

TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA EM ECÓTIPOS DE FEIJOEIRO CULTIVADOS NO SEMIÁRIDO¹

Renner Luciano de Souza Ferraz², Alberto Soares de Melo², Janivan Fernandes Suassuna³, Marcos Eric Barbosa de Brito⁴, Pedro Dantas Fernandes², Edivan da Silva Nunes Júnior⁵

ABSTRACT

GAS EXCHANGE AND PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY IN COMMON BEAN ECOTYPES GROWN IN A SEMIARID ENVIRONMENT

Common bean has a significant economic and social importance, although its yield is considered low in Brazil, due to environmental conditions and low technology level on farming. So, the use of promising cultivars may be a strategy to improve its cultivation in the Brazilian semiarid region. This study aimed to evaluate gas exchange, instantaneous water use efficiency, leaf area, biomass, leaf water content, and photosynthetic efficiency in three common bean ecotypes (Eco₁ = G2227, Eco₂ = BRA 130583 and G6490, and Eco₃ CIAT BAT = 477) cultivated in the semiarid region of the Paraíba State, Brazil. A randomized blocks design with three replications was used. The CO₂ assimilation rate, transpiration, intercellular CO₂ concentration, instantaneous carboxylation efficiency, instantaneous water use efficiency (from 9 a.m. to 10 a.m. and from 10 a.m. to 11 a.m.), leaf area, leaf area index, leaf water content, and photosynthetic efficiency were analyzed. The common bean ecotypes showed variations in the gas exchange rate and instantaneous water use efficiency along the day, under the environmental semiarid conditions of the Paraíba State. The leaf area and photosynthetic efficiency did not differ significantly in the conditions studied. The G2227 ecotype showed the best physiological responses, concerning CO₂ assimilation and carboxylation efficiency, besides presenting a smaller variation for instantaneous water use efficiency, from 9 a.m. to 11 a.m., pointing out a better adaptation level to semiarid conditions and cultivating potential.

KEY-WORDS: *Phaseolus vulgaris* L.; environmental conditions; intercellular CO₂ concentration; CO₂ assimilation rate.

INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família *Fabaceae*, está compreendido entre as

RESUMO

O feijoeiro tem expressiva importância econômico-social, embora sua produtividade seja considerada baixa no Brasil, o que decorre das condições edafoclimáticas e do baixo índice tecnológico empregado nos cultivos. Neste sentido, a utilização de cultivares promissoras pode constituir estratégia para a melhoria de seu cultivo, no semiárido brasileiro. Objetivou-se, neste estudo, avaliar trocas gasosas, eficiência instantânea no uso de água, área foliar, fitomassa, teor relativo de água nas folhas e eficiência fotossintética, em três ecótipos de feijoeiro (Eco₁ = G2227, Eco₂ = BRA 130583 CIAT G6490 e Eco₃ = BAT 477) cultivados no semiárido paraibano. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições. As variáveis analisadas foram: taxa de assimilação de CO₂, transpiração, concentração interna de CO₂, eficiência instantânea de carboxilação, eficiência instantânea no uso de água (9h às 10h e 10h às 11h), área foliar, índice de área foliar, conteúdo relativo de água na folha e eficiência fotossintética. Os ecótipos de feijoeiro expressaram variações nas trocas gasosas e na eficiência instantânea no uso de água, no decorrer do dia, sob as condições edafoclimáticas do semiárido paraibano. Já a área foliar e eficiência fotossintética não diferiram de forma significativa, nas condições estudadas. O ecótipo G2227 foi o que apresentou as melhores respostas fisiológicas, quanto à assimilação de CO₂ e eficiência na carboxilação, além de apresentar menor variação na eficiência instantânea no uso de água, das 9h às 11h, evidenciando melhor adaptação às condições do semiárido e potencialidade de cultivo.

PALAVRAS-CHAVE: *Phaseolus vulgaris* L.; condições edafoclimáticas; concentração interna de CO₂; taxa de assimilação de CO₂.

55 espécies pertencentes ao gênero *Phaseolus* L. e é cultivado em diversas partes do globo terrestre, sendo considerado uma cultura de expressiva importância econômica (Zucareli et al. 2011), além de constituir-

1. Trabalho recebido em nov./2011 e aceito para publicação em jun./2012 (nº registro: PAT 16140).

2. Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Ciências Agrárias, Campina Grande, PB, Brasil.

E-mails: ferraz340@gmail.com, alberto@uepb.edu.br, pdantas@pq.cnpq.br.

3. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia, Campina Grande, PB, Brasil. *E-mail:* jf.su@hotmail.com.

4. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, Pombal, PB, Brasil.

E-mail: mebbrito@yahoo.com.br.

5. Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Ciências Agrárias e Exatas, Catolé do Rocha, PB, Brasil.

E-mail: edivanjunior@uepb.edu.br.

-se em fonte de proteína acessível, notadamente à população de menor poder aquisitivo (Baida et al. 2011).

No Brasil, foram cultivados 4.005,4 mil hectares de feijão, na safra 2010/2011, atingindo produção média em torno de 3.767,5 mil toneladas de grãos (Conab 2012). Nesta conjectura, é importante frisar que, apesar de esta leguminosa ser cultivada em variados sistemas de produção e em diversas épocas, onde pode chegar a uma produtividade acima de 3.000 kg ha⁻¹, a média nacional é de 820 kg ha⁻¹, sendo considerada baixa. Este baixo rendimento se dá em virtude da adoção de métodos inadequados no manejo cultural, associada às características edafoclimáticas distintas de cada ecossistema (Rocha et al. 2011).

Sabe-se que uma das características marcantes no semiárido brasileiro é a má distribuição espacial e temporal de pluviosidade, o que pode acarretar distúrbios morfofisiológicos às culturas (Ferraz et al. 2011). Acrescente-se que as elevadas temperaturas intrínsecas do semiárido, aliadas ao alto índice de radiação solar e às variações na concentração de CO₂ incidente sobre as plantas, podem influenciar na conformação física dos vegetais, refletindo no seu crescimento e produção (Beltrão & Oliveira 2008).

Neste cenário, fica evidente a necessidade da realização de trabalhos de melhoramento, visando, sobretudo, à identificação de genótipos adaptados a condições edafoclimáticas distintas, para que se obtenha êxito no cultivo, incrementando, assim, a produção do feijoeiro e conferindo maior lucratividade aos produtores. Acrescente-se que os programas brasileiros para melhoramento genético de feijoeiro têm dado maior ênfase à obtenção de cultivares do grupo comercial carioca e menor ênfase ao grupo comercial preto (Lemos et al. 2004).

De acordo com Floss (2004), cerca de 90% da produção biológica das plantas ocorre em resposta à atividade fotossintética. O aumento na resistência difusiva estomática pode ocasionar diminuição na fotossíntese líquida (Amaral et al. 2006). Assim, a verificação das trocas gasosas constitui-se em importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, isto porque a redução no crescimento (e a consequente diminuição na produtividade) das plantas pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética, limitada por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (Peixoto et al. 2002, Paiva et al. 2005).

Contudo, apesar de existirem diversas publicações sobre o cultivo de feijoeiro (Paiva et al. 2005, Figueiredo et al. 2008, Afonso et al. 2011, Cunha et al. 2011), são poucas as informações disponíveis na literatura, baseadas em dados experimentais, sobre os aspectos fisiológicos na seleção de genótipos deste vegetal, cultivados no semiárido. Neste sentido, objetivou-se avaliar as trocas gasosas, eficiência instantânea no uso de água (das 9h às 10h e das 10h às 11h), área foliar, fitomassa, teor relativo de água nas folhas e eficiência fotossintética, em três ecótipos de feijoeiro cultivados a campo, no semiárido nordestino.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Setor Experimental de Ecofisiologia Vegetal da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), em Catolé do Rocha, PB (06°21'S, 37°48'W, altitude de 250 m, pluviosidade média anual de 870 mm e temperatura média de 27°C).

Durante a condução do experimento, foram coletados, na estação agrometeorológica localizada no Campus IV, próxima à área experimental, os seguintes dados climáticos: precipitação pluvial, temperatura máxima, média e mínima do ar (°C dia⁻¹), umidade relativa do ar (%) e radiação solar acumulada (MJ dia⁻¹) (Figura 1).

Foram coletadas amostras de solo da área experimental, para as análises químicas e físicas, obtendo-se os seguintes resultados: pH (H₂O) = 7,1; P(Mehlich) = 36 mg dm⁻³; K⁺(Mehlich) = 0,26 mg dm⁻³; Na⁺(Mehlich) = 0,16 cmol_c dm⁻³; Ca⁺²(KCl) = 2,8 cmol_c dm⁻³; Mg⁺²(KCl) = 0,7 cmol_c dm⁻³; Al⁺³(KCl) = 0,0 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al⁺³ = 0,49 cmol_c dm⁻³; SB (acetato de cálcio) = 3,9 cmol_c dm⁻³; CTC (digestão úmida Walkley-Black) = 4,4 cmol_c dm⁻³; V = 88%; M.O. (digestão úmida Walkley-Black) = 9,54%; PST = 3 g kg⁻¹; areia = 803 g kg⁻¹; silte = 71 g kg⁻¹; argila = 126 g kg⁻¹; densidade aparente = 1,51 g cm⁻³; densidade real = 2,83 g cm⁻³; porosidade total = 0,47 m³ m⁻³; umidade = 59 g kg⁻¹; água disponível = 61 g kg⁻¹; argila natural = 50 g kg⁻¹; grau de flocculação = 603 g kg⁻¹; classe textural = areia franca.

O experimento foi constituído por um estudo múltiplo de ecótipos de feijoeiro obtidos no programa de melhoramento genético de feijão da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás (GO). Na averiguação das trocas gasosas, utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados, com

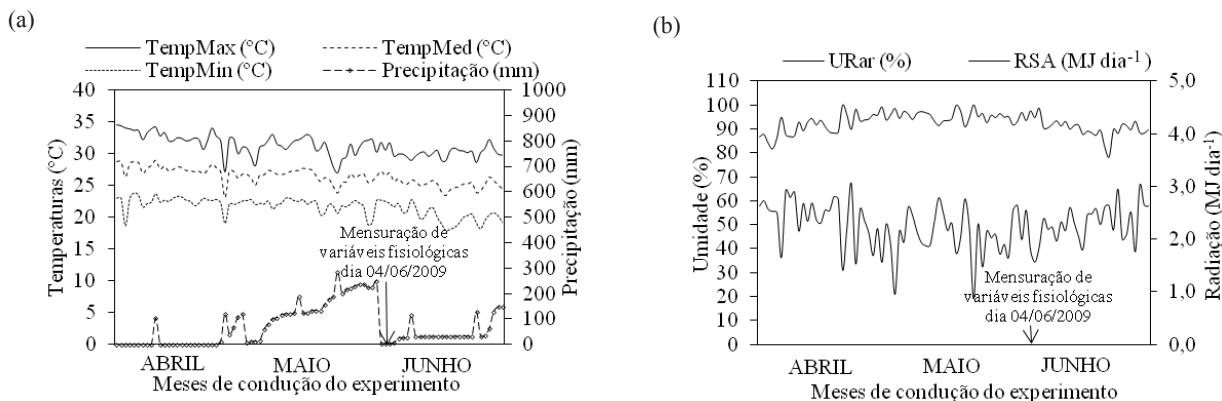


Figura 1. Precipitação pluvial e temperaturas (a), umidade relativa do ar e radiação solar (b) quantificadas durante o período de realização do experimento (Catolé do Rocha, PB, 2009).

esquema fatorial 3x2, sendo três ecótipos de feijoeiro ($Eco_1 = G2227$, $Eco_2 = BRA 130583$ CIAT G6490 e $Eco_3 = BAT 477$), dois horários de avaliação ($H_1 = 9h$ às $10h$; $H_2 = 10h$ às $11h$) e três blocos, onde a área útil foi constituída por 12 plantas, espaçadas em $0,30 m \times 0,10 m$, totalizando área total de $32,4 m^2$. Estas avaliações foram realizadas na estiagem (04/06/2009) ocorrida após um período chuvoso (Figura 1), visando-se a obter dados mais condizentes com as condições de semiárido tipificadas pela irregularidade das chuvas na região. Este período coincidiu, também, com a fase fenológica de pleno florescimento e início da formação de vagens, considerados estádios críticos ao déficit hídrico. A escolha dos horários baseou-se em observações relatadas por Oliveira et al. (2005), segundo as quais, neste período do dia, é menor a variação do ângulo de exposição das folhas aos raios solares e maior o equilíbrio térmico entre a planta e o meio, refletindo-se em abertura e fechamento estomático.

Os tratos culturais, no decorrer do experimento, consistiram em adubação de plantio com P e K e cobertura com N, de acordo com a análise de solo e recomendações para o feijoeiro (Gomes et al. 2000), controle de plantas invasoras de forma mecânica e irrigação suplementar, para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo (CC). O método de irrigação adotado foi o gotejamento, no qual foram utilizadas fitas gotejadoras com emissores de vazão de $1,49 L h^{-1}$, espaçados em $0,30 m$, configurando uma faixa molhada contínua.

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas a partir da mensuração da taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$), transpiração (E) ($mmol de$

$H_2O m^{-2} s^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i). De posse destes dados, foram quantificadas a eficiência no uso de água (EUA) (A/E) [$(\mu mol m^{-2} s^{-1}) (mmol H_2O m^{-2} s^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) (A/C_i) [$(\mu mol m^{-2} s^{-1}) (\mu mol mol^{-1})^{-1}$] (Machado et al. 2005, Melo et al. 2009). Nestas avaliações, utilizou-se o analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LCpro+Sistem. Procedeu-se às aferições das respectivas variáveis, no estádio R5, entre a pré-floração e a formação de vagens, adotando-se, como critério, a terceira folha totalmente expandida, contada a partir do ápice do ramo principal.

Avaliou-se, também, no estádio R5, a área foliar por folha (AFF cm^2), por meio da expressão apresentada em Queiroga et al. (2003), onde $AFF = 0,1026 \times Lf^{1,6871}$, em que Lf = largura do folíolo (cm). A área foliar por planta (AFP cm^2) foi quantificada mediante o somatório da área foliar de cada folha da planta. O índice de área foliar (IAF $cm^2 cm^{-2}$) foi determinado pela relação AFP/AOP, em que AFP = área foliar por planta (cm^2) e AOP = área ocupada pela planta (cm^2) (Floss 2004).

Ao término do experimento (92 dias após a emergência - 28/06/2009), foi determinada a eficiência fotossintética (EPh $g MJ^{-1}$), a qual é dada pela relação entre a fitomassa total da parte aérea ($g m^{-2} ciclo^{-1}$) e a radiação fotossinteticamente ativa ($MJ m^{-2} ciclo^{-1}$) (Floss 2004).

A fitomassa total da parte aérea foi obtida por meio da coleta do material vegetal senescente durante o experimento e o restante coletado ao final (28/06/2009). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi calculada utilizando-se os valores da ra-

dição solar global (R_s) incidente, durante o período de cultivo, corrigidos pelo fator de correção ($p = 0,5$) (Pereira et al. 2002).

Por ocasião da aferição das trocas gasosas (estádio R5), determinou-se, também, o conteúdo relativo de água na folha (CRA %), por meio da expressão proposta por Weatherley (1950): $CRA (\%) = [(Mv - Ms)/(Mt - Ms)] * 100$, em que Mv = fitomassa verde; Ms = fitomassa seca; e Mt = fitomassa túrgida.

Os dados obtidos nas avaliações dos ecótipos de feijoeiro foram submetidos a análise de variância, pelo teste F, a 5%. Para as variáveis significativas, foram realizadas comparações de médias pelo teste Tukey, a 5% (Santos et al. 2008). Para averiguação da consistência dos dados, utilizou-se o *software* estatístico SAEG (Ribeiro Júnior 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto às variações sazonais das variáveis climáticas registradas no decorrer do dia em que foram realizadas as medições das trocas gasosas (Figura 2), observa-se que a radiação solar acumulada teve aumento expressivo no decorrer do dia (Figura 2a). Foram observadas oscilações na temperatura da ordem de 1,1°C e 1,4°C, nos respectivos horários analisados (Figura 2b). A umidade relativa do ar diminuiu no decorrer do dia, sendo registrados valores médios de 97%, entre as 9h e 10h, e 94%, entre as 10h e 11h (Figura 2c). Esta redução na umidade relativa do ar se deve, notadamente, aos aumentos registrados na radiação solar acumulada e na temperatura média do ar, no decorrer do dia (Dalmago et al. 2006).

Detectou-se diferença significativa entre os tratamentos, para a variável transpiração (E) ($p < 0,01$). O mesmo pôde ser verificado entre os ecótipos, quanto à taxa de assimilação de CO_2 (A) ($p < 0,05$). Já entre os dois horários analisados, verificaram-se diferenças significativas para as variáveis (A), (E), (C_i) e (E_iC) e não houve diferença para a (A/E). Também não foi observada diferença significativa entre os ecótipos, quanto às variáveis área foliar por folhas, área foliar por planta, índice de área foliar, conteúdo relativo de água na folha e eficiência fotossintética.

Verificaram-se diferenças significativas entre as médias dos horários analisados nos três ecótipos, para a taxa de assimilação de CO_2 (A), sendo observado que, entre as 9h e 10h, as plantas realizaram menor assimilação de dióxido de carbono (7,7 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no ECO_1 , 10,7 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no ECO_2 e 9 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no ECO_3), e que, entre as 10h e 11h, houve aumento significativo na taxa de assimilação deste gás. Observaram-se, no horário das 10h às 11h, valores da ordem de 21,3 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 19,5 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 19,8 $\mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, representando incrementos de 63,9%, 45,2% e 54,6% em assimilação de CO_2 , nos respectivos ecótipos (Figura 3a).

Para Jadoski et al. (2005), o aumento na taxa de assimilação de CO_2 (A) está relacionado à maior concentração de CO_2 constatada no interior das folhas, o que pode decorrer do fechamento estomático, em resposta aos estresses abióticos. O aumento verificado na taxa de assimilação de CO_2 (A) pode estar diretamente relacionado ao incremento ocorrido na transpiração entre as 10h e 11h. Acrescente-se que o aumento na resistência da difusão gasosa pode ser fator limitante à taxa de assimilação de CO_2 (Paiva et al. 2005).

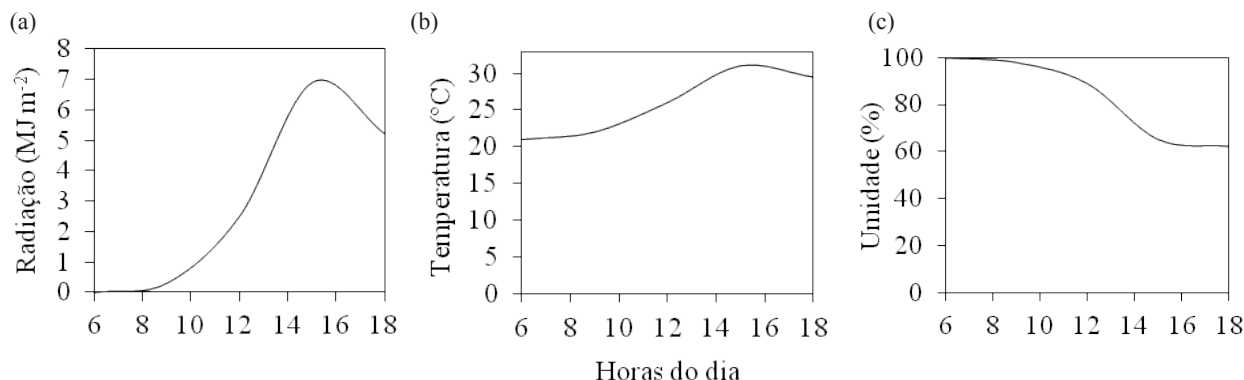


Figura 2. Radiação solar acumulada (a), temperatura média do ar (b) e umidade relativa do ar (c) registradas no dia das avaliações de trocas gasosas, em ecótipos de feijoeiro cultivados sob as condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro (Catolé do Rocha, PB, 2009).

Oliveira et al. (2005) registraram aumento nas trocas gasosas do feijoeiro, com menores valores verificados às 8h e valores máximos observados ao meio-dia. Silva et al. (2010) também constataram aumentos na taxa de assimilação de CO_2 no feijoeiro, entre as 10h e 12h. Para os últimos autores, este aumento pode ser decorrente, sobretudo, do incremento verificado na radiação fotossinteticamente ativa.

A transpiração das plantas de feijoeiro aumentou de forma substancial no horário das 10h às 11h, registrando-se, neste período, maiores valores de transpiração ($5,4 \mu\text{mol}$, $5 \mu\text{mol}$ e $4,5 \mu\text{mol}$ de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, para os ecótipos 1, 2 e 3, respectivamente). Notaram-se incrementos de 63,9%, 50,3% e 55,8%, na transpiração das plantas dos respectivos ecótipos, principalmente no horário compreendido entre as 10h e 11h, em relação ao horário das 9h às 10h (Figura 3b).

Shimazaki et al. (2007) salientaram que a perda de água pelas plantas é regulada pela atividade das células-guardas. Acrescente-se que o aumento na transpiração das plantas, no decorrer do dia, se deve, sobretudo, à inabilidade de alguns vegetais em absorver água suficiente para repor aquela consumida no processo transpiratório (Pimentel & Peres 2000). Estes autores mencionaram que variações desta natureza são reflexos da alta demanda evaporativa da

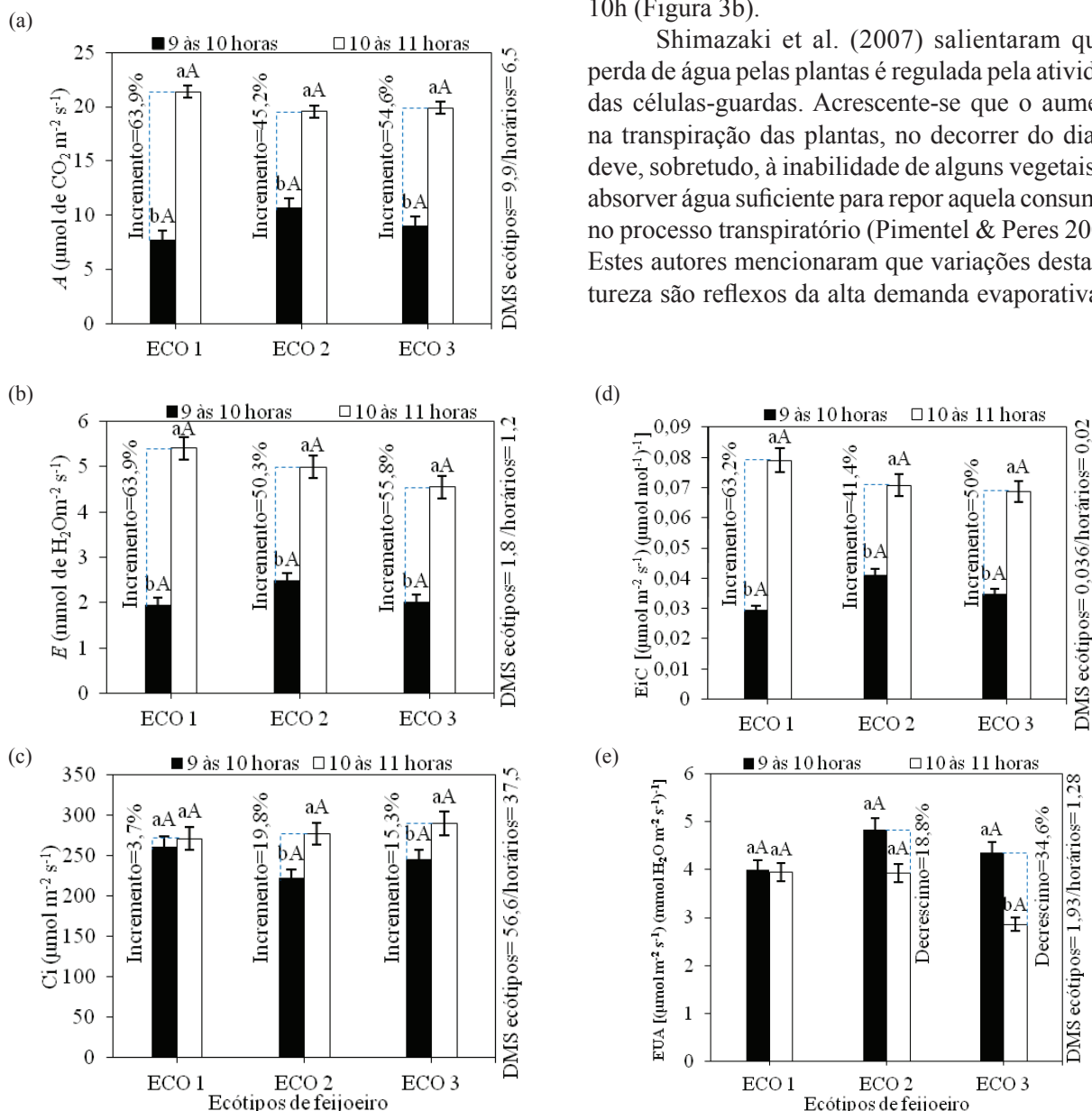


Figura 3. Taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (a), transpiração (E) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (b), concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (c), eficiência instantânea de carboxilação (EiC) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (d) e eficiência instantânea no uso de água ($EiUA$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] (e), em ecótipos de feijoeiro cultivados sob as condições edafoclimáticas do semiárido (Catolé do Rocha, PB, 2009). $\text{Eco}_1 = \text{G2227}$, $\text{Eco}_2 = \text{BRA 130583 CIAT G6490}$ e $\text{Eco}_3 = \text{BAT 477}$. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre os horários (teste F, a 5%) e médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre os ecótipos (teste Tukey, a 5%).

atmosfera. Ressalte-se que, em condições naturais, à medida em que a temperatura se eleva, a umidade relativa do ar diminui e as respostas dos diversos processos metabólicos das plantas refletem na interação entre estes fatores (Medina et al. 1999).

Não houve diferença significativa na concentração interna de CO_2 (Ci), entre os três ecótipos avaliados (Figura 3c). Nos horários analisados, houve diferenças significativas entre os ecótipos 2 e 3, quando foram anotados valores mais expressivos: $277 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $289,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, no horário das 10h às 11h. Constatou-se que, neste horário, houve aumento na Ci de 19,8% e 15,3%, em relação aos valores $222 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $245,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ registrados entre as 9h e 10h.

A concentração interna de CO_2 (Ci) no mesófilo foliar é reduzida pelo fechamento estomático, com conseqüente diminuição na taxa de assimilação de dióxido de carbono (Jadoski et al. 2005). Neste sentido, a maior Ci observada neste experimento, no horário das 10h às 11h, está atrelada ao aumento verificado na taxa de assimilação de CO_2 registrado neste mesmo horário, notadamente nos ecótipos 2 e 3.

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC), embora não tenha diferido significativamente entre os ecótipos, aumentou no decorrer do dia. Registraram-se, nos três ecótipos avaliados, que, entre as 10h e 11h, as plantas tinham maior EiC : $0,079 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$, $0,070 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ e $0,068 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$, respectivamente, contrastando com os valores de $0,029 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$, $0,041 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ e $0,034 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$, verificados no horário das 9h às 10h. No intervalo compreendido entre os horários de avaliação, foram observados incrementos de 63,2%, 41,4% e 50% na eficiência instantânea de carboxilação, nos respectivos ecótipos de feijoeiro (Figura 3d).

Para Machado et al. (2005), a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) possui estreita relação com a concentração intracelular de CO_2 e com a taxa de assimilação de dióxido de carbono. Estes autores concluíram que a temperatura ótima, onde são obtidos os valores mais expressivos de EiC , situa-se entre 20°C e 30°C . Neste sentido, o aumento verificado na eficiência instantânea de carboxilação, no presente trabalho, deve-se, sobretudo, aos incrementos registrados na concentração interna de dióxido de carbono e aos ganhos na taxa

de assimilação de CO_2 , além das variações ocorridas nas variáveis climáticas registradas no dia em que foram realizadas as avaliações.

Os ecótipos estudados não diferiram significativamente, para a variável eficiência instantânea no uso de água (EiUA) (Figura 3e). Dentre os horários analisados, para os ecótipos 2 e 3, foram verificadas reduções da ordem de 18,8% e 34,6%, respectivamente, na EiUA . Ainda assim, foi verificado maior valor, de $4,3 [(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}]$, no horário das 9h às 10h, diferindo, significativamente, do valor $2,8 [(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}]$ registrado no horário das 10h às 11h, para o ecótipo 3.

Shimazaki et al. (2007) reportaram que a assimilação de dióxido de carbono do meio externo promove perda de água, e que a diminuição desta perda também restringe a entrada de CO_2 . Para Jaimez et al. (2005), a relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência instantânea no uso de água (EiUA), em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde. Neste sentido, os decréscimos observados na EiUA , notadamente no horário das 10h às 11h, são reflexos dos aumentos observados na taxa de assimilação de CO_2 e na transpiração das plantas de feijoeiro.

Taiz & Zeiger (2009) e Melo et al. (2010) concluíram que as trocas gasosas são influenciadas pelas condições climáticas. Assim, as diminuições registradas na EiUA podem estar atreladas aos aumentos verificados na radiação solar acumulada e na temperatura do ar, bem como na redução da umidade relativa do ar (Figura 2).

Não foram verificadas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre os ecótipos de feijoeiro estudados, quanto às variáveis área foliar por folha, área foliar por planta, índice de área foliar, conteúdo relativo de água na folha e eficiência fotossintética. Entretanto, os valores mais expressivos destas variáveis são apresentados na Tabela 1.

Para Aguiar et al. (2008), o hábito de crescimento indeterminado do feijoeiro influencia alguns de seus aspectos morfológicos. Neste sentido, o fato de não terem sido verificadas diferenças significativas para estas variáveis pode estar relacionado ao hábito de crescimento dos ecótipos ou ao período chuvoso (Figura 1), que coincidiu com o estágio vegetativo (V4), possibilitando condições hídricas ótimas aos ecótipos. Neste sentido, a similaridade nos valores

Tabela 1. Médias das variáveis área foliar por folha (AFF cm²), área foliar por planta (AFP cm²), índice de área foliar (IAF cm² cm⁻²), conteúdo relativo de água na folha (CRA %) e eficiência fotossintética (EPh g MJ⁻¹), em ecótipos de feijoeiro cultivados sob as condições edafoclimáticas do semiárido (Catolé do Rocha, PB, 2009).

Ecótipos ¹	Médias dos ecótipos ²				
	AFF	AFP	IAF	CRA	EPh
Eco 1	2,40 a	222,00 a	0,46 a	47,52 a	1,71 a
Eco 2	2,46 a	252,16 a	0,52 a	52,74 a	1,77 a
Eco 3	2,16 a	148,30 a	0,30 a	47,92 a	1,37 a
DMS	0,56	186,74	0,38	22,01	0,90

¹ Eco₁ = G2227; Eco₂ = BRA 130583 CIAT G6490; Eco₃ = BAT 477. ² Médias seguidas pela mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste Tukey, a 5%.

destas variáveis, nos três ecótipos, reflete a dificuldade de identificação de características desejáveis para o cultivo do feijoeiro no Brasil, o que, para Gomes et al. (2000), está diretamente relacionado à base genética estreita, além da origem comum de diversos genótipos.

CONCLUSÕES

- Os ecótipos de feijoeiro Eco₁ = G2227, Eco₂ = BRA 130583 CIAT G6490 e Eco₃ = BAT 477 expressam variações nas trocas gasosas e na eficiência instantânea no uso de água, no decorrer do dia, sob as condições edafoclimáticas do semiárido.
- A área foliar e a eficiência fotossintética, nos ecótipos de feijoeiro Eco₁ = G2227, Eco₂ = BRA 130583 CIAT G6490 e Eco₃ = BAT 477, não diferem de forma significativa, sob as condições estudadas.
- O ecótipo de feijoeiro G2227 foi o que apresentou as melhores respostas fisiológicas, quanto à assimilação de CO₂ e eficiência na carboxilação, além de apresentar pouca variação na eficiência instantânea no uso de água, das 9h às 11h, evidenciando melhor adaptação às condições do semiárido e potencialidade de cultivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de iniciação científica ao primeiro autor; ao Programa de Apoio aos Programas de Pós-graduação e Pesquisa (Propesq) da UEPB, pelo apoio financeiro à pesquisa; e à Embrapa Arroz e Feijão, pela concessão dos ecótipos de feijoeiro.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, R. J. et al. Combinações de fontes de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 391-398, 2011.
- AGUIAR, R. S. et al. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.
- AMARAL, J. A. T. do; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. do. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- BAIDA, F. C. et al. Reação de linhagens de feijão-vagem ao *Meloidogyne javanica* e *M. paranaensis* em casa-de-vegetação. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 2, p. 237-241, 2011.
- BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. *Oleaginosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para produção de biodiesel*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. (Documentos, 201).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). *Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2011/2012: sétimo levantamento*. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_11_15_04_18_boletim_abril_2012.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2012.
- CUNHA, P. C. R. et al. Fontes, formas de aplicação e doses de nitrogênio em feijoeiro irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 80-86, 2011.
- DALMAGO, G. A. et al. Evapotranspiração máxima da cultura do pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 785-792, 2006.
- FERRAZ, R. L. de S. et al. Aspectos morfofisiológicos, rendimento e eficiência no uso da água do meloeiro 'Gália' em ambiente protegido. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 957-964, 2011.
- FIGUEIREDO, M. G. et al. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produto. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008.
- FLOSS, E. L. *Fisiologia das plantas cultivadas*. Passo Fundo: Ed. da UPF, 2004.
- GOMES, A. A. et al. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em

- cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 35, n. 10, p. 1927-1937, 2000.
- JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. *Ambiência*, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.
- JAIMEZ, R. E. et al. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (*Musa* AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.
- LEMOS, L. B. et al. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial carioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 39, n. 4, p. 319-326, 2004.
- MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.
- MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.
- MELO, A. S. et al. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 733-741, 2009.
- MELO, A. S. et al. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.
- OLIVEIRA, A. D. de; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. de J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.
- PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, Piracicaba, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.
- PEIXOTO, P. H. P.; MATTA, F. M. da; CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 25, n. 4, p. 821-832, 2002.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Funep, 2002.
- PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. de L. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca em genótipos de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 31-39, 2000.
- QUEIROGA, J. L. et al. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, v. 21, n. 1, p. 64-68, 2003.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: UFV, 2001.
- ROCHA, P. R. R. et al. Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 9-17, 2011.
- SANTOS, J. W. et al. *Estatística experimental aplicada*. 2. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão/UFCG, 2008.
- SHIMAZAKI, K. I. et al. Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, Gainesville, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.
- 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.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of cotton plant: I - the field measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist*, Cambridge, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950.
- ZUCARELI, C. et al. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão carioca precoce cultivado no período das águas. *Revista Ciência Agrônoma*, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 32-38, 2011.