



# Physiological responses of cowpea genotypes cultivated in rainfed on different phenological stages<sup>1</sup>

## *Respostas fisiológicas de genótipos de feijão-caupi cultivados em sequeiro em diferentes estádios fenológicos*

Rafael Santiago da Costa<sup>1,2\*</sup>, Johny de Souza Silva<sup>2</sup>, Ana Kariny de Freitas Fonteles<sup>3</sup>, Ana Kelly Firmino da Silva<sup>3</sup>, Rosilene Oliveira Mesquita<sup>2</sup>

**Abstract:** Cowpea is one of the most consumed annual legumes in the world, but, despite its economic importance, the crop has low productivity in the Northeast of Brazil, being related to the genotypes used, climatic factors, and soil quality. In this context, this study aimed to evaluate the physiological parameters of nine genotypes in different phenological stages, cultivated under rainfed conditions. The experiment was carried out in the area of cowpea multiplication, belonging to the Federal University of Ceará (UFC), using a completely randomized design in a 9x2 factorial scheme, referring to nine genotypes and two stages of development (vegetative and reproductive) with ten replications, totaling 90 experimental plots. The evaluation of gas exchange (photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, Ci/Ca ratio, and water use efficiency) were performed in the vegetative and reproductive phases (30 and 60 days after sowing), using the infrared gas analyzer (IRGA). It was verified that the variables of photosynthesis, stomatal conductance, and transpiration presented higher values in the vegetative stage concerning the reproductive stage, standing out of genotypes CE693, CE701, and CE735. For variables, Ci/Ca ratio, and water use efficiency, the genotypes with the lowest mean values were CE390 and CE570. The genotypes CE693, CE701, and CE735, presented better stability in the physiological parameters in the two phenological stages, and this may favor the production of cowpea.

**Key words:** Ecophysiology. Semiarid. Gas exchange. *Vigna unguiculata* L. Walp.

**Resumo:** O feijão-caupi é uma das leguminosas anuais mais consumidas em todo mundo, porém, apesar de sua importância econômica, a cultura apresenta baixa produtividade no Nordeste brasileiro, estando relacionada com os genótipos utilizados, fatores climáticos e qualidade do solo. Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar parâmetros fisiológicos de nove genótipos em diferentes estádios fenológicos, cultivados em regime de sequeiro. O experimento foi conduzido na área de multiplicação de feijão-caupi pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), utilizando um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 9x2, referente a 9 genótipos e 2 fases de desenvolvimento (vegetativa e reprodutiva), com 10 repetições, totalizando 90 parcelas experimentais. As avaliações de trocas gasosas (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, relação Ci/Ca e eficiência do uso da água) foram realizadas nas fases vegetativa e reprodutiva (30 e 60 dias após a semeadura) através do uso do analisador de gases por infravermelho (IRGA). Verificou-se que as variáveis de fotossíntese, condutância estomática e transpiração apresentaram valores superiores no período vegetativo em relação ao reprodutivo, com destaque para os genótipos CE693, CE701 e CE735. Para as variáveis razão Ci/Ca e eficiência do uso da água, os genótipos que apresentaram menores médias foram os CE390 e CE570. Os genótipos CE693, CE701 e CE735 apresentaram maior estabilidade nos parâmetros fisiológicos nos dois estádios fenológicos e isso pode favorecer a produção do feijão-caupi.

**Palavras-chave:** Ecofisiologia. Semiárido. Trocas gasosas. *Vigna unguiculata* L. Walp.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 16/04/2020, approved on 09/06/2020 and published on 29/06/2020

<sup>1</sup>Artigo extraído do Trabalho de Conclusão de Curso do 3º autor;

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia (PPGAF), Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza - CE. E-mails: rafael.santiagodacosta@yahoo.com.br; johny.ufca@gmail.com; rosilenemesquita@ufc.br; kelly.firmino@ufc.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza - CE. E-mails: karinyfreitas\_15@hotmail.com; kelly.firmino@ufc.br

## INTRODUCTION

Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) is a culture that has significant socioeconomic importance, mainly for the population of the Brazilian Semiarid region, since it is responsible for generating employment and income. Moreover, it is considered the main vegetable protein source, in which the highest consumption is verified in the form of dry grains (SILVA; NEVES, 2011; BASTOS *et al.*, 2012). In Brazil, the cultivation reaches approximately 930 thousand hectares, with a mean annual production of 3.1 million tons. The North and Northeast regions stood out as responsible for approximately 90% of the total cultivated area (CONAB, 2020; SANTOS *et al.*, 2017).

The crop presents good adaptability to different edaphoclimatic conditions. However, some factors, such as water deficit, use of non-adapted cultivars, and the availability of nutrients, may affect growth and physiological behavior, reflecting directly on plant productivity (NASCIMENTO *et al.*, 2011; TAIZ *et al.*, 2017). Among these factors, the water deficit is one of the stresses that cause the most damage to crops.

The stress caused by water scarcity produces deleterious effects, such as reduced water potential, stomatal closure, and oxidative damage (HLAVÁČOVÁ *et al.*, 2018). One of the first responses of plants to water stress is stomatal closure, reducing water loss through evapotranspiration; however, as a consequence, the plant also reduces the CO<sub>2</sub> influx, which can negatively interfere with gas exchange and, therefore, in the performance (PADILHA *et al.*, 2016).

In this perspective, Freitas *et al.* (2017), when working with cowpea cultivated in two planting systems and three water conditions, found that severe stress reduced levels of all physiological variables assessed. Furthermore, Rivas *et al.* (2016) showed that the intensification of water stress reduced the net photosynthetic rates and stomatal conductance. Probably, this occurs due to stomatal regulation, in which the stomata establish communication between the leaf mesophyll and the atmosphere, regulating the water efflux and the CO<sub>2</sub> influx (FERRARI *et al.*, 2015).

Despite the cowpea importance, its genetic potential is still little-explored, which reflects low productivity in the Northeast (DUTRA *et al.*, 2015). Faced with these issues, the use of genotypes adapted to the rainfed regime, typical on the Brazilian Semiarid region, is a viable alternative. The indication of cultivars or genotypes adapted to the soil and climate conditions of the region provides greater security to the producer, since even on water scarcity conditions, the plants can produce, although significantly less (SANTOS; LIMA, 2015).

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) é uma cultura que apresenta grande importância socioeconômica, sobretudo para a população do Semiárido brasileiro, uma vez que é responsável por gerar emprego e renda, além de ser a principal fonte proteica vegetal, cujo maior consumo é verificado na forma de grãos secos (SILVA; NEVES, 2011; BASTOS *et al.*, 2012). No Brasil, seu cultivo chega a aproximadamente 930 mil hectares, com produção média anual de 3,1 milhões de toneladas, sendo as regiões Norte e Nordeste as responsáveis por cerca de 90% da área cultivada total (CONAB, 2020; SANTOS *et al.*, 2017).

A cultura adapta-se bem às diversas condições edafoclimáticas, porém, alguns fatores, como o déficit hídrico, o uso de cultivares não adaptadas e a disponibilidade de nutrientes, podem afetar o crescimento e o comportamento fisiológico, o que reflete diretamente na produtividade das plantas (NASCIMENTO *et al.*, 2011; TAIZ *et al.*, 2017). Dentre esses fatores, o déficit hídrico é um dos estresses que mais causam prejuízos às culturas.

O estresse por falta de água causa efeitos deletérios, como redução do potencial hídrico, fechamento dos estômatos e danos oxidativos (HLAVÁČOVÁ *et al.*, 2018). Uma das primeiras respostas das plantas ao estresse hídrico é o fechamento estomático, reduzindo a perda de água por evapotranspiração, porém, como consequência, a planta reduz também o influxo de CO<sub>2</sub>, o que pode interferir de forma negativa nas trocas gasosas e, conseqüentemente, no seu desempenho (PADILHA *et al.*, 2016).

Nessa perspectiva, Freitas *et al.* (2017), ao trabalharem com feijão-caupi cultivado em dois sistemas de plantio e três condições hídricas, verificaram que o estresse severo reduziu todos os níveis das variáveis fisiológicas avaliadas. Em complemento, Rivas *et al.* (2016) evidenciaram que a intensificação do estresse hídrico reduziu as taxas de fotossíntese líquida e condutância estomática. Isso possivelmente ocorre devido à regulação estomática, na qual os estômatos estabelecem comunicação entre o mesófilo foliar e a atmosfera, regulando o efluxo de água e o influxo de CO<sub>2</sub> (FERRARI *et al.*, 2015).

Apesar de sua importância, o feijão-caupi tem seu potencial genético pouco explorado, o que reflete em baixas produtividades na região Nordeste (DUTRA *et al.*, 2015). Diante dessa problemática, o uso de genótipos adaptados ao regime de sequeiro, típico do Semiárido brasileiro, mostra-se como uma alternativa viável. A indicação de cultivares ou genótipos adaptados às condições de solo e clima da região proporciona maior segurança ao produtor, uma vez que mesmo sob condições de deficiência hídrica as plantas conseguem produzir, ainda que de forma significativamente inferior (SANTOS; LIMA, 2015).

Nevertheless, despite the existence of several published studies on cowpea both in genetic and physiological aspects (CORREA *et al.*, 2015; PRAZERES *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2017), there is still little information available in the literature based on experimental data on physiological aspects in different phenological stages of genotypes grown in Ceará. In this sense, the objective was to evaluate the physiological parameters of nine genotypes at different phenological stages, grown under rainfed conditions, to determine the most adapted genotypes.

## MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in area of cowpea multiplication of the Germplasm Active Bank (GAB) belonging to the Department of Phytotechnics of the Agricultural Sciences Center (CCA), at the Federal University of Ceará (UFC), in the municipality of Fortaleza - CE. It is located in the geographical coordinates between 3°44'27.1" S and 38°34'39" W. During the experimental period, from February to June 2018, the average precipitation was 201 mm, and the average temperature was 26 °C, according to data from Ceará State Foundation for Meteorology and Water Resources (Portuguese acronym, FUNCEME), in 2018 (Figure 1).

Contudo, apesar da existência de diversos trabalhos publicados sobre o feijão-caupi tanto nos aspectos genéticos quanto fisiológicos (CORREA *et al.*, 2015; PRAZERES *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2017), ainda são poucas as informações disponíveis na literatura baseadas em dados experimentais sobre os aspectos fisiológicos em diferentes estádios fenológicos dos genótipos cultivados no Ceará. Nesse sentido, objetivou-se avaliar os parâmetros fisiológicos de nove genótipos em diferentes estádios fenológicos, cultivados em regime de sequeiro, para determinar genótipos mais adaptados.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área de multiplicação do Banco Ativo de Germoplasma de Feijão-caupi pertencente ao Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), no período de fevereiro a junho de 2018, no município de Fortaleza - CE, com latitude Sul 3° 44' 27,1" e longitude Oeste 38° 34' 39". Durante o período experimental, a precipitação média foi de 201 mm e a temperatura média de 26 °C, de acordo com os dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos ano de 2018 (Figura 1).

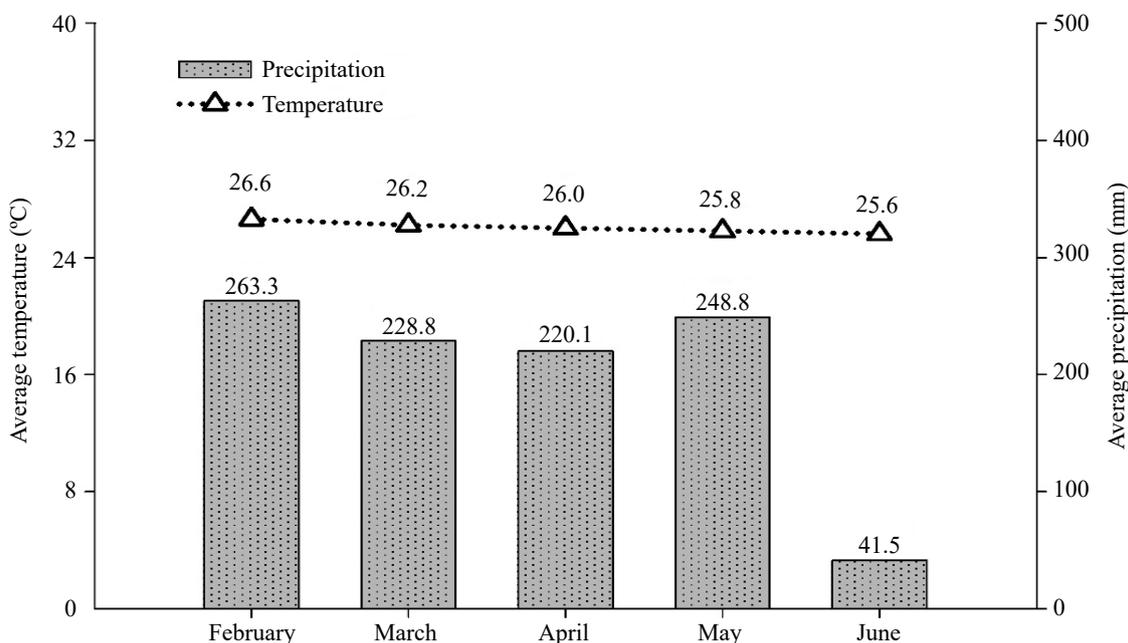


Figure 1 - Meteorological data during the period of the experiment.

Source: FUNCEME, 2018.

Figura 1 - Dados meteorológicos durante o período do experimento.

Fonte dos dados: FUNCEME, 2018.

The experiments were conducted in Completely Randomized Design (CRD), in a 9x2 factorial arrangement, referring to nine genotypes and two stages of development (vegetative and reproductive), with ten plants (replications), totaling 90 experimental plots. Nine genotypes (CE109, CE390, CE570, CE659, CE693, CE701, CE735, CE880, and CE953) were used, corresponding to: Lot7909-aik-83, cultivar Crioula, TVu 2331 x Pitiúba crossing, CNCx190-2E/P, CNCx666-41E, CNCx666-51, CNCx660-7E, CNCx249-308F-1, and IT 82-D-60, respectively. The genotypes selected are part of the collection of germplasm active bank (GAB) of UFC.

The soil was classified as Red-Yellow Argisol. Before planting, the soil was prepared using surface aeration, followed by the assembly of the planting lines with 5 m<sup>2</sup> for every ten experimental units. Then, each genotype was allotted to a planting line, with sowing made manually in the spacing of 0.5 m between plants and 2 m among rows, using three seeds per hole.

Due to sowing, the foundations of fertilizer was held, according to the methodology described by Aquino *et al.* (1993), in which the plants received 30 kg of N, 60 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and 30 kg of K<sub>2</sub>O through fertilizers: urea (33.5 g), simple superphosphate (150 g), and potassium chloride (25 g), respectively, by planting line (5 m<sup>2</sup>). Moreover, at 25 days after sowing (DAS), Aminomax Supra leaf fertilizer was applied in a proportion of 3.5 mL L<sup>-1</sup>; that is, 3 L of the solution for 45 m<sup>2</sup>, in accordance with the recommendations of the manufacturer.

At 15 DAS, thinning was carried out, leaving one plant per hole, totaling ten plants per row. During the crop cycle, the required treatments were performed for the proper conduction of the experiment, such as weeds removal and control of pests and diseases.

Gas exchange assessments were conducted in the vegetative (30 DAS) and reproductive (60 DAS) phase, while measurements were made between 08:00 and 10:00 a.m. The variables evaluated were: photosynthesis (*A*), stomatal conductance (*g<sub>s</sub>*), transpiration rate (*E*), ratio between internal and external CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>*) concentration, and water use efficiency (*USA*; (*A/E*)). The variables were determined by an infrared gas analyzer (IRGA; portable model LI-6400XT, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA), using constant photosynthetically active radiation (PAR) (1200 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), constant CO<sub>2</sub> (400 ppm) concentration, room temperature and humidity.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 9x2, referente a 9 genótipos e 2 fases de desenvolvimento (vegetativa e reprodutiva), com 10 plantas (repetições), totalizando 90 unidades experimentais. Foram utilizados 9 genótipos (CE109, CE390, CE570, CE659, CE693, CE701, CE735, CE880, CE953), correspondentes a: Lot7909-aik-83, Cultivar crioula, Cruzamento TVu 2331 x Pitiúba, CNCx190-2E/P, CNCx666-41E, CNCx666-51, CNCx660-7E, CNCx249-308F-1 e IT 82-D-60, respectivamente. Os genótipos escolhidos fazem parte da coleção do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de Feijão-caupi da UFC.

Antes do plantio foi realizado o preparo do solo, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, por meio de uma aeração superficial seguida da montagem das linhas de plantio com 5 m<sup>2</sup> para cada 10 unidades experimentais. Em seguida, cada genótipo foi destinado a uma linha de plantio, sendo a sementeira realizada de forma manual no espaçamento de 0,5 m entre plantas e de 2 m entre linhas, utilizando-se três sementes por cova.

Por ocasião da sementeira foi realizada a adubação de fundação, de acordo com as recomendações de Aquino *et al.* (1993), em que as plantas receberam 30 kg de N, 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg de K<sub>2</sub>O através dos fertilizantes: ureia (33,5 g), superfosfato simples (150 g) e cloreto de potássio (25g), respectivamente, por linha de plantio (5 m<sup>2</sup>). Em complemento, aos 25 dias após sementeira (DAS), foi aplicado o adubo foliar Aminomax Supra na proporção de 3,5mL L<sup>-1</sup>, ou seja, 3 L da solução para 45 m<sup>2</sup>, de acordo com a recomendação do fabricante.

Aos 15 DAS, foi realizado o desbaste, deixando uma planta por cova, totalizando dez plantas por linha. No decorrer do ciclo da cultura foram efetuados os tratos culturais necessários para a adequada condução do experimento, tais como eliminação de plantas infestantes e controle de pragas e doenças.

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas na fase vegetativa (30 DAS) e reprodutiva (60 DAS), e as medições foram realizadas entre 08:00 e 10:00 a.m. As variáveis avaliadas foram: fotossíntese (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), taxa de transpiração (*E*), razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>*) e eficiência do uso da água (*EUA*; (*A/E*)). As variáveis foram determinadas por analisador de gás por infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA), utilizando radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante (1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração constante de CO<sub>2</sub> (400 ppm), temperatura e umidade ambiente.

The results were submitted to a normality test, followed by an analysis of variance. Posteriorly, when significant by the F test, they were submitted to the Tukey test with  $p < 0.05$ . Statistical analyzes and plotting the graphics were performed using the software Assistat 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016) and SigmaPlot (Systat Software Inc.), respectively.

## RESULTS AND DISCUSSION

It is observed, in the analysis of variance, that most of the variables analyzed were significantly influenced ( $p < 0.01$ ) by the isolated factors: genotypes and phenological stages, as well as by the interaction between these factors, except for the stomatal conductance variable ( $g_s$ ), which was influenced only by the phenological stage factor at the level of 5% probability by the F test (Table 1).

Regarding the photosynthesis variable ( $A$ ), the genotypes showed a higher photosynthetic rate when evaluated in the vegetative stage (30 DAS). In this phase, the rate range was 25.48 to 44.11  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , for CE390 and CE109, respectively. Additionally, the genotypes CE570, CE880, and CE735 were highlighted, which presented mean statistically equal to the genotype CE109 (highest absolute mean). At 60 DAS, photosynthesis showed a lower peak, with the maximum and minimum values reached by the access CE701 (37.58  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) and CE953 (18.37  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), respectively (Figure 2A).

Os dados obtidos foram submetidos a um teste de normalidade, realizando-se em seguida a análise de variância. Posteriormente, quando significativos pelo teste F, foram submetidos ao teste de médias de Tukey com  $p < 0,05$ . Para as análises estatísticas e confecção dos gráficos utilizou-se os programas computacionais Assistat 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016) e SigmaPlot (Systat Software Inc.), respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, na análise de variância, que a maioria das variáveis analisadas foram influenciadas significativamente ( $p < 0,01$ ) pelos fatores isolados: genótipos e estádios fenológicos, bem como pela interação entre esses fatores, exceto a variável condutância estomática ( $g_s$ ), que foi influenciada apenas pelo fator estágio fenológico ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F (Tabela 1).

No que diz respeito à variável fotossíntese ( $A$ ), no geral, os genótipos apresentaram taxa fotossintética superior quando avaliados no estágio vegetativo (30 DAS). Nessa fase, a amplitude da taxa foi de 25,48 a 44,11  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para CE390 e CE109, respectivamente. Também se destacaram os genótipos CE570, CE880 e CE735 que apresentaram médias estatisticamente iguais ao genótipo CE109 (maior média absoluta). Aos 60 DAS, a fotossíntese apresentou menor ápice, com valor máximo alcançado pelo acesso CE701 (37,58  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e mínimo pelo CE953 (18,37  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Figura 2A).

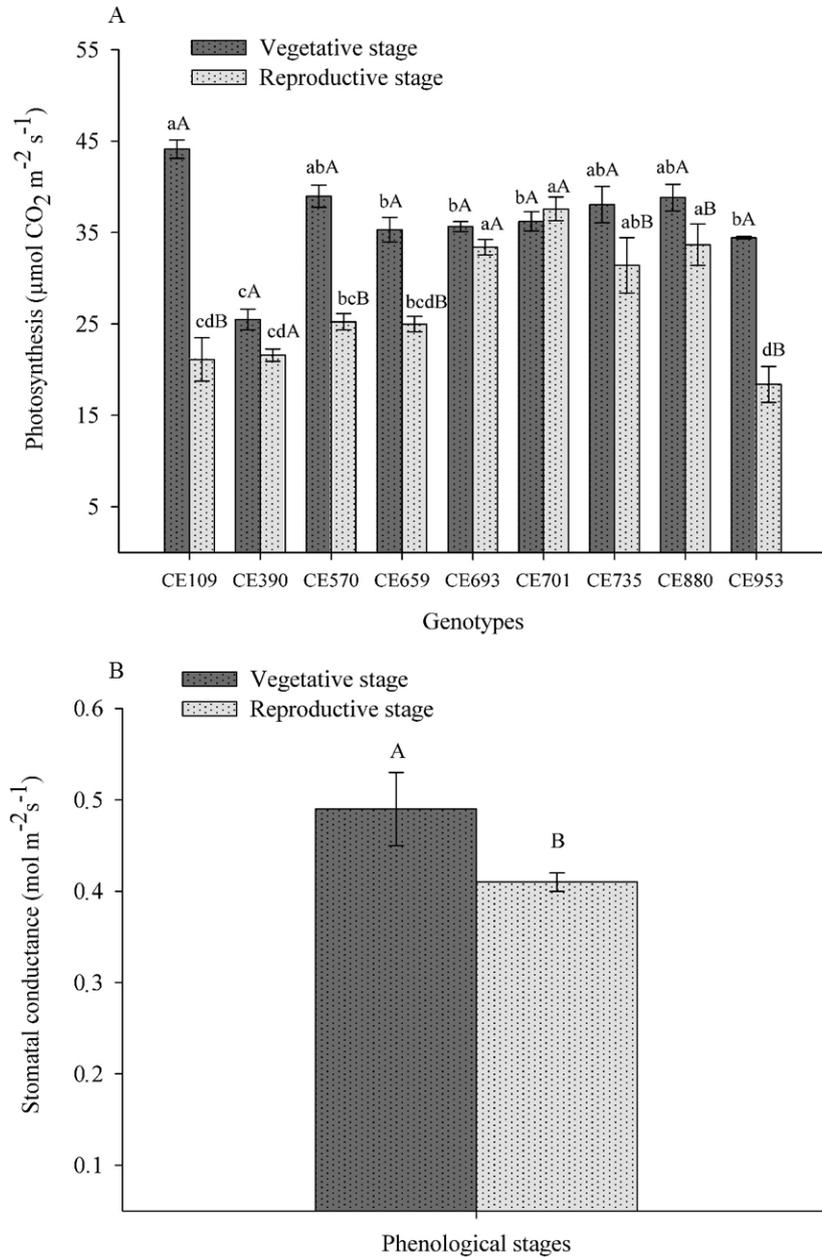
**Table 1** - Analysis of variance for photosynthesis ( $A$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), transpiration ( $E$ ), ratio of internal and external  $\text{CO}_2$  ( $\text{Ci}/\text{Ca}$ ) concentration, instant carboxylation efficiency ( $\text{EiC}$ ), and water use efficiency ( $\text{WUE}$ ) of nine cowpea genotypes, in two phenological stages

**Tabela 1** - Análise de variância para fotossíntese ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), razão da concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $\text{Ci}/\text{Ca}$ ), eficiência instantânea de carboxilação ( $\text{EiC}$ ) e eficiência do uso da água ( $\text{EUA}$ ) de nove genótipos de feijão-caupi em dois estádios fenológicos

FV	GL	Medium Square					
		$A$	$g_s$	$E$	$\text{Ci}/\text{Ca}$	$\text{EiC}$	$\text{WUE}$
Genotypes (G)	8	121.92**	0.02 <sup>ns</sup>	5.69**	0.02**	0.005**	2.05**
Stage (E)	1	1,060.32**	0.08*	8.12**	0.04**	0.037**	8.32**
Int. G x E	8	87.95**	0.02 <sup>ns</sup>	5.19**	0.02**	0.006**	2.17**
Residues	36	6.31	0.01	0.76	0.004	0.0004	0.13
Total	53	-	-	-	-	-	-
<b>General average</b>		<b>31.90</b>	<b>0.45</b>	<b>8.86</b>	<b>0.64</b>	<b>0.14</b>	<b>3.66</b>
<b>CV (%)</b>		<b>7.88</b>	<b>24.84</b>	<b>9.87</b>	<b>10.47</b>	<b>14.65</b>	<b>10.01</b>

\*, \*\* = Significant at 5% and 1% by the F test, respectively and ns = not significant.

\*, \*\* = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.



**Figure 2** - Photosynthesis (A) and stomatal conductance (B) of nine cowpea genotypes in two phenological stages and grown in rainfed, Fortaleza, 2018.

Uppercase letters indicate a significant difference between phenological stages and lowercase letters indicate a significant difference between genotypes at the level of 5% probability.

**Figura 2** - Fotossíntese (A) e condutância estomática (B) de nove genótipos de feijão-caupi em dois estádios fenológicos e cultivados em sequeiro, Fortaleza, 2018.

Letras maiúsculas indicam diferença significativa entre estádios fenológicos e minúsculas entre genótipos ao nível de 5% de probabilidade.

When evaluating the variable stomatal conductance ( $g_s$ ), it can be seen that there was a significant response only in the phenological stage. The vegetative stage (30 DAS) showed a mean statistically superior of  $0.49 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , while in the reproductive stage, the mean was  $0.40 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figure 2B). By comparing the mean, there was a reduction of 18.37%, likely, due to the high demand for water in the vegetative stage for the organ formation, such as leaves and roots.

Despite a greater demand for water in the vegetative stage, the month in which the plants were in this stage (March) was the one with the highest number of dry spells (FUNCEME, 2018). It is considered as dry spells, periods that present days without rain or rains below the water demand of the crop. Thus, the highest values of photosynthesis in the vegetative stage for genotypes CE109, CE880, CE735, and CE570 indicate that, even under dry spells conditions, these genotypes exhibited greater adaptability.

Apart from this, the higher stomatal opening favors the entry of  $\text{CO}_2$  into the leaf mesophyll, increasing its internal concentration, and consequently, the photosynthetic rate (TAIZ *et al.*, 2017). This may explain the answers given in Figures 2A and 2B, because when the plants were evaluated, in the vegetative stage (30 DAS), they presented a higher stomatal opening; thus, they assimilated greater amount of  $\text{CO}_2$ , and this reflected positively in photosynthesis.

Another factor that may have influenced the superior results of these variables in the vegetative stage is a higher demand for photoassimilates for formation of flowers. In this sense, Streck *et al.* (2012) state that the characterization of the stages or phases on the crops cycle development is important since management practices such as covering fertilization, phytosanitary treatments, irrigation depth, and harvest planning are more effective when based at the time the plants are on the development cycle.

About transpiration ( $E$ ), a similar response to photosynthesis was observed, most of the evaluated genotypes showed a higher rate of transpiration in the vegetative stage, except for genotypes CE659 and CE735. The amplitude varied from 6.69 to  $10.97 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  for the vegetative stage (30 DAS), with an emphasis on the genotypes CE570, CE693, CE880, and CE701. And from 6.23 to  $9.68 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  for the reproductive stage (60 DAS), with emphasis on the genotypes CE880, CE735, CE659, and CE701 (Figure 3).

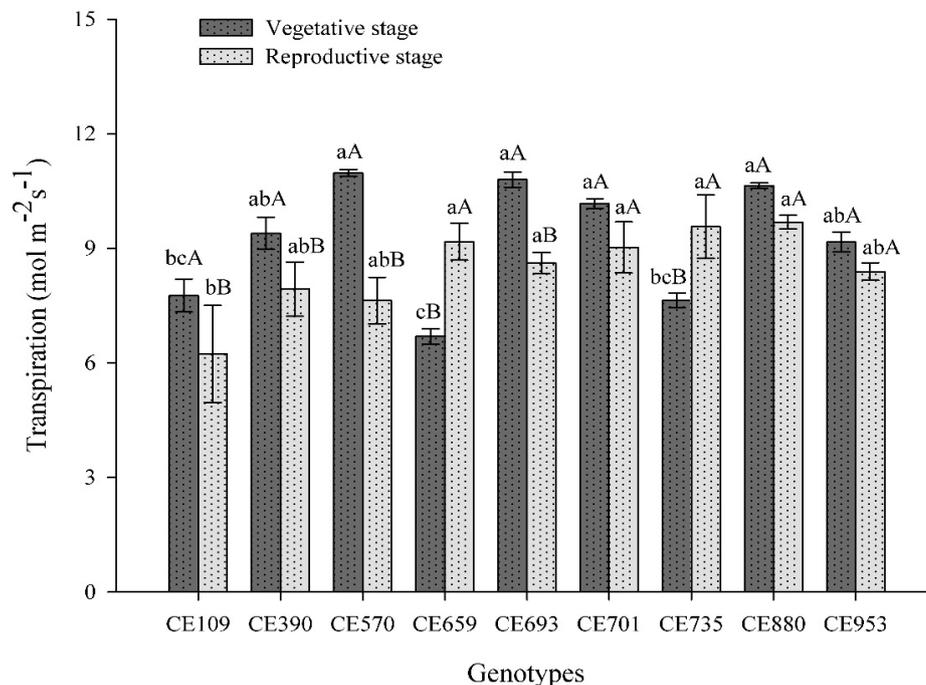
Em relação à condutância estomática ( $g_s$ ), houve resposta significativa apenas em relação ao estágio fenológico, sendo que o estágio vegetativo (30 DAS) apresentou média estatisticamente superior de  $0,49 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  enquanto que no estágio reprodutivo a média foi de  $0,40 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 2B). Ao comparar as médias, verifica-se uma redução de 18,37%, e isso ocorreu devido a uma maior demanda de água no período vegetativo para formação de órgãos, como folhas e raízes.

Apesar de uma maior demanda de água no período vegetativo, o mês em que as plantas se encontravam nesse estágio (março) foi o que apresentou maior número de veranicos (FUNCEME, 2018). Considera-se como veranicos, períodos que apresentam dias sem chuva ou chuvas abaixo da demanda hídrica da cultura. Então, os maiores valores de fotossíntese no estágio vegetativo para os genótipos CE109, CE880, CE735 e CE570 indicam que, mesmo sob condições de veranicos, esses genótipos apresentaram maior adaptabilidade.

Vale ressaltar ainda que a maior abertura dos estômatos favorece a entrada de  $\text{CO}_2$  no mesófilo foliar, aumentando sua concentração interna e, conseqüentemente, a taxa fotossintética (TAIZ *et al.*, 2017). Isso explica as respostas apresentadas nas Figuras 2A e 2B, uma vez que quando as plantas foram avaliadas, no estágio vegetativo (30 DAS), elas apresentaram maior abertura estomática, conseqüentemente, assimilaram maior quantidade de  $\text{CO}_2$  e isso refletiu positivamente na fotossíntese.

Outro fator que pode ter influenciado nos resultados superiores dessas variáveis no estágio vegetativo é que nessa fase a planta apresenta maior demanda de fotoassimilados para a formação das flores. Nesse sentido, Streck *et al.* (2012) afirmam que a caracterização das etapas ou fases do ciclo de desenvolvimento das culturas agrícolas é importante, pois práticas de manejo como adubação de cobertura, tratamentos fitossanitários, lâmina de irrigação e planejamento da colheita têm maior eficiência quando baseadas no momento em que as plantas se encontram no ciclo de desenvolvimento.

Para a transpiração ( $E$ ), observou-se resposta semelhante à fotossíntese, a maioria dos genótipos avaliados apresentou maior taxa de transpiração no período vegetativo, com exceção dos genótipos CE659 e CE735. A amplitude variou de 6,69 a  $10,97 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para o período vegetativo (30 DAS), com destaque para os genótipos CE570, CE693, CE880 e CE701, e de 6,23 a  $9,68 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para o período reprodutivo (60 DAS), com destaque para os genótipos CE880, CE735, CE659 e CE701 (Figura 3).



**Figure 3** - Transpiration of nine cowpea genotypes in two phenological stages and cultivated in rainfed, Fortaleza, 2018.

Uppercase letters indicate a significant difference between phenological stages and lowercase letters indicate a significant difference between genotypes at the level of 5% probability.

**Figura 3** - Transpiração de nove genótipos de feijão-caupi em dois estádios fenológicos e cultivados em sequeiro, Fortaleza, 2018.

Letras maiúsculas indicam diferença significativa entre estádios fenológicos e minúsculas entre genótipos ao nível de 5% de probabilidade.

Some studies indicate that transpiration decreases according to variations in climatic conditions, such as temperature, water availability, and air vapor pressure deficit (VPD), and that plant responses vary between species and genotypes (GHOLIPOOR *et al.*, 2010; KHOLOVÁ *et al.*, 2010). Coelho *et al.* (2014), when evaluating gas exchange in cowpea varieties, found different responses in the genotypes studied, these results being directly related to the environmental luminosity, which influenced the stomatal conductance of the plants.

Similarly, Silva *et al.* (2019), when working with different cowpea genotypes submitted to water stress, found that as water availability was reduced, transpiration, stomatal conductance, and photosynthesis also decreased. Therefore, the results obtained in the present study for the variable transpiration rate are also related to stomatal closure caused by the rising temperature in the warmer hours, as consequence, the genotypes that are more sensitive to radiation reduces the gas exchange, interfering negatively in photosynthesis.

Alguns trabalhos indicam que a transpiração reduz de acordo com as variações nas condições climáticas, como temperatura, disponibilidade de água e déficit de pressão de vapor do ar (DPV), e que as respostas das plantas variam entre espécies e entre genótipos (GHOLIPOOR *et al.*, 2010; KHOLOVÁ *et al.*, 2010). Nessa perspectiva, Coelho *et al.* (2014), ao avaliar as trocas gasosas em variedades de feijão-caupi, verificaram respostas distintas nos genótipos estudados, estando esses resultados diretamente relacionados à luminosidade do ambiente, o que influenciou a condutância estomática das plantas.

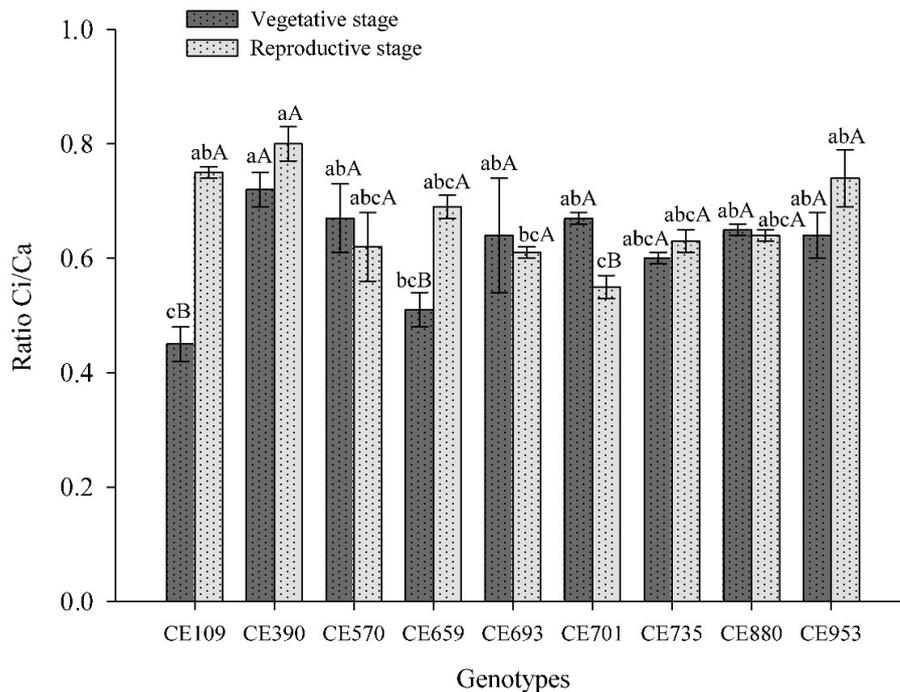
Nesse mesmo sentido, Silva *et al.* (2019), ao trabalhar com diferentes genótipos de feijão-caupi submetidos a estresse hídrico, verificaram que à medida que a disponibilidade hídrica era reduzida a transpiração, a condutância estomática e a fotossíntese também reduziam. Então, os resultados encontrados no presente trabalho para a variável taxa de transpiração estão relacionados também com o fechamento estomático causado pelo aumento da temperatura nos horários mais quentes, fazendo com que os genótipos mais sensíveis à radiação reduzissem ainda mais as trocas gasosas, interferindo negativamente na fotossíntese.

This can be confirmed through climatic data obtained in a datalogger, in which an increase of up to 3 °C was observed in the warmest hours (09:00 to 13:00 hours). In addition to these data, April, even with less rainfall than March (Figure 1), had fewer days without rain; thus, it reduced the temperature, DPV, and consequently, the transpiration of the plants in the reproductive stage (Figure 3).

Concerning the ratio between the internal and external concentration of CO<sub>2</sub> (Ci/Ca), it was noticed that in the vegetative stage (30 DAS) the CE109 and CE659 genotypes presented mean of 0.41 and 0.50, respectively, being statistically inferior to the other genotypes. While in the reproductive stage (60 DAS), the genotypes that showed lower mean were CE693 and CE701, with values of 0.61 and 0.54, respectively (Figure 4).

Isso pode ser confirmado por meio dos dados climáticos obtidos em um datalogger, onde foi verificado aumento de até 3 °C nos horários mais quentes (09:00 às 13:00 horas). Em complemento a esses dados, o mês de abril, mesmo apresentando menor precipitação que o mês de março (Figura 1), teve menos dias sem chuvas o que reduziu a temperatura, o DPV e consequentemente a transpiração das plantas no estágio reprodutivo (Figura 3).

No que diz respeito à razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca), observou-se que no período vegetativo (30 DAS) os genótipos CE109 e CE659 apresentaram médias de 0,41 e 0,50, respectivamente, sendo estatisticamente inferiores aos demais genótipos. Em relação ao período reprodutivo (60 DAS), os genótipos que apresentaram médias inferiores foram os CE693 e CE701, com valores de 0,61 e 0,54, respectivamente (Figura 4).



**Figure 4** - Ratio of internal and external CO<sub>2</sub> concentration of nine cowpea genotypes in two phenological stages and cultivated in rainfed, Fortaleza, 2018.

Uppercase letters indicate a significant difference between phenological stages and lowercase letters indicate a significant difference between genotypes at the level of 5% probability.

**Figura 4** - Razão da concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> de nove genótipos de feijão-caupi em dois estádios fenológicos e cultivados em sequeiro, Fortaleza, 2018.

Letras maiúsculas indicam diferença significativa entre estádios fenológicos e minúsculas entre genótipos ao nível de 5% de probabilidade.

The  $C_i/C_a$  ratio is a physiological parameter that should be used to explain the full development of the plant due to diffusion or biochemical limitations. For instance, in Figure 4, considering that the external  $CO_2$  concentration remained constant, the increase in  $C_i/C_a$  ratio in the CE390 and CE570 genotypes, both in the vegetative and reproductive stage, was due exclusively to variations in the internal  $CO_2$  concentration. According to Silva *et al.* (2019), this means that the  $CO_2$  that comes up in the cells of the leaf mesophyll is not being fixed in the carboxylative phase, possibly, due to biochemical limitation, therefore, reducing photosynthesis.

Besides, in a study conducted by Lemos *et al.* (2012), they affirm that to maintain the rate of photosynthesis with the reduction of stomatal opening, there is a need for greater efficiency in consuming the carbon that is found internally in the leaf mesophyll ( $\Delta C$ ) and, thus, reducing the  $C_i/C_a$  ratio. This statement corroborates the results presented, in which the CE109 genotype exhibited the lowest mean of the  $C_i/C_a$  ratio and, thus, showed the highest mean for the photosynthesis variable.

Assessing the instant efficiency of carboxylation (EiC), it allowed observing that in the vegetative stage (30 DAS), all genotypes presented, in absolute terms, higher average concerning the reproductive stage, with emphasis on the CE109 genotype, which shows mean of 0.27. When comparing the highest average of the vegetative stage with the lowest (0.09), verified in the CE390 genotype, there is an increase of 66.67% in the EiC (Figure 5).

The instant efficiency of carboxylation (EiC) is directly related to the internal concentration of  $CO_2$  and the rate of assimilation of carbon dioxide (MACHADO *et al.*, 2005). Silva *et al.* (2015) state that higher values of internal  $CO_2$  concentration associated with the increase in stomatal conductance indicate an increase in the instant efficiency of carboxylation that occurred due to the availability of ATP and NADPH, and the substrate for Rubisco. Therefore, the rise in EiC on the vegetative stage may have positively influenced the stomatal opening (Figure 2B), which led the plant to assimilate more  $CO_2$  and convert it into sugars for its development.

Results obtained by Ferraz *et al.* (2012), working with bean ecotypes and evaluated at different times, demonstrate that the EiC between 09:00 and 10:00 hours presented values among 0.28 and 0.4, close to the value got in the CE109 genotype. It is worth mentioning that these EiC values may be higher than in the present study because the evaluation was carried out from 08:00 hours AM.

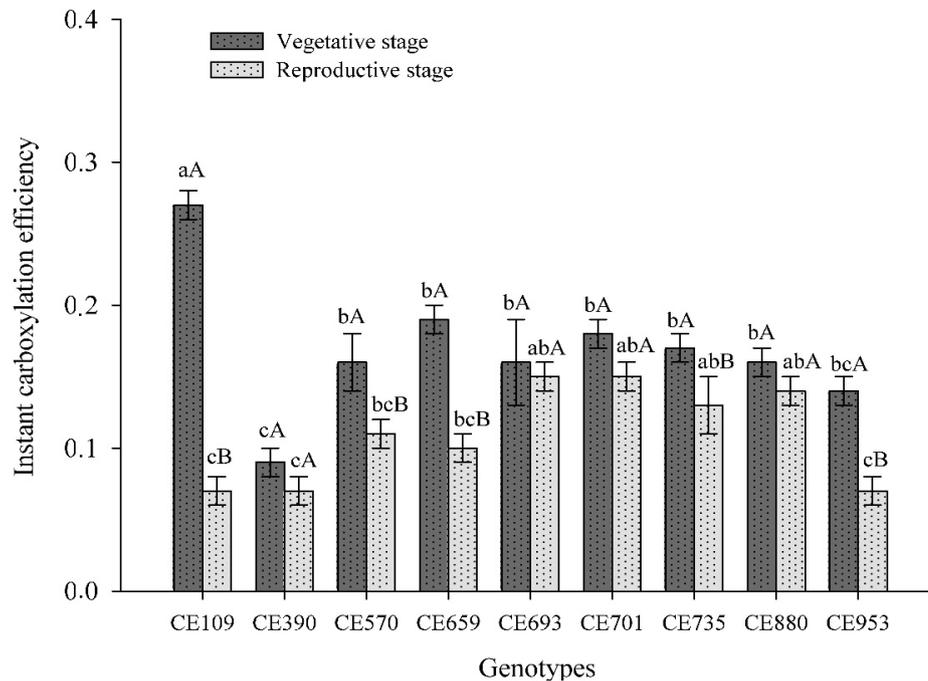
A relação  $C_i/C_a$  é um parâmetro fisiológico que pode ser usado para explicar, parcialmente, o pleno desenvolvimento do vegetal em função de limitações difusionais ou bioquímicas. Por exemplo, na Figura 4, considerando que a concentração de  $CO_2$  externa manteve-se constante, o aumento na razão  $C_i/C_a$  nos genótipos CE390 e CE570, tanto no período vegetativo quanto reprodutivo, deveu-se exclusivamente às variações na concentração interna de  $CO_2$ . Para Silva *et al.* (2019), isso significa dizer que o  $CO_2$  que chega nas células do mesófilo foliar não está sendo fixado na fase carboxilativa, possivelmente, por limitação bioquímica, reduzindo então a fotossíntese.

Segundo Lemos *et al.* (2012), para a manutenção da taxa de fotossíntese com a redução da abertura estomática, há necessidade de maior eficiência em consumir o carbono que se encontra internamente ao mesófilo foliar ( $\Delta C$ ) e, assim, diminuir a razão  $C_i/C_a$ . Essa afirmação corrobora com os resultados apresentados, onde o genótipo CE109 apresentou menor média da razão  $C_i/C_a$  e, consequentemente, apresentou as maiores médias para a variável fotossíntese.

Para a eficiência instantânea de carboxilação (EiC), verificou-se que no período vegetativo (30 DAS) todos os genótipos apresentaram, em termos absolutos, médias superiores em relação ao período reprodutivo, com destaque para o genótipo CE109 que apresentou média de 0,27. Ao comparar a maior média do estágio vegetativo com a menor (0,09), verificada no genótipo CE390, nota-se um incremento de 66,67% na EiC (Figura 5).

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) possui relação direta com a concentração interna de  $CO_2$  e com a taxa de assimilação de dióxido de carbono (MACHADO *et al.*, 2005). Silva *et al.* (2015) afirmam que valores superiores de concentração interna de  $CO_2$  associados ao aumento na condutância estomática indicam um acréscimo na eficiência instantânea de carboxilação ocorrido em função da disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a Rubisco. Desse modo, o aumento na EiC no período vegetativo pode ter influenciado positivamente a abertura estomática (Figura 2B), que por sua vez fez com que a planta assimilasse mais  $CO_2$  e o convertesse em açúcares para seu desenvolvimento.

Resultados obtidos por Ferraz *et al.* (2012), trabalhando com ecótipos de feijoeiro e avaliados em diferentes tempos, mostram que a EiC de 09:00 às 10:00 horas apresentaram valores entre 0,28 a 0,4, próximos do valor obtido no genótipo CE109. Vale ressaltar que esses valores de EiC podem estar superiores aos do presente trabalho pelo fato da nossa avaliação ter sido realizada a partir das 08:00 horas AM.



**Figure 5** - Instant carboxylation efficiency of nine cowpea genotypes in two phenological stages and cultivated in rainfed, Fortaleza, 2018.

Uppercase letters indicate a significant difference between phenological stages and lowercase letters indicate a significant difference between genotypes at the level of 5% probability.

**Figura 5** - Eficiência instantânea de carboxilação de nove genótipos de feijão-caupi em dois estádios fenológicos e cultivados em sequeiro, Fortaleza, 2018.

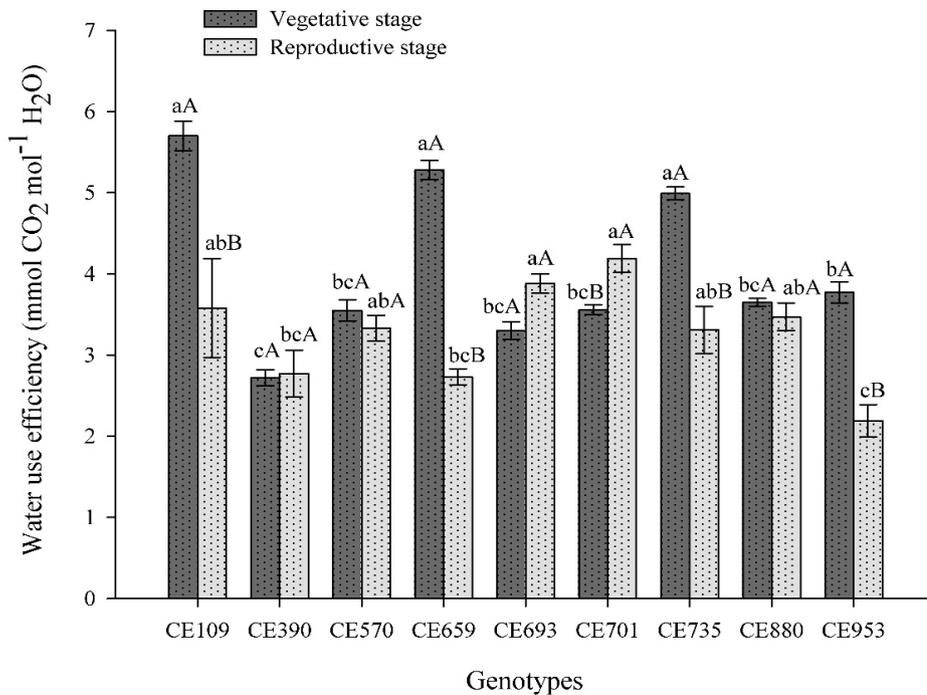
Letras maiúsculas indicam diferença significativa entre estádios fenológicos e minúsculas entre genótipos ao nível de 5% de probabilidade.

About the water use efficiency (WUE), it was found that in the vegetative stage (30 DAS), CE109, CE659, CE735, and CE953 genotypes showed higher values for the WUE compared to the reproductive stage (60 DAS). However, when comparing the means of the genotypes, there was an amplitude of 2.72 to 5.70 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, for the CE390 and CE109 in the vegetative stage, while in the reproductive stage, when comparing the CE701 and CE953 genotypes, the value obtained to this amplitude was 2.18 to 4.19 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O (Figure 6).

The use of indicators, like water use efficiency, is one of the several ways to analyze the response of the crop to different conditions of water availability, given that it relates the production of dry biomass or commercial production with the amount of water applied, or by evapotranspiration by the culture (PUPPALA *et al.*, 2005; DUTRA *et al.*, 2015). Therefore, the genotypes that presented the highest averages for the WUE in the vegetative stage (CE109, CE659, and CE735), even under dry spells conditions in March, were those that showed the highest tolerance to the rainfed regime, which could justify the positive results for photosynthesis (Figure 2A) in relation to the other genotypes.

Para eficiência do uso da água (EUA), verificou-se que no período vegetativo (30 DAS), os genótipos CE109, CE659, CE735 e CE953 apresentaram maiores valores para a EUA em relação ao período reprodutivo (60 DAS). Fazendo uma comparação entre as médias dos genótipos verificou-se uma amplitude de 2,72 a 5,70 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, para o CE390 e CE109 no período vegetativo, enquanto no reprodutivo, ao comparar os genótipos CE701 e CE953, essa amplitude foi de 2,18 a 4,19 mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O (Figura 6).

A utilização de indicadores, como a eficiência do uso de água, é uma das formas de se analisar a resposta dos cultivos às diferentes condições de disponibilidade de água, haja vista que relaciona a produção de biomassa seca ou a produção comercial com a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura (PUPPALA *et al.*, 2005; DUTRA *et al.*, 2015). Logo, os genótipos que apresentaram as maiores médias para EUA no estágio vegetativo (CE109, CE659 e CE735), mesmo sob condições de veranicos nesse mês (março), foram os que apresentaram maior tolerância ao regime sequeiro, o que pode justificar os resultados positivos para fotossíntese (Figura 2A) em relação aos demais genótipos.



**Figure 6** - Water use efficiency of nine cowpea genotypes in two phenological stages and cultivated in rainfed, Fortaleza, 2018.

Uppercase letters indicate a significant difference between phenological stages and lowercase letters indicate a significant difference between genotypes at the level of 5% probability.

**Figura 6** - Eficiência do uso da água de nove genótipos de feijão-caupi em dois estádios fenológicos e cultivados em sequeiro, Fortaleza, 2018.

Letras maiúsculas indicam diferença significativa entre estádios fenológicos e minúsculas entre genótipos ao nível de 5% de probabilidade.

Marinho *et al.* (2016) state that a higher tolerance rate may be linked to water use efficiency, in which the stomatal closure promotes the reduction of water loss to the environment, however, without limiting totally the assimilation of atmospheric CO<sub>2</sub>. Thus, it allows the plant to have water available for a longer period, favoring growth, and the productive aspects of the crop.

## CONCLUSIONS

Physiological parameters are higher in the vegetative stage, suggesting a greater need for photoassimilates in this phase to supply the demands of the reproductive phase;

The CE693, CE701, CE735, and CE880 genotypes present greater stability in the parameters evaluated at both stages (vegetative and reproductive) of development, indicating good adaptability to the rainfed regime.

Marinho *et al.* (2016) afirmam que uma maior taxa de tolerância pode estar ligada à eficiência no uso da água, onde o fechamento estomático promove a redução da perda de água para o ambiente, porém, sem limitar totalmente a assimilação de CO<sub>2</sub> atmosférico, permitindo que a planta tenha água disponível por um período mais longo, favorecendo o crescimento e os aspectos produtivos da cultura.

## CONCLUSÕES

Os parâmetros fisiológicos são superiores no estágio vegetativo, sugerindo maior demanda por fotoassimilados nessa fase para suprir as demandas da fase reprodutiva;

Os genótipos CE693, CE701, CE735 e CE880 apresentam maior estabilidade nos parâmetros avaliados em ambos estádios de desenvolvimento, indicando boa adaptabilidade ao regime de sequeiro.

## CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I.; UCHÔA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 1993. 248p.
- 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.
- COELHO, D. S.; MARQUES, M. A. D.; SILVA, J. A. B.; GARRIDO, M. S.; CARVALHO, P. G. S. Respostas fisiológicas em variedades de feijão caupi submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 12, n. 1, p. 14-15, 2014.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. v. 7, n. 8, p. 31-37, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>. Acesso em: 19 mai 2019.
- CORREA, A. M.; BRAGA, D. C.; CECCON, G.; OLIVEIRA, L. V. A.; LIMA, A. R. S.; TEODORO, P. E. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de feijão-caupi. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 1, p. 42-47, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i1.2252>
- DUTRA, F.; MELO, A. S.; FILGUEIRAS, L. M. B.; SILVA, A. R. F.; OLIVEIRA, I. M.; BRITO, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i2a3912>
- FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a12>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200010>
- FREITAS, R. M. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. S. Physiological responses of cowpea under water stress and rewatering in no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 559-567, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n303rc>
- FUNCEME. **Calendário das chuvas e temperatura no Estado do Ceará: 2018**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/calendario/>>. Acesso em: 13 abr 2020.
- GHOLIPOOR, M.; PRASAD, P. V.; MUTAVA, R. N.; SINCLAIR, T. R. Genetic variability of transpiration response to vapor pressure deficit among sorghum genotypes. **Field Crops Research**, v. 119, n. 1, p. 85-90, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.018>
- HLAVÁČOVÁ, M.; KLEM, K.; RAPANTOVÁ, B.; NOVOTNÁ, K.; URBAN, O.; HLAVINKA, P.; SMUTNÁ, P.; HORÁKOVÁ, V.; SKARPA, P.; POHANKOVÁ, E.; WIMMEROVÁ, M.; ORSÁG, M.; JURECKA, F.; TRNKA, M. Interactive effects of high temperature and drought stress during stem elongation, anthesis and early grain filling on the yield formation and photosynthesis of winter wheat. **Field Crops Research**, v. 221, n. 2, p. 182-195, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.022>
- KHOLOVÁ, J.; HASH, C. T.; KUMAR, P. L.; YADAV, R. S.; KOČOVÁ, M.; VADEZ, V. Terminal drought-tolerant pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] have high leaf ABA and limit transpiration at high vapour pressure deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 5, p. 1431-1440, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq013>
- LEMONS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; CORRÊA, M. L. P.; CECON, P. R. Morfofisiologia de plantas de milho em competição com picão-preto e trapoeraba submetidas a roçada. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 487-496, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000300004>
- MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200002>

- MARINHO, J. P.; KANAMORI, N.; FERREIRA, L. C.; FUGANTI-PAGLIARINI, R.; CARVALHO, J. F. C.; FREITAS, R. A.; MARIN, S. R. R.; RODRIGUES, F. A.; MERTZ-HENNING, L. M.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; OLIVEIRA, M. C. N.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; YOSHIDA, T.; FUJITA, Y.; YAMAGUCHISHINOZAKI, K.; NAKASHIMA, K.; NEPOMUCENO, A. L. Characterization of molecular and physiological responses under water deficit of genetically modified soybean plants overexpressing the *AtAREB1* transcription factor. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 34, n. 2, p. 410-426, 2016.
- NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>
- PADILHA, N. S.; SILVA, C. J.; PEREIRA, S. B.; SILVA, J. A. N.; HEID, D. M.; BOTTEGA, S. P.; SCALON, S. P. Q. Crescimento inicial do pinhão-manso submetido a diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 513-521, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509822752>
- PRAZERES, S. S.; LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; ARAUJO, I. C. DA S.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i2.2161>
- PUPPALA, N.; FOWLER, J. L.; JONES, T. L.; GUTSCHICK, V.; MURRAY, L. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, v. 21, n. 1, p. 33-47, 2005.
- RIVAS, R.; FALCÃO, H. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C.; SANTOS, M. G. Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. **South African Journal of Botany**, v. 103, p. 101-107, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.08.008>
- SANTOS, D. P.; LIMA, L. K. S. Avaliação agronômica de variedades de feijão-caupi em cultivo de sequeiro no município de Coremas-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 218-222, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i1.2950>
- SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; OLIVEIRA, I. A.; PEREIRA, C. E.; CAMPOS, M. C. C. Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea. **Ambiência Guarapuava**, v. 13, n. 1, p. 261-270, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.01.17nt>
- SILVA, B. N.; PAULA, S. O.; OLIVEIRA, J. V.; SILVA, J. S.; MAGALHÃES, C. H. C.; GOMES-FILHO, E.; MESQUITA, R. O. Traditional varieties of caupi submitted to water deficit: physiological and biochemical aspects. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, p. 424-436, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n6p424>
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>
- SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952>
- SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300017>
- SOUSA, M. B.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; LIMA, L. R. L. Adaptability and yield stability of cowpea elite lines of semi-prostrate growth habit in the cerrado biome. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 832-839, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170098>
- STRECK, N. A.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L.; GABRIEL, L. F.; UHLMANN, L. O.; COELHO B. C. Vegetative and reproductive development in gladiolus. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1968-1974, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012001100010>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.