

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI EM FUNÇÃO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

JOSÉ VALDENOR DA SILVA JÚNIOR¹; ANTÔNIO AÉCIO DE CARVALHO BEZERRA² E EVERALDO MOREIRA DA SILVA³

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Campus Pretrônio Portella, s/n, Bairro Ininga, CEP: 64049-550, Teresina, Piauí, Brasil, e-mail: valdenor.jr@ufpi.edu.br

² Departamento de Planejamento e Política Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Campus Pretrônio Portella, s/n, Bairro Ininga, CEP: 64049-550, Teresina, Piauí, Brasil, e-mail: aecio@ufpi.edu.br

³ Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Av. Manoel Gracindo, Km 01, Bairro Planalto Horizonte, CEP 64.900-000, Bom Jesus, Piauí, Brasil, e-mail: everaldo@ufpi.edu.br

1 RESUMO

A salinidade do solo e da água constituem uma das principais restrições abióticas na produção de alimentos. O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal do Piauí, em Alvorada do Gurguéia, PI, com o objetivo de avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação na morfofisiologia de cultivares de feijão-caupi. Foram estudados cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0,01, 1,41, 2,81, 4,21 e 5,61 dS m⁻¹); três cultivares: BRS Tumucumaque, BRS Guariba e BRS Imponente em dois períodos de cultivo. Utilizou-se o delineamento em blocos completos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram avaliados massa seca da parte aérea (MSPA), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de assimilação líquida (TAL). Houve efeito significativo da interação entre os fatores em todas as variáveis analisadas. MSPA, AF e IAF aos 25 DAS (dias após a semeadura), apresentaram reduções lineares aos aumentos da salinidade. BRS Tumucumaque apresentou maior tolerância aos efeitos da salinidade na fase final de crescimento, com os maiores índices de salinidade limiar para TAL, TCR e TCC. Enquanto a BRS Guariba foi mais tolerante na fase inicial de crescimento.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, estresse salino, morfologia.

SILVA JÚNIOR, J. V. S.; BEZERRA, A. A. C.; SILVA, E. M.
GROWTH AND DEVELOPMENT IN COWPEA CULTIVARS IN FUNCTION OF
IRRIGATION WATER SALINITY

2 ABSTRACT

The salinity of soil and water is one of the main abiotic restrictions in food production. This present study was developed at the Federal University of Piauí, in Alvorada do Gurguéia, PI, Brazil, with the objective to evaluate the effect of irrigation water salinity on the morphophysiology of cowpea cultivars. Five salinity levels of the irrigation water were

studied (0.01, 1.41, 2.81, 4.21, and 5.61 dS m⁻¹); three cultivars: BRS Tumucumaque, BRS Guariba and BRS Imponente in two cultivation periods. A randomized complete block design was used in the split-split plot arrangement, with four replications. Dry mass aerial part (MSPA), leaf area (AF), leaf area index (IAF), crop growth rate (TCC), relative growth rate (TCR) and liquid assimilation rate (TAL) were evaluated. There was a significant effect of the interaction between factors in all variables analyzed. MSPA, AF and IAF at 25 DAS (days after sowing), showed linear reductions to increases in salinity. BRS Tumucumaque showed greater tolerance to the salinity effects in the final growth phase, with the highest threshold salinity indexes for TAL, TCR and TCC. While the BRS Guariba was more tolerant in the initial growth phase.

Keywords: *Vigna unguiculata*, saline stress, morphology.

3 INTRODUÇÃO

A salinidade do solo e da água e seus problemas associados, constituem uma das principais restrições abióticas na produção global de alimentos e são particularmente críticos em regiões semiáridas e áridas (MINHAS et al., 2020). Nessas regiões, onde a escassez de água é recorrente, verifica-se como prática comum o uso de águas subterrâneas salinas na agricultura irrigada (HOFFMAN; SHALHEVET, 2007; MINHAS; GUPTA, 1992; RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 1992, 2000) e/ou reúso de águas residuais (QADIR et al., 2010; TANJI; KIELEN, 2002).

Mais de 20% das terras cultivadas em todo o mundo são afetadas pelo estresse salino e 25% da água subterrânea usada para irrigação é considerada salina (GUPTA; HUANG, 2014; SADEGHIPOUR, 2017). No Brasil, as áreas salinas são predominantes na região Nordeste ou mais especificamente no “Polígono das Secas”, que perfazem 57% da área total da região semiárida, onde se encontram os perímetros irrigados (SÁ, 2016).

Devido a sua importância como fonte geradora de emprego e renda, e seu potencial nutricional, com altos teores proteicos, energéticos, de fibras alimentares e de minerais, bem como, em virtude da

facilidade de produção e de acessibilidade, o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] constitui-se como uma das principais culturas alimentares cultivadas, especialmente, em regiões tropicais e subtropicais que apresentam instabilidade pluviométrica e baixo nível tecnológico, como é o caso de algumas localidades da região Nordeste do Brasil (BEZERRA et al., 2014; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008; ROCHA et al., 2009).

A área cultivada com feijão-caupi no Brasil, na safra 2018/2019, foi de aproximadamente 1.276,2 mil hectares, com uma produção estimada em 637,7 mil toneladas (FEIJÃO, 2019). No Nordeste, apesar de ser a principal região produtora, há a necessidade do uso da irrigação para obtenção de rendimentos satisfatórios. (BEZERRA et al., 2010; SÁ et al., 2017).

O feijão-caupi é classificado como moderadamente tolerante à salinidade da água de irrigação, tendo o nível de 3,3 dS m⁻¹ como salinidade limiar (AYERS; WESTCOT, 1999). Pesquisadores têm observado que o uso de água salina para irrigação provoca elevação da salinidade do solo, reduzindo os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes, ocasionando redução no desenvolvimento e rendimento das plantas em consequência da redução na fotossíntese, transpiração e condutância estomática (BEZERRA et al., 2010;

NEVES et al., 2009; SADEGHIPOUR, 2017; SILVA et al., 2013, 2011).

A capacidade da planta de adaptar-se aos efeitos do sal inclui mudanças no nível foliar, relacionadas às características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, segundo as quais, inúmeras plantas se adaptam à alta salinidade e à baixa disponibilidade de água no solo (ÇIÇEK; ÇAKIRLAR, 2008). Algumas variedades de feijão-caupi foram desenvolvidas para se adaptarem a determinadas diversidades abióticas, por exemplo, seca, salinidade e quantidades elevadas de temperatura e radiação (SILVEIRA et al., 2003) que, isoladamente, ou em conjunto, podem ocasionar danos oxidativos à planta (FOYER; NOCTOR, 2000).

A avaliação do crescimento do feijão-caupi depende diretamente da área foliar e da matéria seca acumulada pela planta, já que esses fatores representam a “fábrica” e o “produto final”, respectivamente (BEZERRA, 2005). No entanto, nem sempre a grande quantidade de biomassa acumulada, será transformada em alto rendimento de grãos devido ao desenvolvimento vegetativo ser mais favorecido em solos com elevados teores de nutrientes, especialmente o nitrogênio, e que estão sendo constantemente úmidos, do que em consequência da formação de vagens e grãos (FREIRE FILHO et al., 2005).

Portanto, pressupõe-se que a salinidade da água de irrigação exerce influência nas variáveis morfológicas e de crescimento em plantas de cultivares de feijão-caupi. Com base no exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação em caracteres morfofisiológicos de três cultivares de feijão-caupi.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em cultivo irrigado, na área experimental da Fazenda Escola Alvorada do Gurguéia – FEAG, pertencente à Universidade Federal do Piauí (UFPI), no município de Alvorada do Gurguéia-PI, localizada a 08° 22’ 28” S, 43° 51’ 34” O e a 229 metros de altitude, no período de 20 de agosto a 30 de outubro de 2017 (primeiro cultivo) e de 25 de agosto a 04 de novembro de 2018 (segundo cultivo). O clima da região, de acordo com a classificação de Thornthwaite e Mather é classificado como C1, sendo caracterizado como subsumido seco, megatérmico, com pequeno excedente hídrico (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004).

O solo da área experimental foi classificado, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al., 2013), como Neossolo Quartzarênico órtico típico. Antes do plantio no primeiro cultivo, foi coletada uma amostra composta de solo na camada de 0,00-0,20 m e no segundo cultivo, foi coletada uma amostra composta na camada de 0,00-0,20 m de cada parcela para caracterização físico-química do solo da área experimental no Laboratório de Solo do Campus Professora Cinobelina Elvas da Universidade Federal do Piauí - CPCE/UFPI (Tabelas 1 e 2), conforme metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA et al., 2017). Para a amostra composta do primeiro cultivo, foram coletadas aleatoriamente sessenta amostras simples na área do experimento. Já para a composição das amostras compostas em agosto de 2018, foram coletadas aleatoriamente doze amostras simples, sendo três/parcela/repetição.

Tabela 1. Características físico-químicas do solo da área experimental da Fazenda Escola Alvorada (FEAG), antes do primeiro plantio do cultivo. Alvorada do Gurguéia, PI. Agosto de 2017.

pH	H+Al	Al	Ca	Mg	SB	T	PST	MO
H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----			%	g kg ⁻¹
5,8	1,05	0,00	1,36	0,10	1,46	2,52	0,00	5,5
P	K	Na	V	m	Argila	Silte	Areia	
----- mg dm ⁻³ -----		----- % -----		----- g/kg -----				
11,42	12,15	0,00	56,4	0,0	75	14	910	

SB = Soma de Bases Trocáveis; T = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; PST = Percentual de Sódio Trocável; MO = Matéria Orgânica; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio.

Tabela 2. Características físico-químicas do solo da área experimental da Fazenda Escola Alvorada (FEAG) antes do segundo plantio do cultivo. Alvorada do Gurguéia, PI. Agosto de 2018.

Parcela	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	SB	T	PST	MO
H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----			%	g kg ⁻¹	
CE ₀	6,3	1,33	0,00	1,66	0,12	1,82	3,15	0,40	5,6
CE ₁	5,4	1,05	0,00	1,63	0,12	1,93	2,98	5,13	5,4
CE ₂	6,1	1,26	0,00	1,62	0,12	2,04	3,30	8,11	5,7
CE ₃	6,2	0,96	0,00	1,60	0,13	2,15	3,11	12,68	5,6
CE ₄	6,1	1,14	0,00	1,59	0,12	2,32	3,46	16,83	5,7
Parcela	P	K	Na	V	m	Argila	Silte	Areia	
----- mg dm ⁻³ -----		----- % -----		----- g/kg -----					
CE ₀	11,05	11,03	2,90	57,8	0,0	76	13	910	
CE ₁	11,18	11,07	35,14	64,8	0,0	77	11	911	
CE ₂	11,70	11,30	61,45	61,8	0,0	74	17	908	
CE ₃	10,95	10,58	90,76	69,1	0,0	76	11	912	
CE ₄	11,43	10,94	133,96	67,1	0,0	71	18	910	

SB = Soma de Bases Trocáveis; T = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; PST = Percentual de Sódio Trocável; MO = Matéria Orgânica; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio.

Foram estudados cinco níveis de salinidade da água de irrigação com condutividade elétrica (CE) iguais a: 0,01 (CE₀, água do poço artesiano que abastece a FEAG), 1,41 (CE₁), 2,81 (CE₂), 4,21 (CE₃) e 5,61 (CE₄) dS m⁻¹ (fator principal); e três cultivares (C) de feijão-caupi (fator secundário): BRS Tumucumaque (C₁), BRS Guariba (C₂) e BRS Imponente (C₃), em dois períodos de cultivo (PC) (fator terciário): 2017 e 2018.

As três cultivares de feijão-caupi foram escolhidas para esse estudo, por pertencerem à mesma classe comercial, apresentarem o mesmo período de maturação e o mesmo porte de crescimento. Além disso, as cultivares estudadas, apresentam bons rendimentos de grãos, tanto em cultivos de sequeiro quanto em plantios irrigados, e a 'BRS Imponente', apesar de ser uma cultivar nova no mercado, apresenta potencial para exportação (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização das três cultivares de feijão-caupi utilizadas no experimento. Alvorada do Gurguéia, PI. Agosto de 2017.

Cultivar	Classe Comercial	Ciclo de maturação (dias)	Porte da planta	Massa de 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
BRS Tumucumaque	Branco	67-70	Semiereto	19,5	1.100*
BRS Guariba	Branco	65-70	Semiereto	19,5	1.475**
BRS Imponente	Branco	65-70	Semiereto	34,4	1.027***

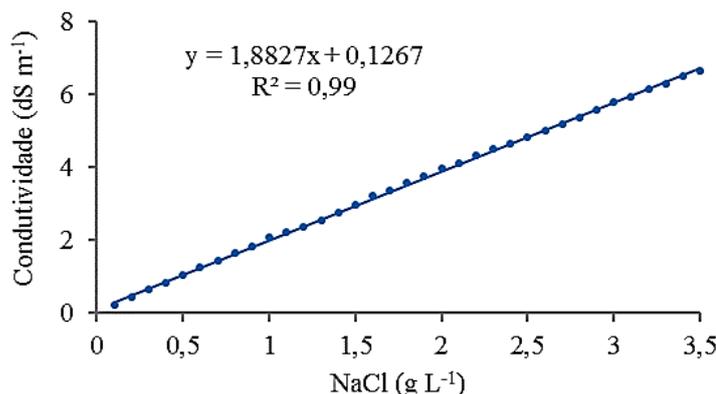
Fonte: Embrapa - * = média Norte, Nordeste e Centro-Oeste; ** = média Piauí, cultivo de sequeiro; *** = em condições experimentais e sob irrigação.

A dimensão da área total ocupada pelo experimento foi de 1.350,00 m² (45 x 30 m). As parcelas tinham dimensões de 9 x 6 m (54,0 m²) e as subparcelas apresentavam dimensões de 3 x 6 m (18,0 m²), com área útil de 10,00 m² (2 x 5 m). As subparcelas foram compostas por seis fileiras de plantas, sendo a área útil formada pelas quatro fileiras centrais de cada subparcela, das quais, as duas fileiras centrais foram utilizadas para avaliações não destrutivas e as duas laterais para avaliações destrutivas. O espaçamento adotado foi de 0,50 m entre fileiras e 0,10 m entre plantas dentro da fileira, com população de 200 mil plantas ha⁻¹. Utilizou-se o delineamento em blocos completos

casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições.

Os níveis de CE pré-definidos foram obtidos com a adição de sal (NaCl) à água de irrigação considerando-se a curva de salinidade artificial (Figura 1). O NaCl foi diluído em 30 copos descartáveis de 200 mL, nas concentrações de 0,1 à 3,0 g NaCl L⁻¹, com um intervalo entre as diluições de 0,1 g L⁻¹ e com auxílio do condutivímetro (modelo ION Con500) foram realizadas leituras da CE. Com os dados obtidos, foi construída a equação, a partir da qual se determinou a massa de NaCl a ser adicionada na água para a obtenção da CE de cada nível.

Figura 1. Curva artificial de salinidade. Alvorada do Gurguéia, PI. 2017.



Como a CE sofre a influência do meio, mesmo com a massa de NaCl para cada nível definida pela equação, foi necessário observar o comportamento da CE depois de preparadas as soluções,

realizando, quando necessário, ajustes nos valores da massa para iniciar os experimentos.

As sementes, oriundas do banco de germoplasma do Programa de

Melhoramento de Feijão-caupi da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Meio-Norte, foram submetidas ao tratamento químico, através do uso de fipronil + tiofanato metílico + piraclostrobina na proporção de 200 mL/100 kg de sementes a fim de evitar ataque por patógenos presentes no solo e/ou insetos.

A semeadura foi realizada manualmente no dia 20 de agosto de 2017 (primeiro cultivo) e em 25 de agosto de 2018 (segundo cultivo), sendo distribuídas duas sementes por cova com o objetivo de assegurar o estande inicial preestabelecido. O desbaste foi realizado dez dias após a semeadura (DAS), deixando-se apenas uma planta por cova. No processo de desbaste, as plantas excedentes foram cortadas abaixo do nó cotiledonar, evitando-se assim, o rebrotamento das mesmas e danos ao sistema radicular das plantas remanescentes. Aos 15 DAS, iniciou-se o estresse salino.

A limpeza da área e o preparo do solo no primeiro ciclo, foram feitas por meio da passagem de uma enxada rotativa seguida de aração. No segundo ciclo, foram utilizadas enxadas manuais e ancinhos para retirada dos restos vegetais da área experimental. Com o objetivo de preservar o sistema de irrigação e manter a mesma demarcação das parcelas e subparcelas do período anterior, no segundo período não foi realizada aração do solo. Em nenhum dos períodos foram aplicados corretivos de solo e/ou adubação química ou orgânica.

O controle de plantas invasoras foi realizado através de duas capinas manuais (aos 18 e 32 DAS) com o auxílio de enxadas na área experimental e em seu entorno. As plantas daninhas foram arrancadas manualmente a fim de evitar a concorrência com a cultura por água e nutrientes.

Para o controle de inseto-praga, foi realizado o levantamento da entomofauna a partir da primeira semana após a

germinação, por meio de amostragem semanal durante todo o ciclo da cultura. Vinte (20) plantas/subparcela foram amostradas aleatoriamente, em seguida, quantificou-se o número de plantas infestadas com insetos-pragas.

Foram realizadas aplicações de inseticidas para o primeiro cultivo (2017) aos 17, 28, 37, 44 e 52 DAS e aos 22, 36 e 50 DAS para o segundo cultivo (2018) conforme êxito ao nível de controle das pragas, utilizando-se Neonicotinóide na dose de 69,6 g i.a/ha.

O ensaio foi conduzido com um sistema de irrigação por gotejamento superficial. Para compor o sistema de irrigação, foi utilizada fita gotejadora com espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,30 m entre emissores, vazão nominal do emissor de $1,6 \text{ L h}^{-1}$, tubos de PVC soldável de 50 mm para o ramal principal (rede alimentadora) e de 32 mm para os ramais secundários, registros de esfera de 50 e 32 mm para o controle da abertura e fechamento da água, um manômetro e um hidrômetro instalados no início de cada parcela para o controle da pressão e vazão da água administrada em cada parcela, um filtro de tela para conter possíveis partículas que pudessem provocar o entupimento dos gotejadores, uma caixa d'água com capacidade de 15.000 litros para o armazenamento da água do poço, cinco caixas d'água com volumes de 1000 L cada uma para o armazenamento/manipulação das misturas das águas nas concentrações salinas estabelecidas para as irrigações (conforme os níveis salinos apresentados), um piezômetro graduado, instalado em cada caixa d'água (1000 L) com a finalidade de aferir corretamente o volume de água a ser aplicado em cada tratamento e uma bomba centrífuga de 1/3 cv instalada a fim de efetuar o bombeamento da água das caixas d'águas para o sistema de irrigação.

Antes dos plantios, o solo foi irrigado até atingir sua capacidade de campo. O manejo da irrigação foi efetuado

usando a evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente de cultivo (K_c). Os valores de K_c foram determinados, considerando as recomendações presentes na literatura para seus diferentes estádios fenológicos (BASTOS et al., 2008). Durante todo o ciclo do cultivo, o turno de regra foi diário, com aplicação de lâminas de reposição equiavalentes a 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c).

As lâminas de irrigação foram calculadas com o auxílio de uma planilha

eletrônica, na qual foram registrados os valores diários de ET_o, estimada pelo método de Penman-Monteith, empregando-se dados climáticos (Figura 2 e 3) obtidos de uma estação agrometeorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual está instalada no município de Alvorada do Gurguéia, PI, distante aproximadamente 7 km da área experimental.

Figura 2. Temperatura média (T_{med}), umidade relativa do ar média (UR_{med}), evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c) e precipitação. Alvorada do Gurguéia, PI. 2017.

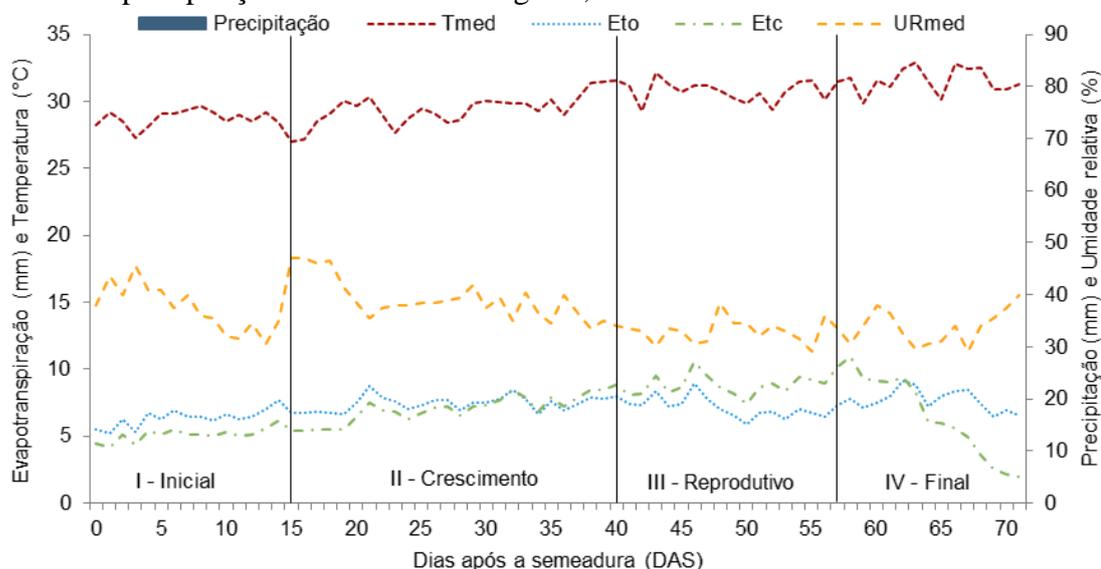
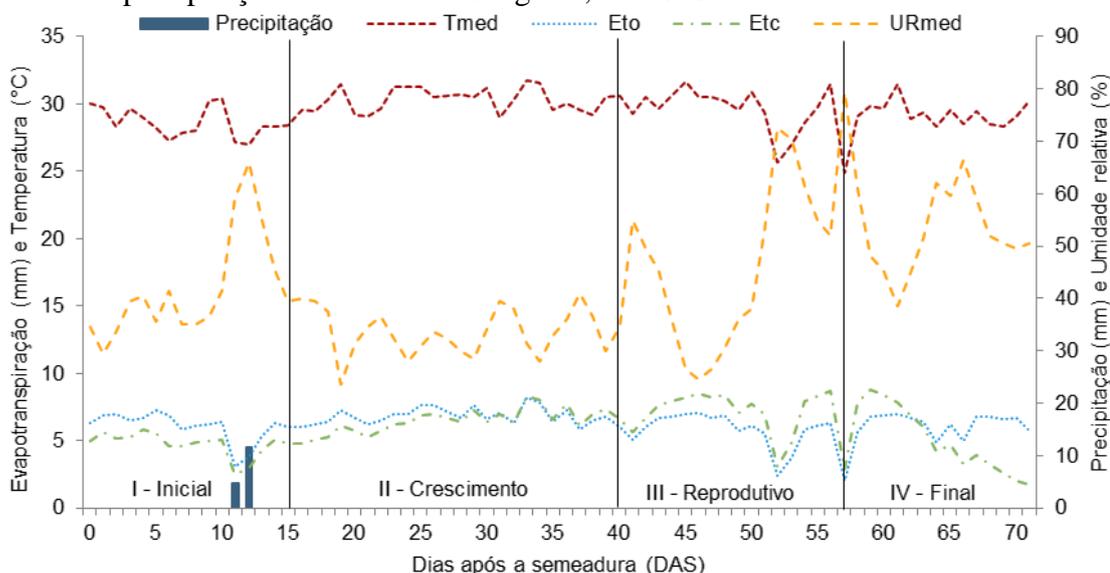


Figura 3. Temperatura média (Tmed), umidade relativa do ar média (URmed), evapotranspiração de referência (ETO), evapotranspiração da cultura (ETc) e precipitação. Alvorada do Gurguéia, PI. 2018.



As quantidades de água a serem utilizadas em cada tratamento, eram armazenadas em caixas d'água com capacidade de 1.000 L, antes do início de cada irrigação, conforme o volume a ser aplicado em cada tratamento. Os sais foram pesados em balança de precisão de 0,1 g, dissolvidos em baldes de 20 L e, logo em seguida, adicionados nas caixas d'águas dos respectivos níveis de salinidade, sendo bem misturados de modo a garantir uma boa homogeneização. A CE foi aferida através de leituras diárias, com o auxílio de um condutivímetro portátil para a manutenção e maior controle dos níveis de salinidade de cada tratamento ao longo de cada ciclo de cultivo. A aplicação do estresse salino teve início aos 15 DAS.

Aos 25 e 40 DAS foram avaliadas as variáveis: massa seca da parte aérea (MSPA, em g); área foliar (AF, em cm²); índice de área foliar (IAF); taxa de crescimento da cultura (TCC, em g m² dia⁻¹); taxa de crescimento relativo (TCR, g g⁻¹ dia⁻¹) e taxa de assimilação líquida (TAL, em g m² dia⁻¹).

A taxa de crescimento da cultura foi obtida através da Equação 1:

$$TCC = \frac{MS_2 - MS_1}{S} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

Em que: MS₁ e MS₂ são a matéria seca média da parte aérea de quatro plantas por parcela aos 25 e 40 DAS, respectivamente; S é a área do terreno ocupada pela planta e t₁ e t₂ são o tempo em dias que correspondem a 25 e 40 DAS, respectivamente.

A taxa de crescimento relativo foi obtida através da Equação 2:

$$TCR = \frac{\ln MS_2 - \ln MS_1}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

Em que: ln é logaritmo neperiano; MS₁ e MS₂ são a matéria seca da parte aérea aos 25 e 40 DAS, respectivamente, em g e t₁ e t₂ são o tempo em dias que correspondem a 25 e 40 DAS, respectivamente.

A taxa de assimilação líquida foi obtida através da Equação 3:

$$TAL = \frac{MS_2 - MS_1}{A_2 - A_1} \times \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Em que: MS_1 e MS_2 são a matéria seca da parte aérea aos 25 e 40 DAS, respectivamente, em g; A_1 e A_2 são a área foliar da planta aos 25 e 40 DAS, respectivamente, em m^2 ; t_1 e t_2 são o tempo em dias que correspondem a 25 e 40 DAS, respectivamente, e \ln é logaritmo neperiano.

A área foliar foi determinada pelo método do disco, utilizando-se um vazador com área de $6,26 \text{ cm}^2$, sendo computados dez discos foliares por planta (SOUZA et al., 2012). Posteriormente, os discos foliares e o restante da parte aérea da planta foram acondicionados separadamente em sacos de papel e colocados em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Após o período de secagem, realizou-se a pesagem das amostras (discos foliares, folhas e caule) utilizando uma balança analítica ($0,001 \text{ g}$). A massa seca da parte aérea foi obtida pelo somatório das massas obtidas nas amostras descritas anteriormente.

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o Teste F a 5% de probabilidade para verificar o

efeito significativo, ou não, de cada fator e a interação entre eles sobre as variáveis avaliadas. Para o fator qualitativo, foi aplicado o Teste Tukey a 5% de probabilidade, através do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Para o fator quantitativo, foi realizada a análise de regressão, escolhendo-se entre os modelos linear e quadrático, qual se ajustaria melhor aos dados conforme a observação do nível de significância e do maior coeficiente de determinação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que houve interação significativa ($p < 0,01$) entre os fatores condutividade elétrica da água de irrigação (CE), cultivares (C) e período de cultivo (PC) para as variáveis: massa seca da parte aérea ($MSPA_{25}$), área foliar (AF_{25}) e índice de área foliar (IAF_{25}) pelo teste F, avaliadas aos 25 DAS. Os coeficientes de variação (CV's) variaram de 1,22 a 4,65%, denotando uma excelente precisão dos resultados obtidos (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo das análises de variância para massa seca da parte aérea (MSPA₂₅), área foliar (AF₂₅) e índice de área foliar (IAF₂₅) de três cultivares (C) de feijão-caupi submetidas a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) e a dois períodos de cultivo (PC), aos 25 dias após a semeadura (DAS). Alvorada do Gurguéia, PI. 2019.

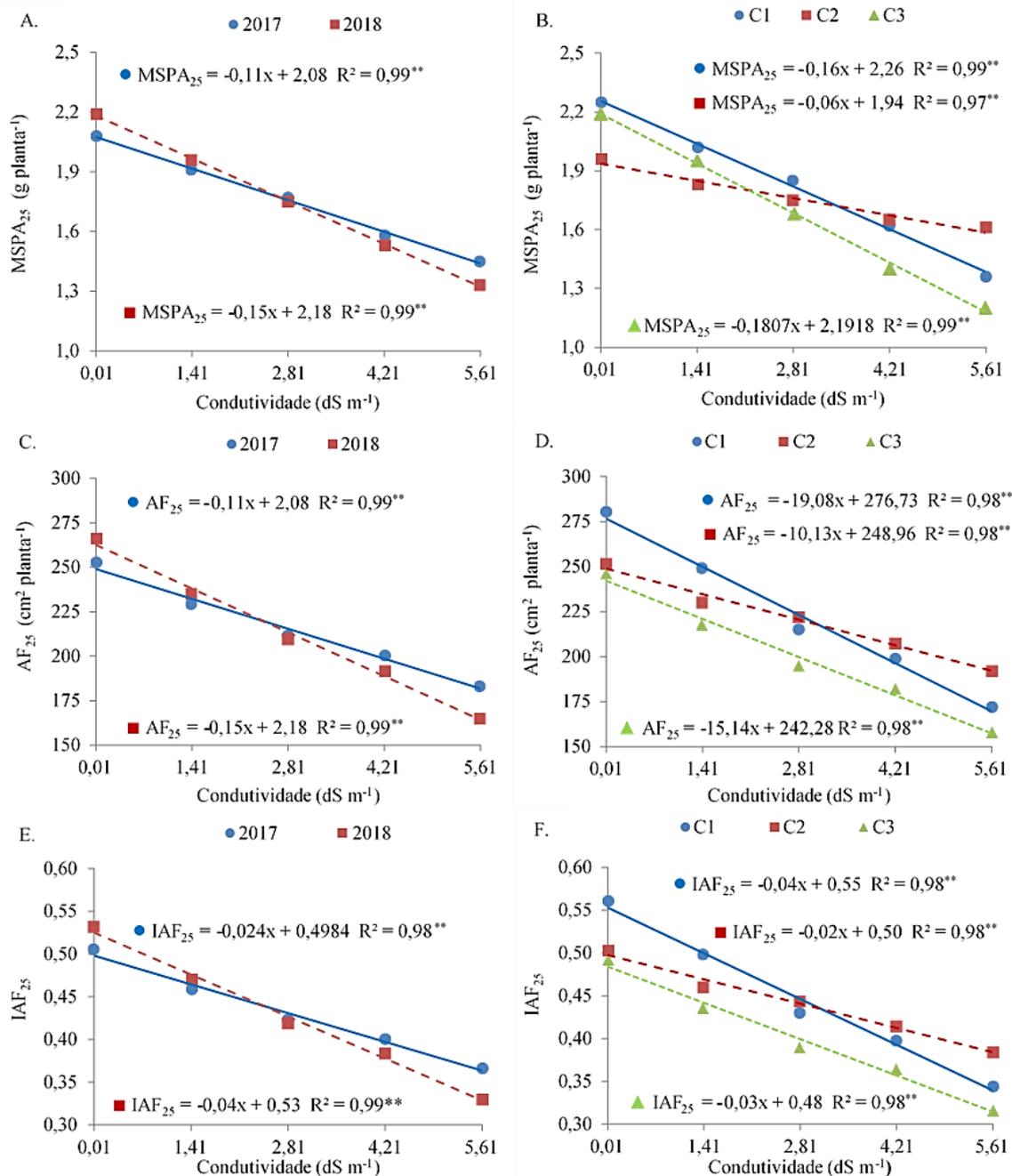
Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		MSPA ₂₅	AF ₂₅	IAF ₂₅
Bloco	3	7x10 ^{-3ns}	55,10 ^{ns}	2x10 ^{-4ns}
Condutividade elétrica (CE)	4	2,10 ^{**}	25959,82 ^{**}	0,10 ^{**}
Resíduo ₁	12	7x10 ⁻³	26,53	1x10 ⁻⁴
Cultivar (C)	2	0,18 ^{**}	6563,59 ^{**}	0,03 ^{**}
CE x C	8	0,16 ^{**}	850,84 ^{**}	3x10 ^{-3**}
Resíduo ₂	30	5x10 ⁻³	13,21	5x10 ⁻⁵
Período de cultivo (PC)	1	7x10 ^{-4ns}	129,65 ^{**}	5x10 ^{-4**}
CE x PC	4	0,05 ^{**}	905,87 ^{**}	4x10 ^{-3**}
C x PC	2	2x10 ^{-3ns}	2,17 ^{ns}	1x10 ^{-5ns}
CE x C x PC	8	2x10 ^{-3**}	20,33 [*]	8x10 ^{-5**}
Resíduo ₃	45	6x10 ⁻⁴	6,95	3x10 ⁻⁵
Médias	-	1,75 (g)	214,44 (cm ²)	0,43
CV ₁ (%)	-	4,65	2,40	2,43
CV ₂ (%)	-	4,03	1,69	1,69
CV ₃ (%)	-	1,45	1,23	1,22

¹CE, em dS m⁻¹; CV₁ = coeficiente de variação para parcela; CV₂ = coeficiente de variação para subparcela; CV₃ = coeficiente de variação para subsubparcela; ^{ns} = não significativo; *, ** = significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade respectivamente.

Analisando a massa seca da parte aérea avaliada aos 25 DAS (MSPA₂₅) na interação condutividade elétrica da água de irrigação (CE 0,01 a 5,61 dS m⁻¹) e período de cultivo (PC 2017 e 2018), verifica-se

que as três cultivares apresentaram reduções lineares significativas (p<0,01) com média de 30,3% no primeiro cultivo e de 39,3% no segundo cultivo (Figura 4A e B).

Figura 4. A) e B) Massa seca da parte aérea (MSPA₂₅), C) e D) área foliar (AF₂₅) e E) e F) índice de área foliar (IAF) aos 25 dias após a semeadura (DAS), de três cultivares de feijão-caupi: BRS Tumucumaque (C₁), BRS Guariba (C₂) e BRS Imponente (C₃), submetidas a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) em dois períodos de cultivo (2017 e 2018). Alvorada do Gurguéia, PI. 2019.



Verifica-se reduções lineares significativas ($p < 0,01$) na a MSPA₂₅ na interação entre o aumento da salinidade, aqui representada pela CE, e as cultivares de feijão-caupi. A cv. BRS Imponente foi a

mais sensível aos aumentos da salinidade apresentando a maior redução (45,2%), enquanto a cv. BRS Guariba teve a menor redução (17,9%), o que permite inferir que entre as três cultivares analisadas, a cultivar

BRS Guariba apresenta maior estabilidade aos efeitos negativos dos aumentos na CE da água de irrigação (Figura 4B).

Oliveira et al. (2013) e Silva *et al.* (2009) trabalharam com genótipos de feijão-caupi submetidos ao estresse salino e verificaram decréscimo na matéria seca de folhas e do caule quando submetidos a aumentos de CE. Aquino et al. (2017), avaliando o efeito da salinidade da água de irrigação em três genótipos de feijão-caupi, observaram reduções médias de 45,8 e 44,2% na matéria seca das folhas e matéria seca do caule, respectivamente, quando a CE aumentou de 0,55 para 4,80 dS m⁻¹. Sousa et al. (2010) avaliaram as respostas morfofisiológicas de algumas culturas ao estresse salino, incluindo o feijão-caupi, os autores encontraram reduções na matéria seca da parte aérea na ordem de 69,0% conforme os níveis de CE foram aumentando para 8,0 dS m⁻¹.

O aumento na CE promoveu reduções lineares significativas ($p < 0,01$) na área foliar avaliada aos 25 DAS (AF₂₅) das três cultivares de feijão-caupi, com média de 27,5% no primeiro cultivo e 38,0% no segundo cultivo (Figura 4C e D). A cv. BRS Tumucumaque foi a mais sensível aos efeitos da salinidade, apresentando a maior redução (38,6%), enquanto a cv. BRS Guariba teve a menor redução (23,7%), evidenciando assim, que essa cultivar apresenta maior equilíbrio entre as três cultivares avaliadas aos efeitos negativos dos aumentos na CE da água de irrigação (Figura 4D).

Esses dados são próximos aos encontrados por Aquino et al. (2017), que avaliaram as respostas morfofisiológicas de genótipos de feijão-caupi à salinidade da água de irrigação e observaram aos 25 DAS decréscimos lineares, com redução de 30,9% da AF ao nível de 6,4 dS m⁻¹ de CE na água de irrigação.

De acordo com Tester e Davenport (2003), o decréscimo da área foliar possivelmente está relacionado com um dos

mecanismos de adaptação da planta ao estresse salino, que busca diminuir a superfície transpirante. Segundo Oliveira et al. (2012) e Feitosa et al. (2015), plantas submetidas ao estresse salino apresentam alterações morfológicas e anatômicas, como reduções da área foliar, tais modificações são importante para a manutenção do elevado potencial hídrico na planta, que passa a ser obtido através da diminuição do processo de transpiração.

Foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) para os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e período de cultivo para a variável índice de área foliar aos 25 DAS (IAF₂₅) (Tabela 4). Pôde-se constatar que o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, reduziu linearmente o IAF₂₅ das plantas de feijão-caupi, que apresentou média de 27,5% no primeiro período de cultivo (2017) e 38,0% no segundo período (2018) (Figura 4E).

Os níveis de condutividade elétrica apresentaram interação significativa ($p < 0,01$) com as cultivares para o IAF₂₅ (Tabela 4). A cv. BRS Tumucumaque foi a mais sensível aos efeitos da salinidade, apresentando a maior redução (38,7%), enquanto a cv. BRS Guariba teve a menor redução (23,7%) (Figura 4F).

A ocorrência de estresse salino causa mudanças nas características da planta desde o momento da ocorrência até a maturidade (MUNNS, 2002). A célula da planta encolhe e desidrata imediatamente após o estresse ser imposto, porém é recuperado horas depois (YADAV et al., 2019). Apesar desta recuperação, o alongamento celular e, em menor grau, a divisão celular é afetada, o que resulta em menor taxa de crescimento das raízes e folhas. Uma semana após a ocorrência de estresse por salinidade, o aumento lateral da parte aérea é afetado e, meses depois, diferenças claras no crescimento geral e na lesão podem ser notadas em plantas submetidas ao estresse salino em comparação àquelas não estressadas. Esta

resposta é devido à mudanças na relação célula-água, que são resultantes de alterações osmóticas fora da raiz (efeito osmótico), o que leva a uma redução na capacidade das plantas em absorver água (YADAV et al., 2019).

Interações significativas ($p < 0,01$) entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE), cultivares (C) e período de cultivo (PC), também foram

identificadas para os caracteres MSPA₄₀, AF₄₀ e IAF₄₀ pelo teste F quando esses foram avaliados aos 40 DAS nos dois períodos de cultivo (2017 e 2018), indicando que estas variáveis são afetadas pelo efeito conjunto dos fatores. Os CV's variaram de 1,12 a 4,49%, denotando uma excelente confiabilidade para os resultados obtidos (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo das análises de variância para massa seca da parte aérea (MSPA₄₀), área foliar (AF₄₀) e índice de área foliar (IAF₄₀) de três cultivares (C) de feijão-caupi submetidas a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) e a dois períodos de cultivo (PC) aos 40 dias após a semeadura (DAS). Alvorada do Gurgueia- PI, 2019.

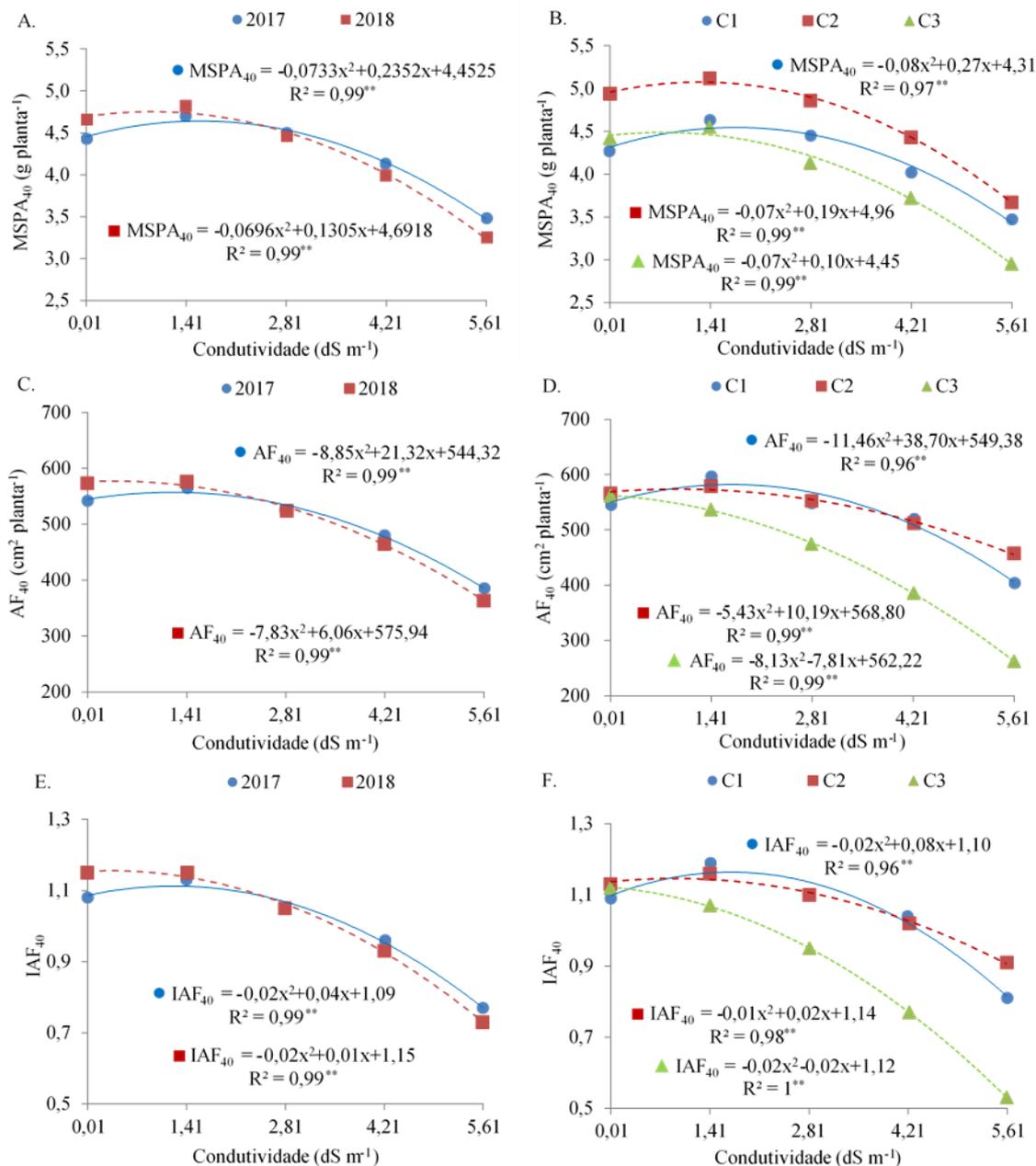
Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		MSPA ₄₀	AF ₄₀	IAF ₄₀
Bloco	3	0,02 ^{ns}	2106,08**	8x10 ^{-3**}
Condutividade elétrica (CE)	4	7,36**	122782,91**	0,61**
Resíduo ₁	12	0,02	182,34	7x10 ⁻⁴
Cultivar (C)	2	4,36**	94688,56**	0,38**
CE x C	8	0,14**	13815,89**	0,06**
Resíduo ₂	30	0,04	377,32	2x10 ⁻³
Período de cultivo (PC)	1	5x10 ^{-3ns}	16,06 ^{ns}	6x10 ^{-5ns}
CE x PC	4	0,21**	2777,58**	0,01**
C x PC	2	8x10 ^{-4ns}	62,66 ^{ns}	3x10 ^{-4ns}
CE x C x PC	8	0,02**	161,54**	6x10 ^{-4**}
Resíduo ₃	45	2x10 ⁻³	54,15	2x10 ⁻⁴
Médias	-	4,24 (g)	500,04 (cm ²)	1,00
CV ₁ (%)	-	3,34	2,70	2,71
CV ₂ (%)	-	4,49	3,88	3,89
CV ₃ (%)	-	1,12	1,47	1,47

¹CE, em dS m⁻¹; CV₁ = coeficiente de variação para parcela; CV₂ = coeficiente de variação para subparcela; CV₃ = coeficiente de variação para subsubparcela; ^{ns} = não significativo; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Aos 40 DAS, os níveis de salinidade apresentaram efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) na interação com os períodos de cultivo para a MSPA₄₀ das cultivares estudadas. As três cultivares mantiveram um aumento médio na MSPA₄₀ até o nível de 1,60 dS m⁻¹ no primeiro cultivo e 0,94 dS m⁻¹ no segundo cultivo,

nos quais apresentaram rendimentos máximos estimados de 4,64 e 4,75 g planta⁻¹, respectivamente. A partir desses níveis, foi observada uma redução acentuada na MSPA₄₀ em função do aumento da condutividade elétrica da água de irrigação administrada em cada cultivo (Figura 5A e B).

Figura 5. A) e B) Massa seca da parte aérea (MSPA₄₀), C) e D) área foliar (AF₄₀) e E) e F) índice de área foliar (IAF₄₀) aos 40 dias após a semeadura (DAS), de três cultivares de feijão-caupi: BRS Tumucumaque (C₁), BRS Guariba (C₂) e BRS Imponente (C₃), submetidas a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) em dois períodos de cultivo (2017 e 2018). Alvorada do Gurguéia, PI. 2019.



A salinidade da água de irrigação também teve interação com as cultivares, apresentando efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) para a MSPA₄₀. Foram observados aumentos médios na MSPA₄₀ até o limiar de 1,76 dS m⁻¹ para a cv. BRS Tumucumaque, 1,27 dS m⁻¹ para a

cv. BRS Guariba e 0,75 dS m⁻¹ para a cv. BRS Imponente, nos quais foram observados rendimentos máximos estimados de 4,55, 5,07 e 4,49 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 5B).

A maior redução da MSPA₄₀ (34,3%) ocorreu na cv. BRS Imponente

quando a condutividade elétrica da água de irrigação (CE) foi aumentada a partir do limiar apresentado pela cultivar até o nível máximo estudado ($5,61 \text{ dS m}^{-1}$). Para esse mesmo intervalo, a redução na MSPA₄₀ da cultivar cv. BRS Tumucumaque (24,6%) foi 20,7% menor que a média das outras duas cultivares, sendo também, 11,3% menor que a diminuição verificada na cv. BRS Guariba (27,3%) e 34,3% menor que diminuição na cv. BRS Imponente (Figura 5B). Esses resultados demonstram maior tolerância da BRS Tumucumaque às reduções impostas na MSPA₄₀ pelos aumentos na CE da água de irrigação em relação às outras duas cultivares.

Sousa et al. (2010), avaliando a morfofisiologia de algumas culturas sob estresse salino, dentre elas o feijão-caupi, encontraram reduções na MSPA na ordem de 69,0% conforme aumentos na CE até $8,0 \text{ dS m}^{-1}$. A redução da massa seca da parte aérea em plantas submetidas ao estresse salino também foi relatada por outros autores (ANDRADE et al., 2013; AQUINO et al., 2017; NEVES et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2013). O efeito negativo da salinidade sobre o acúmulo de massa seca de folhas ocorre em função da redução na expansão do limbo foliar (OLIVEIRA et al., 2017).

Avaliando a área foliar das cultivares estudadas aos 40 DAS (AF₄₀), verifica-se que os aumentos na salinidade da água de irrigação promoveram interações ($p < 0,01$) com os períodos de cultivo, apresentando efeitos quadráticos significativos. As reduções médias foram de 30,8% no primeiro cultivo (2017) e 37,0% no segundo (2018), quando a CE foi aumentada de 1,20 (2017) e 0,39 (2018) para $5,61 \text{ dS m}^{-1}$, indicando um efeito negativo nas respostas das cultivares ao aumento do nível de salinidade da água de irrigação (Figura 5C).

Os aumentos na CE também provocaram interação com as cultivares, apresentando efeitos quadráticos

significativos ($p < 0,01$) na AF₄₀. Para esta variável, a cv. BRS Imponente teve como salinidade limiar o nível mínimo estudado ($0,01 \text{ dS m}^{-1}$), com rendimentos máximos estimados de $564,10 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$. Essa mesma cultivar apresentou a maior redução (53,5%) quando a CE foi aumentada ao maior nível ($5,61 \text{ dS m}^{-1}$), indicando que ela apresenta maior sensibilidade aos aumentos da salinidade (Figura 5D).

As cultivares BRS Tumucumaque e BRS Guariba tiveram como salinidade limiar os níveis 1,69 e $0,94 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Os rendimentos máximos estimados da AF₄₀ em cada nível limiar para essas duas cultivares foram de 582,04 e $573,58 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, respectivamente, indicando uma intensificação dos efeitos negativos dos aumentos de CE em estágios mais avançados do desenvolvimento das cultivares (Figura 5D).

Para o intervalo entre o nível de salinidade limiar apresentado por cada cultivar e a CE de $5,61 \text{ dS m}^{-1}$, a redução na AF₄₀ da cultivar cv. BRS Guariba (20,7%) foi 50,7% menor que a média das outras duas cultivares, sendo também, 31,8% menor que a redução verificada na cv. BRS Tumucumaque (30,3%) e 61,3% menor que a redução observada para a cv. BRS Imponente (Figura 5D).

Esses dados corroboram com os de Aquino et al. (2017), que avaliaram respostas morfofisiológicas de genótipos de feijão-caupi à salinidade da água de irrigação aos 38 DAS e observaram decréscimos quadráticos com redução (38,8%) na AF ao nível de CE igual a $6,4 \text{ dS m}^{-1}$. Xavier et al. (2014) avaliaram o feijão-caupi submetido à irrigação com água salgada e adubação nitrogenada, observando uma redução de 33,7% na AF ao nível de CE igual a $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. As reduções significativas na área foliar em resposta ao aumento da CE pode impactar negativamente o potencial produtivo da planta (AQUINO et al., 2017).

Em condições adversas, as plantas desenvolvem formas de adaptação que resultam em alterações morfológicas e/ou bioquímicas. Entre essas, destaca-se a redução da área foliar, relacionada provavelmente a um dos mecanismos de adaptação ao estresse salino, no qual as plantas buscam diminuir sua superfície transpirante (TESTER; VENPORT, 2003). Esse comportamento já foi confirmado por outros autores em estudos desenvolvidos com a cultura do feijão-caupi (DUTRA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2013; SILVA et al., 2011).

Na interação CE x PC, os aumentos na condutividade elétrica (CE) da água de irrigação promoveram decréscimos quadráticos ($p < 0,01$) no índice de área foliar (IAF_{40}) das três cultivares de feijão-caupi aos 40 DAS (Figura 5F). Os rendimentos máximos estimados no primeiro período de cultivo (1,11) e no segundo período (1,16) foram obtidos com as condutividades limiars da água de irrigação aplicada em cada cultivo de 1,23 e 0,33 $dS\ m^{-1}$, respectivamente (Figura 5E).

As reduções médias do IAF_{40} foram de 30,8% no primeiro (2017) e 36,8% no segundo cultivo (2018) quando a CE foi aumentada do nível limiar de cada cultivo para 5,61 $dS\ m^{-1}$, indicando no geral, um efeito negativo nas respostas aos aumentos na CE da água de irrigação (Figura 5E), que foi bem mais intensa no segundo cultivo devido ao maior teor de NaCl residual no solo.

Os incrementos na salinidade da água de irrigação, também provocaram interação entre a CE e as cultivares, promovendo efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) para o IAF_{40} . Os rendimentos máximos estimados nas cultivares BRS Tumucumaque (1,16), BRS Guariba (1,15) e BRS Imponente (1,12) foram obtidos com as condutividades limiars da água de irrigação aplicada em cada cultivo de 1,70, 0,90 e 0,01 $dS\ m^{-1}$, respectivamente (Figura 5F).

A maior redução do IAF_{40} (52,7%) ocorreu na cv. BRS Imponente quando a CE foi aumentada de 0,01 para 5,61 $dS\ m^{-1}$. Quando a CE da água de irrigação aumentou do nível limiar de cada cultivar para o maior nível de salinidade estudado, observou-se que a cv. BRS Guariba (21,5%) apresentou média 48,4% menor que a média das outras duas cultivares, sendo também, 29,4% menor que a diminuição verificada na cv. BRS Tumucumaque (30,4%) e 59,3% menor que a redução observada para a cv. BRS Imponente (Figura 5F).

A análise de variância mostrou interação significativa ($p < 0,01$) entre os fatores condutividade elétrica da água de irrigação (CE) e cultivares (C) para os caracteres TCC, TCR e TAL pelo teste F, avaliados no intervalo de 25 a 40 DAS nos dois ciclos de cultivo. Os CV's variaram de 0,81 a 9,08%, significando ótima confiabilidade nos resultados obtidos (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo das análises de variância para taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de assimilação líquida (TAL) de três cultivares (C) de feijão-caupi submetidas a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) e a dois períodos de cultivo (PC), avaliados no intervalo de 25 e 40 dias após a semeadura (DAS). Alvorada do Gurgueia, PI. 2019.

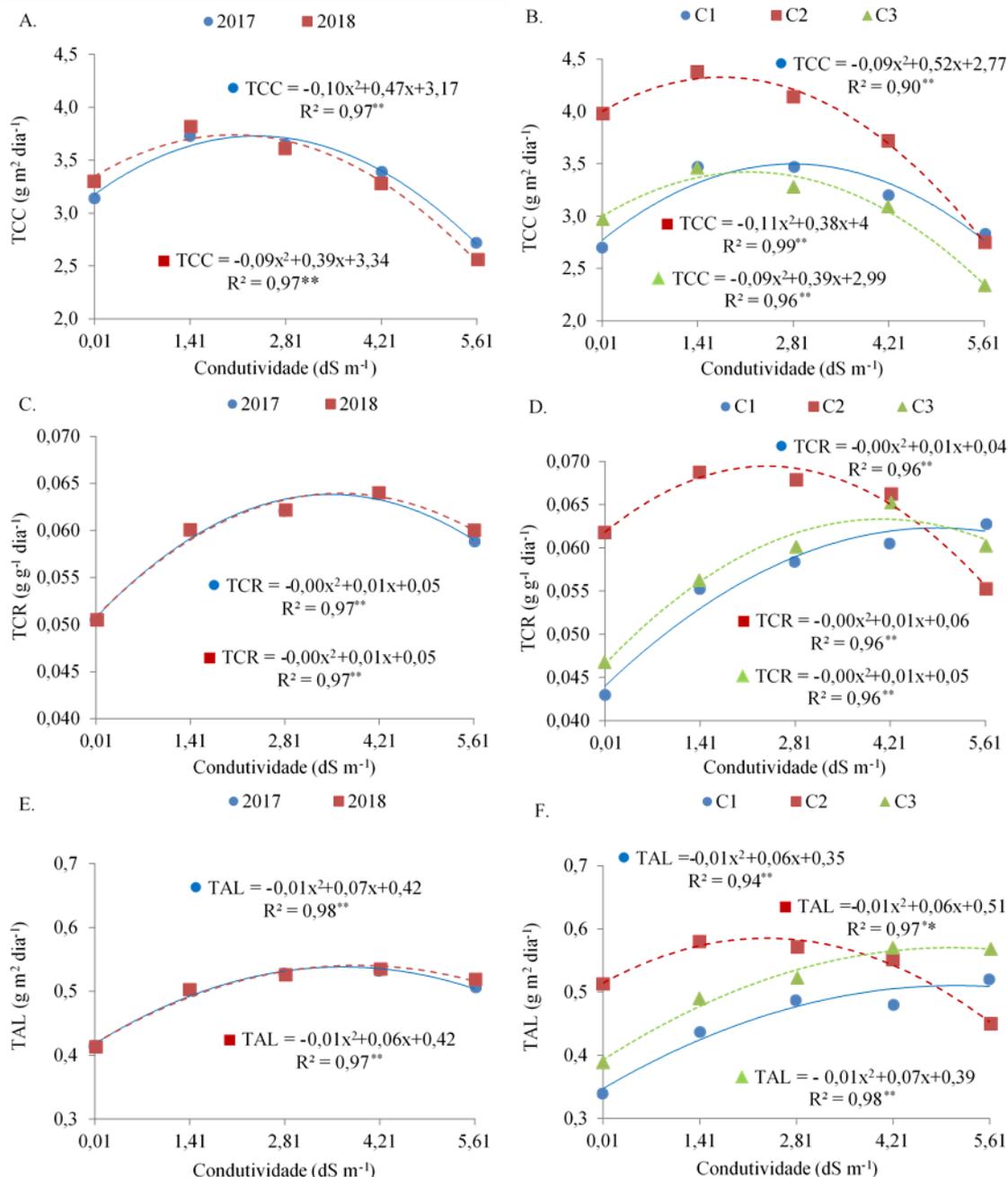
Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios ¹		
		TCC	TCR	TAL
Bloco	3	0,05 ^{ns}	1x10 ^{-5ns}	3x10 ^{-3ns}
Condutividade elétrica (CE)	4	4,66 ^{**}	6x10 ^{-4**}	0,06 ^{**}
Resíduo ₁	12	0,07	2x10 ⁻⁵	2x10 ⁻³
Cultivar (C)	2	6,89 ^{**}	7x10 ^{-4**}	0,07 ^{**}
CE x C	8	0,51 ^{**}	2x10 ^{-4**}	0,02 ^{**}
Resíduo ₂	30	0,09	2x10 ⁻⁵	2x10 ⁻³
Período de cultivo (PC)	1	3x10 ^{-3ns}	2x10 ^{-6*}	2x10 ^{-4**}
CE x PC	4	0,11 ^{**}	2x10 ^{-6**}	2x10 ^{-4**}
C x PC	2	4x10 ^{-4ns}	4x10 ^{-6**}	3x10 ^{-4**}
CE x C x PC	8	0,03 ^{**}	8x10 ^{-6**}	5x10 ^{-4**}
Resíduo ₃	45	2x10 ⁻³	4x10 ⁻⁷	2x10 ⁻⁵
Médias	-	(g m ² dia ⁻¹)	(g g ⁻¹ dia ⁻¹)	(g m ² dia ⁻¹)
		3,32	0,06	0,50
CV ₁ (%)	-	8,09	8,31	8,98
CV ₂ (%)	-	8,82	7,31	9,08
CV ₃ (%)	-	1,29	0,99	0,81

¹CE, em dS m⁻¹; CV₁ = coeficiente de variação para parcela; CV₂ = coeficiente de variação para subparcela; CV₃ = coeficiente de variação para subsubparcela; ^{ns} = não significativo; *, ** = significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os aumentos na salinidade da água de irrigação, provocaram interação entre a CE e os períodos de cultivo, com efeitos quadráticos significativos (p<0,01) na taxa de crescimento da cultura (TCC) das três cultivares de feijão-caupi. Os rendimentos máximos estimados da TCC no primeiro (3,73 g m² dia⁻¹) e no segundo cultivo (3,74 g m² dia⁻¹) foram obtidos com as condutividades da água de irrigação de 2,38

e 2,05 dS m⁻¹, respectivamente, representado assim a salinidade limiar média para cada período de cultivo. Sendo as reduções médias iguais a 27,6% em 2017 (primeiro) e 22,1% em 2018 (segundo cultivo) quando a CE aumentou do nível de salinidade limiar de cada cultivo para 5,61 dS m⁻¹ (Figura 6A).

Figura 6. A) e B) Taxa de crescimento da cultura (TCC); C) e D) taxa de crescimento relativo (TCR) e E) e F) taxa de assimilação líquida (TAL) de três cultivares de feijão-caupi: BRS Tumucumaque (C₁), BRS Guariba (C₂) e BRS Imponente (C₃), submetidas a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CE) e a dois períodos de cultivo (2017 e 2018). Alvorada do Gurguéia, PI. 2019.



Analisando a interação entre a CE e as cultivares, verifica-se que os aumentos na condutividade elétrica (CE) da água de irrigação, também promoveram efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) para a TCC (Figura 6B). Os valores máximos

estimados para TCC nas cultivares BRS Tumucumaque ($3,5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), BRS Guariba ($4,33 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e BRS Imponente ($3,42 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foram obtidos com os níveis de 2,81, 1,76 e 2,17 dS m^{-1} da CE da água de irrigação aplicada em cada cultivo,

respectivamente. Esses níveis representam a salinidade limiar de cada cultivar em relação à TCC (Figura 6B).

Observa-se um incremento constante na TCC das cultivares quando a salinidade da água de irrigação é aumentada de $0,01 \text{ dS m}^{-1}$ até os níveis de salinidade limiars de cada cultivar. A partir desses níveis, houve reduções de 20,8, 36,5 e 31,3% nas TCCs das cultivares BRS Tumucumaque, BRS Guariba e BRS Imponente, respectivamente (Figura 6B).

Fazendo uma análise geral da Figura 6B, percebe-se que o uso de água de irrigação de maior salinidade ($5,61 \text{ dS m}^{-1}$) provoca os menores valores da TCC, independentemente, das cultivares, com exceção da cultivar BRS Tumucumaque, que apresentou a menor TCC no menor nível de salinidade ($0,01 \text{ dS m}^{-1}$), destaca-se que essa cultivar apresentou maior tolerância aos efeitos deletérios da salinidade, representada neste estudo, pelo seu maior nível de salinidade limiar e menor percentual de redução da TCC em relação às demais cultivares estudadas.

Os resultados obtidos para TCC podem ser justificados pelas reduções verificadas na massa seca da parte aérea (Figuras 4A e B e 5A e B) e área foliar (Figuras 4C e D e 5C e D), haja vista que essas variáveis estão diretamente relacionadas ao crescimento das plantas (BEZERRA et al., 2014).

Na interação entre salinidade da água de irrigação e período de cultivo, os aumentos na CE promoveram efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) na taxa de crescimento relativo (TCR) das três cultivares de feijão-caupi. Os rendimentos máximos estimados da TCR no primeiro ($0,06 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e no segundo cultivo ($0,08 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foram obtidos com as condutividades limiars da água de irrigação aplicada em cada cultivo de $3,41$ e $3,65 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente (Figura 6C).

Quando a CE foi aumentada de $0,01$ até a condutividade limiar de cada período,

os acréscimos médios na TCR foram de 24,5% em 2017 e 18,5% em 2018, que são respectivamente o primeiro e o segundo período de cultivo. A partir desse ponto até a CE de $5,61 \text{ dS m}^{-1}$, houve decréscimos médios na TCR com percentuais de 8,6 e 4,9%, para o primeiro e segundo período de cultivo, respectivamente (Figura 6C).

Os aumentos na salinidade da água de irrigação, também promoveram efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) para a TCR na interação entre os níveis de CE e as cultivares. Os rendimentos máximos estimados da TCR nas cultivares BRS Tumucumaque ($0,062 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), BRS Guariba ($0,070 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e BRS Imponente ($0,064 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foram obtidos com as condutividades de $4,69$, $2,46$ e $4,15 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente (Figura 6D).

Quando a CE foi aumentada de $0,01 \text{ dS m}^{-1}$ para os níveis de máximo rendimento de cada cultivar, observou-se que a cv. BRS Tumucumaque apresentou maior acréscimo médio na TCR (40,0%), seguida pela cv. BRS Imponente (35,6%) e cv. BRS Guariba (12,4%), que apresentou o menor acréscimo. A partir dos níveis de CE máximos apresentados por cada cultivar até a CE de $5,61 \text{ dS m}^{-1}$, verifica-se decréscimos entre as três cultivares, com destaque para a cv. BRS Guariba que apresentou redução de 12,4% na TCR (Figura 6D).

A TCR considera o incremento (aumento em gramas de fito massa seca) em relação ao que a planta apresentava anteriormente (material pré-existente), ou seja, é a medida da rapidez com que uma planta cresce quando comparada com o seu tamanho inicial (BENINCASA, 2003).

Segundo Larcher (2000), os processos de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito do sal, de forma que a taxa de crescimento e a produção de biomassa são bons critérios para avaliação do grau de estresse e da capacidade da planta em superar a salinidade.

Analisando o desempenho das cultivares na interação período de cultivo e cultivar, nota-se que os aumentos na condutividade elétrica (CE) da água de irrigação promoveram efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) na taxa de assimilação líquida (TAL) (Figura 6E e F). Os rendimentos máximos estimados ($0,54 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no primeiro e no segundo período de cultivo foram obtidos com as condutividades de $3,67$ e $3,88 \text{ dS m}^{-1}$ da água de irrigação aplicada em cada cultivo, respectivamente (Figura 6E).

Os acréscimos médios foram de $28,2$ e $28,9\%$ (no primeiro e no segundo período de cultivo, respectivamente) quando a CE foi aumentada de $0,01 \text{ dS m}^{-1}$ até os níveis de CE que obtiveram os máximos rendimentos da TAL em cada período ($3,67$ e $3,88 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente). A partir desses níveis até à CE máxima estudada ($5,61 \text{ dS m}^{-1}$), nota-se um pequeno decréscimo nos dois períodos de cultivo (Figura 6E).

Aumentos na salinidade da água de irrigação, também promoveram efeitos quadráticos significativos ($p < 0,01$) na taxa de assimilação líquida (TAL) na interação CE e cultivar. Os rendimentos máximos estimados da TAL nas cultivares BRS Tumucumaque ($0,51 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), BRS Guariba ($0,59 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e BRS Imponente ($0,57 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foram obtidos com os níveis de $5,15$, $2,37$ e $5,04 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica da água de irrigação, respectivamente (Figura 6F).

Fazendo uma comparação geral entre os dois períodos de cultivo, verifica-se que o desempenho das cultivares nas interações entre CE e cultivar e CE e períodos de cultivo em relação à AF_{25} (Figura 4C e D), AF_{40} (Figura 5C e D) e TCR (Figura 6C e D), manteve-se semelhante ao desempenho do IAF_{25} (Figura 4E e F), IAF_{40} (Figura 5E e F) e TAL (Figura 6E e F) para essas mesmas interações, apresentando curvas com o mesmo comportamento. Como também,

apresenta uma redução média de $8,9\%$ na TCC; $9,0\%$ na $MSPA_{25}$ e na $MSPA_{40}$; $10,5\%$ na AF_{25} e no IAF_{25} e $7,8\%$, na AF_{40} e no IAF_{40} , ambas no segundo período de cultivo. Essa maior redução no segundo período, é resultante dos teores residuais de sódio nas parcelas (Tabela 2), que contribuíram para o aumento dos efeitos negativos no desenvolvimento das plantas.

Sob condições de campo, a distribuição de sais não é uniforme conforme a profundidade do solo, nem constante ao longo do tempo. A não uniformidade da distribuição da salinidade é geralmente afetada pelas práticas de irrigação e pela quantidade e padrões de precipitação (MINHAS et al., 2020). Neste estudo, a concentração pluviométrica no período compreendido entre o final do primeiro período de cultivo e o início do segundo, não deslocou por completo os sais (NaCl) acumulados na superfície para as camadas mais profundas do solo.

6 CONCLUSÕES

Nas condições climáticas e ambientais em que o trabalho foi realizado, pode-se concluir que o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação promove reduções lineares nos caracteres morfofisiológicos massa seca da parte aérea, área foliar e índice de área foliar das plantas de feijão-caupi, cultivares BRS Tumucumaque, BRS Guariba e BRS Imponente, quando esses são avaliados na fase inicial de crescimento. A cultivar BRS Guariba é mais tolerante, na fase inicial de crescimento, aos efeitos negativos dos aumentos da salinidade da água de irrigação. A cultivar BRS Tumucumaque apresenta maior tolerância aos efeitos deletérios dos aumentos da salinidade da água de irrigação na fase final de crescimento, apresentando os maiores índices de salinidade limiar para a taxa de

assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e taxa de crescimento da cultura.

7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. R.; MAIA JUNIOR, S. O.; SILVA, P. F.; BARBOSA, J. W. S.; NASCIMENTO, R.; SOUSA, J. S. Crescimento inicial de genótipos de feijão caupi submetidos a diferentes níveis de água salina. **Agropecuária científica no Semiárido**, Patos, v. 9, n. 4, p. 38-43, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Atlas Climatológico do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004.
- AQUINO, J. P. A.; BEZERRA, A. A. C.; ALCÂNTARA NETO, F.; LIMA, C. J. G. S.; SOUSA, R. R. Morphophysiological Responses of Cowpea Genotypes To Irrigation Water Salinity. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2017.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **The water quality in agriculture**. 2. ed. Campina Grande: UFPB: FAO, 1999. (Irrigation and Drainage Paper, n. 29)
- BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. D. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurgueia, Piauí. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003.
- BEZERRA, A. A. C. **Efeitos de arranjos populacionais na morfologia e produtividade de feijão-caupi de crescimento determinado e porte ereto**. 2005. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.
- BEZERRA, A. A. C.; NEVES, A. C.; ALCÂNTARA NETO, F.; SILVA JÚNIOR, J. V. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar brs novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 135-141, 2014.
- BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1075-1082, 2010.
- ÇIÇEK, N.; ÇAKIRLAR, H. Effects of Salt Stress on Some Physiological and Photosynthetic Parameters at Three Different Temperatures in Six Soya Bean (*Glycine max* L. Merr.) Cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 194, n. 1, p. 34-46, 2008.
- FEIJÃO. **Acompanhamento da Safra Brasileira**: grãos, Brasília, DF, v. 6, n. 11, p. 1-107, 2019. Safra 2018/2019, Décimo primeiro levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>. Acesso

em: 31 dez. 2019.

DUTRA, A. T.; SILVA, E. N.; RODRIGUES, C. R. F.; VIEIRA, S. A.; ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G. Temperaturas elevadas afetam a distribuição de íons em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 403-409, 2011.

FEITOSA, S. O.; SILVA, S. L.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, M.; FEITOSA, E. O. Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 36, n. 1, p. 146-155, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. **New Phytologist**, Hoboken, v. 146, n. 3, p. 359-388, 2000.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. D. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 28-92.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.

GUPTA, B.; HUANG, B. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization. **International Journal of Genomics**, London, v. 2014, n. 701596, p. 1-18, 2014.

HOFFMAN, G. J.; SHALHEVET, J. Controlling Salinity. In: HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOTT, R. L. (ed.). **Design and Operation of Farm Irrigation Systems**. 2. ed. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007. p. 160-207.

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

MINHAS, P. S.; GUPTA, R. K. **Quality of irrigation water: assessment and management**. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research, 1992.

MINHAS, P. S.; RAMOS, T. B.; BEN-GAL, A.; PEREIRA, L. S. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 227, n. 105832, p. 1-22, 2020.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environmental**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de

nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 758-765, 2009.

OLIVEIRA, F. D. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; LIMA, L. A.; ALVES, R. C.; RÉGIS, L. R. L.; SANTOS, S. T. Estresse salino e biorregulador vegetal em feijão caupi. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 314-329, 2017.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; SOUZA, A. A. T.; FERREIRA, J. A.; SOUZA, M. S. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 465-471, 2013.

OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; LIMA, L. A.; BEZERRA, F. M. S.; CAVALCANTE, A. L. G. Desenvolvimento inicial do maxixeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Agropecuária científica no Semiárido**, Patos, v. 8, n. 2, p. 22-28, 2012.

QADIR, M.; WICHELNS, D.; RASCHID-SALLY, L.; MCCORNICK, P. G.; DRECHSEL, P.; BAHRI, A.; MINHAS, P. S. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 4, p. 561-568, 2010.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use of saline waters for crop production**. Rome: FAO, 1992. (Irrigation and Drainage Paper, 48).

RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para a produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. (Estudos FAO, 48)

ROCHA, M. M.; CARVALHO, K. J. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, Â. C. A.; GOMES, R. L. F.; SOUSA, I. S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 3, p. 270-275, 2009.

SÁ, F. V. S. **Morfofisiologia de plantas de feijão-caupi sob estresse salino e adubação fosfatada**. 2016. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

SÁ, F. V. S.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B.; PAIVA, E. P.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. D. S. Initial development of cowpea plants under salt stress and phosphate fertilization. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 3, p. 405-415, 2017.

SADEGHIPOUR, O. Amelioration of salinity tolerance in cowpea plants by seed treatment with methyl jasmonate. **Legume Research**, Karnal, v. 40, n. 6, p. 1100-1106, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SILVA, F. E. O.; MARACAJÁ, P. B.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, M. K. T. Desenvolvimento vegetativo do feijão caupi irrigado com água salina em casa de vegetação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 152-155, 2009.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; SOUSA, C. H. C.; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 304-317, 2013.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L.; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 383-389, 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; COSTA, R. C. L.; VIEGAS, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A.; FIGUEIREDO, M. V. B. N-compound accumulation and carbohydrate shortage on N₂ fixation in drought-stressed and rewatered cowpea plants. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 1, n. 3, p. 65-75, 2003.

SOUSA, C. H. C.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, F. M. L.; GOMES FILHO, E.; GHEY, H. R.; SOUSA, A. E. C.; SOUSA, G. G. Respostas morfofisiológicas de plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão sob estresse salino. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 31, n. 2, p. 29-36, 2010.

SOUZA, M. S.; ALVES, S. S. V.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, J. D. B.; AROUCHA, E. M. M. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 241-245, 2012.

TANJI, K. K.; KIELEN, N. C. **Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas**. Rome: FAO, 2002.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.

XAVIER, D. A.; FURTADO, G. F.; SOUSA JUNIOR, J. R.; SOUSA, J. R. M.; SOARES, L. A. A. Índices fisiológicos do feijão-caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. **Revista Verde**, Pombal, v. 9, n. 1, p. 294-298, 2014.

YADAV, S. P.; BHARADWAJ, R.; NAYAK, H.; MAHTO, R. Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. **International Journal of Chemical Studies**, Rohini, v. 7, n. 2, p. 1793-1798, 2019.