIDU, H. M. et al. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região de cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 309-315, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v32n2/a18v32n2.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

SOUZA, M. S. et al. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 241-245, 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/15764/11188>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n4/29802.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 918p., 2013.

ZANETTE, S. V. et al. Análise espacial da umidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 239-247, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n3/a01v11n3.pdf>>. Acesso em: 5 de jul. 2015.