

Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica

Alexson Filgueiras Dutra¹, Alberto Soares de Melo², Luanna Maria Beserra Filgueiras³, Állisson Rafael Ferreira da Silva³, Izaac Menezes de Oliveira¹, Marcos Eric Barbosa Brito⁴

¹ Universidade Estadual da Paraíba, Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão, Sítio Cajueiro, Zona Rural, CEP 58884-000, Catolé do Rocha-PB, Brasil. E-mail: alexsonbrejo@hotmail.com, izaacmenezes30@hotmail.com

² Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Biologia, Rua Baraúnas, Universitário, CEP 58429-500, Campina Grande-PB, Brasil. E-mail: alberto@uepb.edu.br

³ Universidade Estadual da Paraíba, Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão, 1ª Travessa Beira Rio, Bodocongó, CEP 58430-121, Campina Grande-PB, Brasil. E-mail: luannabeserra-uepb@hotmail.com; engallisson.rafael@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias, Rua Jario Vieira de Feitosa, Pereiros, CEP 58840-000, Pombal-PB, Brasil. E-mail: marcoseric@ccta.ufcg.edu.br

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar as trocas gasosas e componentes de produção de cultivares de feijão-caupi submetidas a diferentes níveis de deficiência hídrica no semiárido paraibano. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 3 x 4, com três repetições. No fator A alocou-se as cultivares de feijão-caupi BRS Guariba, BR17 Gurguéia e BRS Marataoã e no B as lâminas de irrigação estabelecidas em função de frações da evapotranspiração de referência (40, 60, 80 e 100% da ETo). As trocas gasosas foram determinadas a partir de aferições de concentração interna de CO₂, transpiração, condutância estomática, taxa fotossintética, eficiência instantânea de uso da água e eficiência instantânea de carboxilação. Quanto aos componentes de produção, foram avaliados: a massa de vagens, número de grãos por vagens, massa de 100 grãos e produtividade de grãos. A cultivar de feijão-caupi 'BRS Guariba', independentemente das lâminas de irrigação, apresenta melhor desempenho de trocas gasosas com reflexo positivo nos componentes produtivos. As maiores taxas fisiológicas das cultivares 'BRS Guariba' e 'BRS Marataoã' foram encontradas com lâminas de 40% da ETo, o que pode denotar maior tolerância ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Déficit hídrico, rendimento, variáveis fisiológicas, *Vigna unguiculata*

Physiologic parameters and yield components of cowpea grown under water deficit

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate gas exchange and this yield components of cowpea cultivars under different levels of water stress in the semiarid Paraíba. The experimental design was randomized blocks factorial 3 x 4, with three replications. In the factor A allocated to the three varieties of cowpea BRS Guariba, BR17 Gurguéia and BRS Marataoã and the B four irrigation levels established in terms of fractions of the reference evapotranspiration (40, 60, 80 and 100% of ETo) and three replicates. Gas exchanges were determined from measurements of internal CO₂ concentration, transpiration, stomatal conductance, photosynthetic rate, instantaneous efficiency of water use and instantaneous carboxylation efficiency. As for yield components was evaluated mass of pods, number of seeds per pod, weight of 100 grains and grain yield. The cowpea cultivar 'BRS Guariba', regardless of irrigation, has better performance of gas exchange with a positive impact on production components. The highest rates of physiological cultivars 'BRS Guariba' and 'BRS Marataoã' blades were found with 40% of ETo, which may reflect more tolerance to drought.

Key words: Drought stress, yield, physiological variables, *Vigna unguiculata*

Introdução

O feijão-caupi, feijão de corda ou feijão macassar (*Vigna unguiculata*) é uma das culturas de grande importância para a população brasileira, uma vez que é um dos alimentos básicos presente na dieta, especialmente dos habitantes das regiões Norte e Nordeste, e também de países africanos e asiáticos (Teófilo et al., 2008). No Brasil, seu cultivo concentra-se nas regiões Norte (55,8 mil ha) e Nordeste (1,2 milhão ha), sendo os maiores produtores os estados do Piauí, Ceará e Bahia (Teixeira et al., 2010).

Embora o feijão-caupi seja considerado uma cultura tropical com ampla adaptação aos mais diversos ambientes, seu rendimento ainda é considerado baixo (400 kg ha^{-1}) e dentre as principais causas para essa pequena produtividade, é apontada as condições de cultivo, sem adoção de tecnologia associada ao uso de cultivares tradicionais com baixo potencial produtivo (Cardoso & Ribeiro, 2006; Saboya et al., 2013). Nesse sentido, Oliveira et al. (2011) salientam que para elevar a produtividade da cultura, diminuir os custos de produção e elevar a renda do produtor, é necessário adotar o uso de cultivares com alto índice produtivo e adequado manejo da irrigação e adubação.

A disponibilidade de água é um dos fatores ambientais que mais influenciam a produtividade vegetal, principalmente em regiões semiáridas (Souza et al., 2004; Bastos et al., 2012). A ocorrência de déficit hídrico provoca diminuição da produtividade justamente por reduzir e inviabilizar o processo fotossintético, uma vez que a água, componente básico da reação, também é responsável pela manutenção da transpiração e da condutância estomática, essencial para a permeabilidade do gás carbônico no mesófilo foliar (Buchanan et al., 2000). Em estudos com plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica, têm-se denotado reduções no potencial hídrico foliar, condutância estomática e transpiração, com aumento na resistência difusiva ao vapor de água, mediante o fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, o suprimento de CO_2 para a fotossíntese (Souza et al., 2004; Silva et al., 2010). Acrescente-se, que os estômatos atuam como moduladores da perda de água pela transpiração, respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro a uma faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar (Larcher, 2006).

Para a região semiárida fato marcante é a distribuição irregular das chuvas, implicando, na maioria das vezes, na inviabilidade da exploração agrícola, sendo, para isso, necessário obter cultivares de feijão-caupi cada vez mais tolerantes à deficiência hídrica (Silva et al., 2010). Nessa conjectura, o entendimento das trocas gasosas nas plantas com estresse hídrico adversos é parte fundamental para o desenvolvimento de cultivares tolerantes, além de ser uma ferramenta que determine a possível adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas (Ferraz et al., 2012). Assim, alterações na atividade fotossintética devido a fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo, como deficiência hídrica, pode provocar redução no crescimento e na produção das plantas (Paiva et al., 2005).

Contudo, a diversidade genotípica de feijão-caupi para as respostas fisiológicas ao estresse hídrico pode ajudar a

compreender como um ou uma combinação de processos fisiológicos interage uns com os outros para gerenciar o déficit hídrico (Singh & Reddy, 2011), podendo melhorar o desempenho agrônomico de cultivares a determinados ambientes. Estudos do comportamento fisiológico de plantas ao estresse hídrico devem ser associados a pesquisas que buscam genótipos com altos índices de produtividade e estabilidade produtiva, pois quando se conhecem as respostas fisiológicas das plantas, à variação dos fatores abióticos, é possível desenvolver cultivares mais aptas às condições de déficit hídrico (Bastos et al., 2012).

Embora existam diversos estudos sobre o cultivo de feijão-caupi (Silva et al., 2010; Singh & Reddy, 2011; Bastos et al., 2012) e diferentes cultivares com resistência à pragas, altamente produtivas e com elevada resposta à irrigação, são poucas as informações disponíveis em relação aos parâmetros fisiológicos na seleção de cultivares aptos a cultivos no semiárido brasileiro. Nesse sentido, objetivou-se, com este trabalho, avaliar as trocas gasosas e componentes de produção de cultivares de feijão-caupi submetidas a diferentes níveis de deficiência hídrica no semiárido paraibano.

Material e Métodos

Este trabalho foi realizado na área experimental do Setor de Fruticultura e Ecofisiologia Vegetal pertencente ao Campus IV da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado no município de Catolé do Rocha, PB, ($6^\circ 21' \text{ S}$ e $37^\circ 48' \text{ W}$, a 250 m de altitude). O clima da região é do tipo BSw'h', segundo classificação de Köppen, caracterizando-se por ser semiárido quente, com duas estações distintas, uma chuvosa com precipitação irregular e outra sem precipitação. A precipitação média anual é de 870 mm, temperatura média de 27° C com período chuvoso concentrado entre fevereiro e abril.

Durante a condução do experimento, foi coletado, próximo à área experimental, na estação agrometeorológica localizada no Campus IV, os dados climáticos referentes à radiação solar (MJ dia^{-1}), temperatura máxima e mínima do ar ($^\circ \text{ C}$) e umidade relativa do ar (%) (Figura 1).

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico com textura arenosa (Santos et al., 2006), registrando-se os seguintes dados nas análises físico-químicas, em amostras coletadas no local: $\text{pH} (\text{H}_2\text{O}) = 6,84$; $\text{P} = 49 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 5,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Na} = 0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H} + \text{Al} = 1,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{M.O.} = 8,4 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{Areia} = 773,7 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Silte} = 68,3 \text{ g kg}^{-1}$; e $\text{Argila} = 158 \text{ g kg}^{-1}$.

O estudo foi realizado no período de estiagem, entre julho e setembro de 2012, utilizando-se delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3×4 , com três repetições. Os tratamentos foram constituídos das cultivares de feijão-caupi BRS Guariba; BR17 Gurguéia; e BRS Marataoã, cedidas pela Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, e quatro manejos da água de irrigação estabelecidos em função de frações da evapotranspiração de referência (40, 60, 80 e 100% da ETo). As unidades experimentais foram constituídas de uma caixa de zinco nas dimensões de $1,20 \times 1,20 \times 1,0 \text{ m}$, contendo 8 plantas úteis por caixa, totalizando 288 plantas experimentais em uma área total de 300 m^2 .

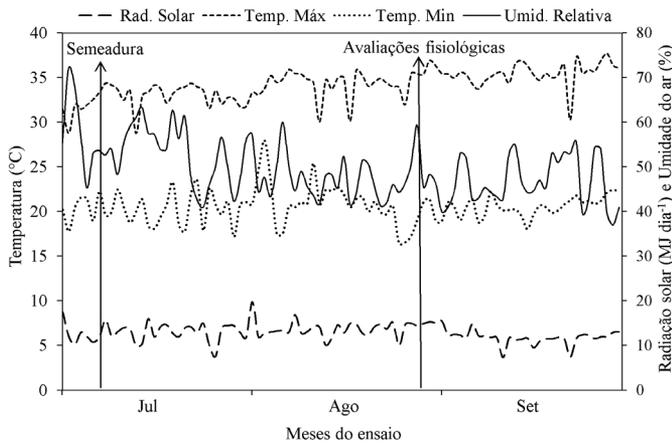


Figura 1. Variáveis climáticas registradas durante os meses de condução do experimento

A sementeira das cultivares foi realizada manualmente, em 07/07/2012, distribuindo-se três sementes por cova no espaçamento de 0,50 x 0,20 m. Aos 15 dias após sementeira (DAS) realizou-se o desbaste, deixando-se cinco plantas por metro linear. A adubação baseou-se nos resultados da análise química do solo, constituindo-se da aplicação no plantio de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 20 kg ha⁻¹ de N aplicado em cobertura 20 dias após sementeira. Os tratamentos culturais foram realizados quando necessário para manter a área livre de plantas daninhas, doenças e insetos-pragas, oferecendo condições favoráveis de desenvolvimento da cultura.

Em relação à irrigação, adotou-se o método localizado, por gotejamento, para efetuar a reposição hídrica dos tratamentos, com emissores espaçados a cada 0,20 m e vazão de 2,4 L h⁻¹. O manejo dos níveis de reposição hídrica foi realizado com base no monitoramento climático e a ETo estimada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), utilizando-se o Kc proposto por Doorenbos & Kassan (1979). Os dados climatológicos, para determinação da ETo, foram obtidos em estação agrometeorológica automática, instalada próxima à área experimental. Ao obter o valor da ETo diária, pôde-se estimar o cálculo da lâmina bruta de irrigação (mm dia⁻¹), a intensidade de aplicação de água (mm h⁻¹) e o tempo de irrigação (h) de cada lâmina, conforme metodologia proposta por Mantovani et al. (2006).

Aos 48 DAS, efetuou-se aferições das trocas gasosas a partir da mensuração da taxa de concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs) e fotossíntese líquida (A). Com esses dados, pode-se quantificar, também, a eficiência instantânea de uso da água (EiUA) (A E⁻¹) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (A Ci⁻¹). Nessas avaliações, utilizou-se o analisador de gás infravermelho (IRGA, ADC System) com fluxo de ar de 300 mL min⁻¹ e fonte de luz de 995 μmol m⁻² s⁻¹, no qual as leituras foram realizadas entre 8 e 10 horas, no estádio R5, entre a pré-floração e a formação de vagens, na terceira folha totalmente expandida, contada a partir do ápice da planta. Avaliou-se, também, ao término do experimento (70 DAS), após o procedimento de colheita, os seguintes componentes de produção: massa de vagens (MVP) (g planta⁻¹), número de grãos por vagens (NGV), massa de 100 grãos (M100G) (g) e produtividade de grãos (PROD) (kg ha⁻¹).

Os dados das variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F, com os modelos de regressão ajustados de acordo com o coeficiente de determinação e as cultivares submetidas ao teste de Tukey (Storck et al., 2011), empregando-se, para as análises, o *Software* SAEG 9.1 (Ribeiro Júnior, 2001). Todos os testes foram efetuados a p ≤ 0,05.

Resultados e Discussão

Na aplicação das lâminas de irrigação com baixa disponibilidade hídrica, verificou-se diferenças significativas para as variáveis: transpiração (E), condutância estomática (gs), fotossíntese (A), eficiência instantânea de carboxilação (EiC), massa de vagens (MVP), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade de grãos (PROD). Também constatou-se diferença entre as cultivares de feijão-caupi para todas as variáveis analisadas, exceto a eficiência instantânea de uso da água (EiUA). Todavia, ao analisar os fatores em estudo (lâminas e cultivares), que variaram de modo independente entre si, percebe-se efeito de significância entre as interações na concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), eficiência instantânea de uso da água (EiUA) e massa de 100 grãos (M100G) (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo das análises de variância para as variáveis fisiológicas e produtivas de cultivares de feijão-caupi submetidos a lâminas com déficit hídrico¹

| F.V. | G.L. | Teste F | | | | |
|-----------------------------------|------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Ci | gs | E | A | EiUA |
| Lâmina (La) | 3 | 0,879 ^{ns} | 6,263 ^{**} | 3,975 [*] | 7,045 ^{**} | 1,632 ^{ns} |
| Linear | 1 | 0,004 ^{ns} | 9,071 ^{**} | 7,454 [*] | 17,440 ^{**} | 3,171 ^{ns} |
| Quadrática | 1 | 0,136 ^{ns} | 8,161 ^{**} | 0,326 ^{ns} | 3,303 ^{ns} | 1,465 ^{ns} |
| Cúbica | 1 | 2,496 ^{ns} | 1,558 ^{ns} | 4,145 ^{ns} | 0,393 ^{ns} | 0,260 ^{ns} |
| Cultivar (Cul) | 2 | 13,806 ^{**} | 13,933 ^{**} | 15,664 ^{**} | 28,339 ^{**} | 2,708 ^{ns} |
| Inter. La x Cul | 6 | 5,895 ^{**} | 2,474 ^{ns} | 3,751 ^{**} | 1,893 ^{ns} | 3,149 [*] |
| Bloco | 2 | 14,978 ^{**} | 0,239 ^{ns} | 2,557 ^{ns} | 3,236 ^{ns} | 0,665 ^{ns} |
| Resíduo | 22 | - | - | - | - | - |
| C.V. (%) | | 3,85 | 12,60 | 6,60 | 7,35 | 9,32 |
| Médias das cultivares | | | | | | |
| BRS Guariba (Cul ₁) | | 236,95 b | 0,461 a | 3,53 a | 20,82 a | 5,986 a |
| BR17 Gurguéia (Cul ₂) | | 253,18 a | 0,379 b | 3,08 b | 17,43 b | 5,777 a |
| BRS Marataoã (Cul ₃) | | 256,02 a | 0,357 b | 3,13 b | 17,03 b | 5,479 a |
| DMS | | 9,83 | 0,052 | 0,22 | 1,39 | 0,549 |
| Teste F | | | | | | |
| | | EiC | MVP | NGV | M100G | PROD |
| Lâmina (La) | 3 | 5,249 ^{**} | 119,003 ^{**} | 7,068 ^{**} | 2,053 ^{ns} | 58,783 ^{**} |
| Linear | 1 | 12,421 ^{**} | 349,658 ^{**} | 19,606 ^{**} | 1,186 ^{ns} | 174,538 ^{**} |
| Quadrática | 1 | 1,921 ^{ns} | 7,029 [*] | 0,023 ^{ns} | 4,127 ^{ns} | 0,029 ^{ns} |
| Cúbica | 1 | 1,406 ^{ns} | 0,321 ^{ns} | 1,576 ^{ns} | 0,847 ^{ns} | 1,781 ^{ns} |
| Cultivar (Cul) | 2 | 46,665 ^{**} | 15,399 ^{**} | 34,162 ^{**} | 431,556 ^{**} | 14,139 ^{**} |
| Inter. La x Cul | 6 | 1,505 ^{ns} | 2,203 ^{ns} | 1,272 ^{ns} | 2,822 [*] | 1,197 ^{ns} |
| Bloco | 2 | 9,874 ^{**} | 1,001 ^{ns} | 0,540 ^{ns} | 2,411 ^{ns} | 4,90 [*] |
| Resíduo | 22 | - | - | - | - | - |
| C.V. (%) | | 8,32 | 4,96 | 6,67 | 3,61 | 8,45 |
| Médias das cultivares | | | | | | |
| BRS Guariba (Cul ₁) | | 0,0896 a | 17,181 a | 10,10 c | 20,00 a | 1282,10 b |
| BR17 Gurguéia (Cul ₂) | | 0,0693 b | 15,545 b | 12,65 a | 12,95 c | 1200,12 b |
| BRS Marataoã (Cul ₃) | | 0,0672 b | 17,147 a | 11,30 b | 18,50 b | 1436,06 a |
| DMS | | 0,0064 | 0,846 | 0,77 | 0,635 | 113,18 |

¹ F.V. - Fontes de variação; G.L. - Graus de liberdade; Inter. - Interação; C.V. - Coeficiente de variação; Ci - Concentração interna de CO₂ (μmol mol⁻¹); gs - Condutância estomática (mol m⁻² s⁻¹); E - Transpiração (mmol m⁻² s⁻¹); A - Fotossíntese (μmol m⁻² s⁻¹); EiUA - Eficiência instantânea de uso da água (mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O); EiC - Eficiência instantânea de carboxilação (mol m⁻² s⁻¹); MVP - Massa de vagens (g planta⁻¹); NGV - Número de grãos por vagem; M100G - Massa de 100 grãos; PROD - Produtividade de grãos (kg ha⁻¹). **, * - Significativo a 1 e 5%, respectivamente; ^{ns} - Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Silva et al. (2010) ao acompanhar o curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi sob deficiência hídrica, os quais constataram efeito significativo das lâminas de irrigação sobre os aspectos fisiológicos, encontrando, com reposição de 25% da água perdida por evapotranspiração, reduções nas taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração.

Na concentração interna de CO_2 (C_i), houve interação significativa entre os fatores estudados com maior acúmulo de gás ($268,8 \mu\text{mol mol}^{-1}$) observado nas plantas de feijão-caupi 'BR17 Gurguéia' cultivadas com lâminas de maior estresse (40% da ETo) (Figura 2A). Por outro lado, nota-se pequena variação nas taxas de C_i com o aumento na disponibilidade hídrica no solo ao aplicar lâminas de água de 40 a 100% da

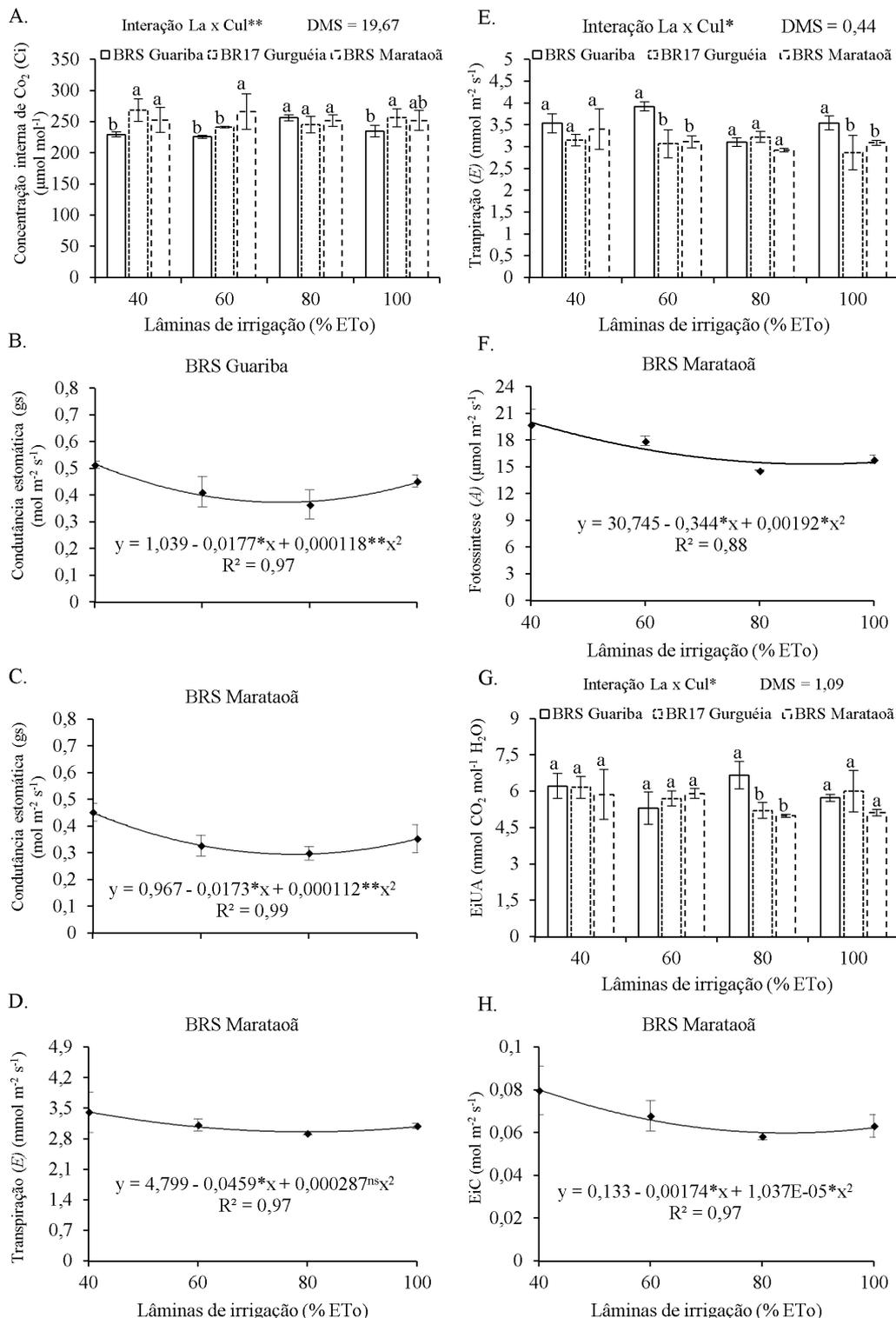


Figura 2. Concentração interna de CO_2 (C_i) na interação La x Cul (A), condutância estomática (gs) das cultivares 'BRS Guariba' (B) e 'BRS Marataoã' (C), transpiração (E) da cultivar 'BRS Marataoã' (D) e interação La x Cul (E), fotossíntese (A) (F) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) da cultivar 'BRS Marataoã' (H) e eficiência instantânea de uso da água (EiUA) na interação La x Cul (G) em cultivo sob reposição de diferentes regimes hídricos

ETo, sendo que estes resultados podem estar relacionados ao fato do feijão-caupi possuir maior tolerância à déficits hídricos. Ressalta-se que o acúmulo de Ci no mesófilo foliar está associado diretamente com o fechamento dos estômatos e a redução na assimilação de CO₂ (Paiva et al., 2005). Nesse sentido, os resultados obtidos podem estar atrelados ao comportamento da condutância estomática e a assimilação de dióxido de carbono ou fotossíntese líquida.

Destaque-se que a baixa variabilidade ocorrida nos valores de Ci pode ser indicativos de que as lâminas de irrigação com déficit (40, 60 e 80% da ETo) foram suficientes para garantir um status hídrico a nível celular comparáveis as lâminas sem estresse hídrico (100% da ETo), fato que, possivelmente, se deve aos níveis de irrigação proporcionarem a manutenção do potencial hídrico foliar e, por consequência, da turgescência das células guardas dos estômatos, haja vista os danos provocados pelo estresse hídrico que podem variar conforme sua intensidade (Lima et al., 2010).

As taxas de Ci encontradas foram semelhantes aos valores informados por Silva et al. (2010) ao submeterem plantas de feijão-caupi à reposição hídrica de 100 e 50% da água evapotranspirada não apresentando lesões no processo fotossintético, mas obtiveram taxas de dióxido de carbono superiores (382 μmol mol⁻¹) aos encontrados neste trabalho às 10 h da manhã quando repôs lâminas com 25% da água perdida por evapotranspiração.

Quanto à condutância estomática (gs), reduções de 27 e 34% com valores críticos de 0,375 e 0,298 mol m⁻² s⁻¹ foram estimados com a reposição hídrica de 75 e 77,2% da ETo nas cultivares 'BRS Guariba' e 'BRS Marataoã', respectivamente. Essas reduções foram obtidas em relação aos maiores valores de condutância (0,514 e 0,452 mol m⁻² s⁻¹) encontrados na menor lâmina de irrigação (40% ETo). Do ponto de menor gs obtido na curva de ajuste das cultivares 'BRS Guariba' e 'BRS Marataoã', constataram-se incrementos de 17,2 e 15,3% na gs, com o aumento na reposição das lâminas, em relação aos valores obtidos com 100% da ETo (0,453 e 0,352 mol m⁻² s⁻¹) (Figura 2B e 2C).

A observação da atividade estomática é fundamental no entendimento dos processos fisiológicos, a qual é o principal meio de trocas gasosas entre a atmosfera e o interior da maquinaria fotossintética (Singh & Reddy, 2011), já que a gs é responsável por quase todas as atividades dos fatores internos e externos da planta quando ligados ao déficit hídrico, por consistir em um fator integrativo ao efeito global do estresse hídrico sobre os parâmetros fisiológicos (Medrano et al., 2002). Silva et al. (2010) registraram resultados superiores (0,611 e 0,635 mol m⁻² s⁻¹) aos mencionados, ao irrigar plantas de feijão-caupi com 100 e 50% da água evapotranspirada, respectivamente, o que se justifica pela realização das leituras no período de 8 h da manhã, notadamente, ocorrendo reduções a partir desse ponto. Ressalta-se que a redução da condutância estomática induz a menor transpiração e, por consequência, menor perda de água, resultando em maior tolerância das plantas a estresses abióticos. Paiva et al. (2005) destacam que a gs por ter função de regular as trocas gasosas, possui grande afinidade com o processo fotossintético, participando diretamente no crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

A taxa de transpiração (*E*) na cultivar 'BRS Marataoã', ajustou-se ao modelo quadrático com menor valor de 2,96 mmol m⁻² s⁻¹ ao repor lâmina estimada de 80% da ETo, registrando redução de 13% no valor de *E* comparado a maior taxa (3,41 mmol m⁻² s⁻¹) encontrada com 40% da ETo (Figura 2D). Constatou-se, ao analisar a transpiração, interação significativa entre os fatores lâminas de irrigação e cultivares, onde vê-se maiores taxas transpiratórias na cultivar 'BRS Guariba', principalmente na reposição hídrica de 60% da ETo (Figura 2E). Esse resultado é um indicativo de que esta cultivar tolerou o estresse induzido pelas menores lâminas, fato justificado pela ocorrência de altas taxas de transpiração seguindo de pequenas concentrações de CO₂ verificadas nas menores lâminas (Figura 2A).

Valores de *E* superiores aos descritos (7,78 e 7,40 mmol m⁻² s⁻¹) foram apresentados por Silva et al. (2010) realizando leituras entre 10 e 12 h em plantas de feijão-caupi irrigadas com 100 e 50% da água perdida por evapotranspiração, porém quando se aplicou lâminas de 25%, estes autores encontraram taxas de transpiração inferiores a 1,03 mmol m⁻² s⁻¹, divergindo do comportamento dos valores de *E*, observado neste trabalho, com reposição de menores lâminas. Situação oposta também foi verificada nos resultados apresentados por Souza et al. (2004) ao perceberem redução nesse parâmetro em plantas submetidas ao déficit hídrico.

Em relação à taxa de fotossíntese líquida (*A*), o aumento na reposição das lâminas de água proporcionou ajuste polinomial quadrático nessa variável, com decréscimo nos valores de *A* na cultivar 'BRS Marataoã' chegando a ter 22,3% de redução no ponto crítico de 15,337 μmol m⁻² s⁻¹, obtido com lâmina estimada de 90% da ETo, ao relacionar com o maior valor de fotossíntese (19,751 μmol m⁻² s⁻¹) apresentado na menor lâmina (Figura 2F).

A inibição da fotossíntese induzida pelo estresse hídrico pode ser devida à limitação estomática, como verificado por Silva et al. (2010) em feijão-caupi, porém no presente trabalho a gs nas plantas com limitação hídrica (40% da ETo) apresentou valores superiores às observadas em plantas submetidas aos tratamentos com estresse hídrico moderado (60 e 80% da ETo) e sem estresse (100% da ETo), ocorrendo comportamento semelhante nos valores observados em *A*. Pode-se inferir, portanto, que as plantas com maior estresse mostraram maior atividade estomática e, conseqüentemente, maior proporção nas trocas gasosas; por outro lado, as plantas sem limitação hídrica permaneceram com os estômatos parcialmente fechados, embora com disponibilidade de água no solo, decidindo por manter ou reduzir a proporção de fotossíntese líquida.

Pode-se verificar que, para a variável eficiência instantânea de uso da água (EiUA), houve interação significativa entre as lâminas (La) e as cultivares (Cul) com maior e menor valor (6,67 e 5 mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O) obtidos nas cultivares 'BRS Guariba' e 'BRS Marataoã' com reposição hídrica de 80% da ETo (Figura 2G). Para Jaimez et al. (2005) a EiUA representa a relação entre fotossíntese e transpiração, onde os valores observados relacionam a quantidade de molécula de CO₂ fixado pela planta por cada molécula de H₂O perdida (Ferraz et al., 2012). Nesse sentido, a menor taxa de EiUA observada pode ser reflexo dos aumentos nas taxas de assimilação de

CO₂ e transpiração, além de ter forte relação com aumento na radiação solar e temperatura do ar, assim como na redução na umidade relativa do ar (Ferraz et al., 2012), já que as trocas gasosas são influenciadas pelas condições climáticas.

Com relação à eficiência instantânea de carboxilação (EiC), nota-se na cultivar 'BRS Marataoã' comportamento polinomial com redução suave de 25% na taxa de EiC com acréscimo das lâminas de água até o ponto crítico de 0,0595 mol m⁻² s⁻¹ encontrado na estimativa da lâmina de 84,5% da ETo quando comparado com o maior valor de 0,0797 mol m⁻² s⁻¹ obtido na lâmina de maior estresse (Figura 2H). Destaque-se que a EiC possui estreita relação com a concentração interna de CO₂ (Ci) e taxa de assimilação de CO₂. Neste sentido, os valores verificados na eficiência instantânea de carboxilação, no presente trabalho, devem-se, sobretudo, ao comportamento da concentração interna de dióxido de carbono e aos ganhos na taxa de assimilação de CO₂, além das variações ocorridas nas variáveis climáticas registradas no dia em que foram realizadas

as avaliações (Ferraz et al., 2012).

A componente produtiva massa de vagens por planta (MVP) foi influenciada significativamente pela reposição das lâminas de água nas cultivares de feijão-caupi estudadas (Tabela 1). Evidenciou-se nas cultivares 'BRS Guariba', 'BR17 Gurguéia' e 'BRS Marataoã' comportamento linear crescente da MVP à medida que se incrementou o nível de água aplicado, constatando acréscimos de 35, 33 e 32% na maior lâmina (100% da ETo) em relação à menor (40% da ETo), respectivamente (Figura 3A, 3B e 3C). Ao comparar as médias das cultivares, nota-se maior desempenho da 'BRS Guariba', mesmo não diferindo estatisticamente da 'BRS Marataoã', o que pode ser justificado pelo fato dessa cultivar apresentar maiores taxas de trocas gasosas (gs, E e A) (Tabela 1).

Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2011) ao analisar respostas de feijão-caupi à lâminas de irrigação no cerrado de Roraima, onde a massa de vagens apresentou efeito linear para os níveis de água aplicado,

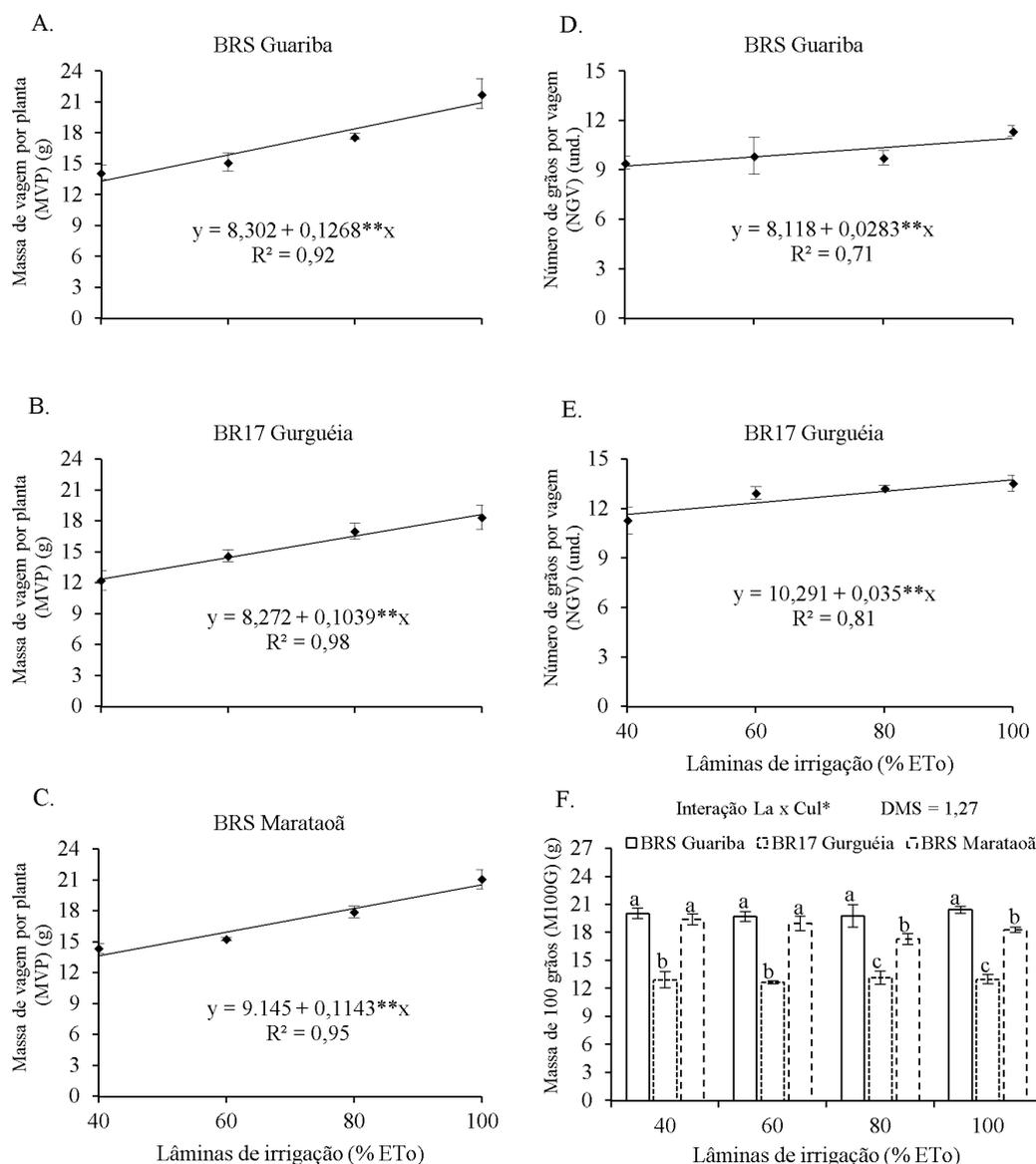


Figura 3. Massa de vagens por planta (MVP) das cultivares de feijão-caupi 'BRS Guariba' (A), 'BR17 Gurguéia' (B) e 'BRS Marataoã' (C), número de grãos por vagem (NGV) das cultivares 'BRS Guariba' (D) e 'BR17 Gurguéia' (E) e massa de 100 grãos (M100G) na interação lâmina (La) x cultivar (Cul) (F) em cultivo sob reposição de diferentes regimes hídricos

obtendo valor máximo de 16 g planta⁻¹ com lâmina de 280 mm ciclo⁻¹, sendo inferiores aos encontrados com maior lâmina.

O número de grãos por vagem (NGV) é uma variável importante para a seleção de cultivares, uma vez que isso possui relação direta com a produtividade de grãos. Nesse sentido, analisando-se o NGV frente a crescentes níveis de reposição hídrica, observou-se ajuste linear crescente no número de grãos por vagem nas cultivares ‘BRS Guariba’ e ‘BR17 Gurguéia’, com incrementos de 17 e 16,6%, respectivamente (Figura 3D e 3E). Ao se comparar as cultivares entre si, verificou-se maior expressividade de NGV na ‘BR17 Gurguéia’ com média de 12,65 grãos (Tabela 1). Por outro lado, a ‘BRS Guariba’ obteve menor número de grãos (10,10 grãos), possivelmente devido a seu maior tamanho, levando a crer que no interior de uma vagem os grãos de feijão-caupi ‘BRS Guariba’ ocupam mais espaço quando confronta com os grãos da ‘BR17 Gurguéia’, os quais são de pequeno tamanho.

Tagliaferre et al. (2013) encontraram resultados similares (12 grãos vagem⁻¹) ao analisarem plantas de feijão-caupi em função de lâminas de irrigação. No mesmo contexto, Andradre Júnior et al. (2002) e Teixeira et al. (2010) estudando diversas cultivares de feijão-caupi, evidenciaram maior desempenho de 15,7 e 14 grãos em vagens colhidas na cultivar ‘BR17 Gurguéia’, confirmando a performance dos valores obtidos nesse trabalho com essa cultivar.

Para massa de 100 grãos (M100G), notou-se interação entre os fatores estudados, lâminas e cultivares, com maiores valores obtidos na cultivar ‘BRS Guariba’ independente da reposição hídrica, e menores foram registrados pela ‘BR17 Gurguéia’ (Figura 3F). Destaque-se que esses resultados possuem relação direta com o tamanho dos grãos, o que pode influenciar significativamente no peso singular de cada grão. Resultados semelhantes foram apresentados por Teixeira et al. (2010) evidenciando massas de 100 grãos de 19, 13 e 17 g para as cultivares ‘BRS Guariba’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’, respectivamente. Andradre Júnior et al. (2002) encontraram valor médio de 12,6 g para M100G ao trabalhar com a cultivar ‘BR17 Gurguéia’, corroborando com as informações descritas.

A produtividade de grãos (PROD) aumentou linearmente nas cultivares analisadas ‘BRS Guariba’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ com o acréscimo na quantidade de água reposta, constatando-se maiores rendimento (1.708,5; 1.530,9 e 1.699,1 kg ha⁻¹) na reposição de 100% da ETo que evidenciou incrementos de 44,5, 46,5 e 32,3% na produção de grãos, respectivamente, em relação aos rendimentos (948,5; 818,6 e 1.149,5 kg ha⁻¹) obtidos nas plantas irrigadas com 40% da ETo (Figura 4A, 4B e 4C). Vê-se entre as cultivares, que o maior desempenho produtivo (1.436,06 kg ha⁻¹) foi observado na ‘BRS Marataoã’ (Tabela 1).

Os rendimentos encontrados foram superiores à média nacional de 400 kg ha⁻¹ (Saboya et al., 2013) e similares aos registrados por Benvindo et al. (2010) nas cultivares ‘BR17 Gurguéia’ (1.294,8 kg ha⁻¹) e ‘BRS Marataoã’ (1.311,3 kg ha⁻¹). Por outro lado, valores médios superiores foram constatados por Andradre Júnior et al. (2002) na cultivar ‘BR17 Gurguéia’ (2.809 kg ha⁻¹) submetida a diferentes lâminas de irrigação; e Teixeira et al. (2010) com ‘BRS Guariba’ (2.221 kg ha⁻¹), ‘BR17 Gurguéia’ (2.196 kg ha⁻¹) e ‘BRS Marataoã’ (1.392 kg ha⁻¹).

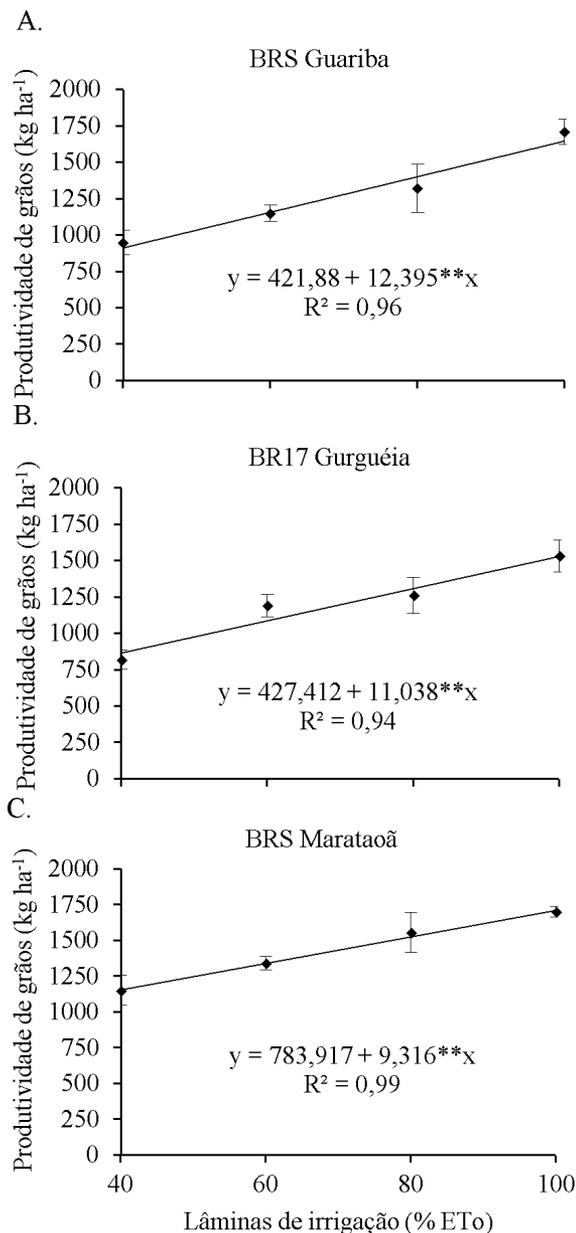


Figura 4. Produtividade de grãos (PROD) das cultivares de feijão-caupi ‘BRS Guariba’ (A), ‘BR17 Gurguéia’ (B) e ‘BRS Marataoã’ (C) em cultivo sob reposição de diferentes regimes hídricos

Ressalte-se que o uso da irrigação realizada principalmente nas fases de florescimento e enchimento dos grãos de feijão-caupi associado ao emprego de genótipos mais produtivos, contribui para o acréscimo na produtividade (Teixeira et al., 2010) e as diferenças observadas nos trabalhos descritos podem ser devidas à diversidade das condições edafoclimáticas dos locais onde os estudos foram conduzidos.

Conclusões

A cultivar de feijão-caupi ‘BRS Guariba’, independentemente das lâminas de irrigação, possui melhor desempenho de trocas gasosas com reflexo nos componentes produtivos.

As maiores taxas fisiológicas das cultivares ‘BRS Guariba’ e ‘BRS Marataoã’ foram encontradas com lâminas de 40% da ETo, o que pode denotar maior tolerância ao déficit hídrico.

Os componentes de produção das cultivares de feijão-caupi estudadas foram melhor expressas com lâminas de 100% da ETo.

Estresse hídrico provoca reduções na massa de vagem e produtividade da cultivar 'BR17 Gurguéia'.

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) pelo suporte financeiro dado a esta pesquisa.

Literatura Citada

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage, Paper 56)
- Andrade Júnior, A. S.; Rodrigues, B. H. N.; Frizzone, J. A.; Cardoso, M. J.; Bastos, E. A.; Melo, F. B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.17-20, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000100004>>.
- Bastos, E. A.; Ramos, H. M. M.; Andrade Júnior, A. S.; Nascimento, F. N.; Cardoso, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. *Water Resources and Irrigation Management*, v.1, n.1, p.31-37, 2012. <http://www.ufrb.edu.br/wrim/images/wrim-1-1-2012/WRIM.pdf_P31-37.pdf>. 21 Fev. 2013.
- Benvindo, R. N.; Silva, J. A. L.; Freire Filho, F. R.; Almeida, A. L. G.; Oliveira, J. T. S.; Bezerra, A. A. C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. *Comunicata Scientiae*, v.1, n.1, p.23-28, 2010. <<http://comunicata.ufpi.br/index.php/comunicata/article/view/5/18>>. 05 Set. 2013.
- 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 agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. *Revista Ciência Agrônômica*, v.37, n.1, p.102-105, 2006. <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/223/218>>. 21 Fev. 2013.
- Doorenbos, J.; Kassan, A. H. *Efectos del agua en rendimiento de los cultivos*. Roma: FAO, 1979. 212p. (Boletim Riego y Drenaje, 33).
- Ferraz, R. L. S.; Melo, A. S.; Suassuna, J. F.; Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Nunes Júnior, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, n.2, p.181-188, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200010>>.
- Jaimez, R. E.; Rada, F.; Garcia-Núñez, C.; Azócar, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. *Scientia Horticulturae*, v.104, n.1, p.79-89, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2004.07.002>>.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2006. 550p.
- Lima, M. A.; Bezerra, M. A.; Gomes Filho, E.; Pinto, C. M.; Enéas Filho, J. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. *Revista Ciência Agrônômica*, v.41, n.4, p.654-663, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000400020>>.
- Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. *Irrigação: princípios e métodos*. Viçosa: Editora UFV, 2006. 318p.
- Medrano, H.; Escalona, J. M.; Bota, J.; Gulias, J.; Flexas, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, v.89, n.7, p.895-905, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcf079>>.
- Oliveira, G. A.; Araújo, W. F.; Cruz, P. L. S.; Silva, W. L. M.; Ferreira, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. *Revista Ciência Agrônômica*, v.42, n.4, p.872-882, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400008>>.
- Paiva, A. S.; Fernandes, E. J.; Rodrigues, T. J. D.; Turco, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetidos a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.1, p.161-169, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100018>>.
- Ribeiro Júnior, J. I. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: Editora da UFV, 2001. 3001p.
- Saboya, R. C. C.; Borges, P. R. S.; Saboya, L. M. F.; Monteiro, F. P. R.; Souza, S. E. A.; Santos, A. F.; Santos, E. R. Response of cowpea to inoculation with nitrogen-fixing strains in Gurupi-Tocantins State. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v.4, n.1, p.40-48, 2013. <<http://revista.uft.edu.br/index.php/JBB/article/view/448/296>>. 15 Mar. 2013.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Oliveira, J. B.; Coelho, M. R.; Lumbreiras, J. F.; Cunha, T. H. J. F. (Eds.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- Silva, C. D. S.; Santos, P. A. A.; Lira, J. M. S.; Santana, M. C.; Silva Júnior, C. D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. *Revista Caatinga*, v.23, n.4, p.7-13, 2010. <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/1479/4609>>. 13 Out. 2012.
- Singh, S. K.; Reddy, K. J. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v.105, n.1, p.40-50, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001>>.
- Souza, R. P.; Machado, E. C.; Silva, J. A. B.; Lagoa, A. M. M. A.; Silveira, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, v.51, n.1, p.45-56, 2004. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00059-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00059-5)>.

- Storck, L.; Garcia, D. C.; Lopes, S. J.; Estefanel, V. Experimentação Vegetal. 3.ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2011. 200p.
- Tagliaferre, C.; Santos, T. J.; Santos, L. C.; Santos Neto, I. J.; Rocha, F. A.; Paula, A. Características agronômicas do feijão caupi inoculado em função de lâminas de irrigação e de níveis de nitrogênio. Revista Ceres, v.60, n.2, p.242-248, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000200013>>.
- Teixeira, I. R.; Silva, G. C.; Oliveira, J. P. R.; Silva, A. G.; Pelá, A. Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. Revista Ciência Agronômica, v.41, n.2, p.300-307, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000200019>>.
- Teófilo, E. M.; Dutra, S. A.; Pitimbeira, J. B.; Dias, F. T. C.; Barbosa, F. S. Potencial fisiológicos de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. Revista Ciência Agronômica, v.39, n.3, p.443-448, 2008. <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/84/79>>. 21 Fev. 2013.