



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**IGOR ENEAS CAVALCANTE**

**O SILÍCIO ATENUA ESTRESSE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI  
SUBMETIDOS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2018**

**IGOR ENEAS CAVALCANTE**

**O SILÍCIO ATENUA ESTRESSE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI  
SUBMETIDOS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, de natureza “Artigo”, apresentado ao departamento de Biologia da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como requisito para obtenção do título de licenciatura plena em Ciências Biológicas.

ORIENTADOR (a): Prof. Dr. Alberto Soares de Melo.

**CAMPINA GRANDE – PB  
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C376s Cavalcante, Igor Eneas.

O silício atenua estresse em genótipos de feijão-caupi submetidos à irrigação deficitária [manuscrito] / Igor Eneas Cavalcante. - 2018.

28 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Alberto Soares de Melo ,  
Coordenação de Curso de Biologia - CCBS."

1. Silício. 2. Feijão-caupi. 3. Estresse abiótico. I. Título

21. ed. CDD 635.652

IGOR ENEAS CAVALCANTE

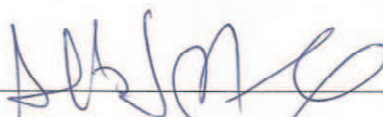
O SILÍCIO ATENUA ESTRESSE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDOS À  
IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, de natureza  
“Artigo”, apresentado ao departamento de Biologia  
da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como  
requisito para obtenção do título de licenciatura  
plena em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Ciências Biológicas

Aprovada em: 27/11/2018.

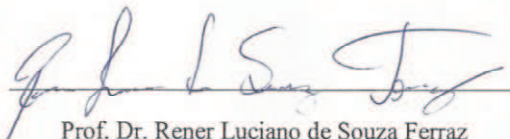
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Alberto Soares de Melo (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Yuri Lima Melo  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

À minha família, professores, amigos e todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para minha formação, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que me concedeu saúde, sabedoria e coragem para enfrentar todas as dificuldades;

Aos meus pais Cesar Ramos Cavalcante e Joselma de Farias Eneas, pelo amor, pela confiança, compreensão, educação, carinho, apoio, conselho e dedicação para me manter na graduação;

A toda minha família, pelos conselhos e por todo apoio durante a minha graduação;

Ao meu orientador Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, por ter me acolhido no ECOLAB e pela dedicação, amizade e ensinamentos;

A Yuri pelos ensinamentos, apoio e compreensão durante a realização das atividades laboratoriais;

Aos meus colegas do Ecolab, Auta, Renato, Venancio, Anderson, Wellerson e Duval por todo companheirismo e ajuda na realização das atividades;

A minha amiga Roseane, por ter estado sempre ao meu lado me aconselhando e apoiando durante todas as etapas da minha graduação, compartilhando alegria e descontração;

A minha companheira de turma Kamila Alves, pela indicação para fazer parte do Ecolab, e aos demais colegas de curso, Marcia, Kelly, Leonardo, Bruno, Danília, Rosy, Deise e Danielle, por terem estado ao meu lado durante esses últimos anos, compartilhando conhecimento e aprendizado;

A todos os professores que fizeram parte da minha formação, pelo tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender;

A Embrapa meio-norte, pela concessão das sementes utilizadas na pesquisa;

A UEPB / CNPq pela concessão da bolsa de estudos, referente ao projeto de iniciação científica (PIBIC), e disponibilidade do espaço e equipamentos necessários para realização das atividades do referido projeto;

A minha noiva Tamires Araújo, por toda confiança e compreensão e a nossa filha Maria Cecília, por me ensinar o verdadeiro sentido do amor;

A todos que constituem a Universidade Estadual da Paraíba, por disponibilizar a infraestrutura e apoio necessário durante a graduação;

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,  
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre  
aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>07</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>09</b>
2.1	Localização, delineamento e fatores estudados.....	09
2.2	Instalação e condução do experimento.....	11
2.3	Variáveis analisadas .....	13
2.3.1	Crescimento,.....	13
2.3.2	Potencial hídrico foliar,.....	14
2.3.3	Quantificação de prolina livre,.....	14
2.4	Análises estatísticas .....	15
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>15</b>
3.1	Potencial hídrico foliar.....	15
3.2	Variáveis de crescimento .....	16
3.3	Teor de prolina livre .....	22
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>



## O SILÍCIO ATENUA ESTRESSE EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDOS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA

Igor Eneas Cavalcante<sup>1</sup>

### RESUMO

O feijão-caupi encontra-se adaptado às condições adversas do clima semiárido brasileiro, no entanto, o déficit hídrico ainda é um fator que diminui a produtividade desta cultura. Contudo, elementos como o silício podem atuar como mitigadores dos efeitos do déficit hídrico. Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o silício como atenuador do déficit hídrico em cultivares de feijão-caupi submetidos à irrigação deficitária. Para isso, o estudo foi realizado em área experimental da Universidade Estadual da Paraíba em Campina Grande-PB, sendo conduzido em vasos com capacidade para 25L, arranjos no delineamento experimental em blocos casualizados, com esquema fatorial 4x2x3 e cinco repetições. Os fatores avaliados foram constituídos por quatro cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba, BRS Itaim, BRS Aracê e BRS Rouxinol), duas lâminas de irrigação (50 e 100% da demanda evaporativa do ar) e três concentrações de silício (0, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup>) aplicadas via foliar, na forma de silicato de potássio. Foram realizadas avaliações de crescimento e fisiológicas, onde os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (teste F, p < 0,05), seguidos pelo teste de comparação de médias (Tukey, p < 0,05) para os cultivares e concentrações de silício, utilizando-se o software SISVAR 5.6. O silício proporcionou atenuação do estresse hídrico nos cultivares de feijão-caupi submetidos à restrição hídrica, sendo a concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> a mais eficiente na mitigação dos efeitos do estresse e os genótipos BRS Guariba e BRS Aracê os que melhor suportaram a restrição hídrica com a aplicação dessa substância.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata* (L.) Walp, silício, estresse abiótico, prolina.

### 1. INTRODUÇÃO

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) constitui um dos principais componentes da dieta alimentar da população, principalmente na zona rural (WANDER, 2013), devido ao seu alto valor nutritivo. Nessas regiões, ele se destaca também pelo seu valor comercial, representando uma das principais fontes de renda para as populações rurais (PÚBLIO-JÚNIOR et al., 2017). Contudo, em virtude do baixo nível tecnológico empregado no sistema de cultivo no Brasil, a produtividade desta leguminosa ainda é consideravelmente baixa (400 kg ha<sup>-1</sup>) (FREIRE FILHO et al, 2011;

---

<sup>1</sup> Aluno de Graduação em Ciências Biológicas na Universidade Estadual da Paraíba – Campus I.  
Email: igorencavalcante@gmail.com

SABOYA et al., 2013); o que, segundo Silva et al. (2016), deve-se as reduções no crescimento e no desenvolvimento desse vegetal em situação de deficiência hídrica.

O estresse por deficiência hídrica é um dos fatores mais agravantes para a perda da produtividade, já que quando acomete as culturas vegetais, pode provocar vários danos, tais como: alterações fisiológicas em nível de área foliar, matéria seca total, fotossíntese, condutância estomática, transpiração e potencial hídrico foliar, refletindo na produtividade final do vegetal (FREITAS et al., 2017). Por sua vez, sob restrição de água no solo, as plantas apresentam ajustamento osmótico por meio da acumulação ativa de osmólitos compatíveis como um importante mecanismo de adaptação à seca (BABITA et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2016). Dentre esses compostos, encontra-se a prolina, aminoácido essencial, com função osmoprotetora, que auxilia na manutenção da integridade das membranas celulares contra os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio (ASHRAF et al., 2011) e cujo aumento contribui para a preservação da integridade das proteínas e enzimas, pois aumenta a pressão osmótica no interior das células e mantém a absorção de água, mantendo a continuidade dos processos fisiológicos (MARIJUAN e BOSCH, 2013), além de proteger as estruturas celulares e estimular o crescimento das raízes (GONZALEZ et al., 2010; MENDES et al., 2013).

De modo geral, a ocorrência de déficit hídrico implica uma variedade de respostas, as quais alteram todo o mecanismo fisiológico (DUTRA et al., 2015). Nesse sentido, a indução de melhorias na fisiologia e morfologia do feijão-caupi torna-se uma ferramenta importante para a viabilidade do cultivo em regiões com predominância de deficiência hídrica. Para tanto, o uso de algumas substâncias pode colaborar, juntamente com o manejo adequado da irrigação, para o aumento da eficiência no uso da água (FERRAZ et al., 2014).

Para Ferraz et al. (2014), Souza et al. (2014), Dutra et al. (2015), Teodoro et al. (2015) e Imtiaz et al. (2016), o estresse abiótico pode ser atenuado por meio da aplicação de indutores, tais como o silício, substância comumente encontrada nos tecidos vegetais e que confere vários benefícios às plantas (HERNANDE ZAPAOLAZA, 2014). O silício pode proporcionar aumento na produtividade de diversas culturas, reduzir o excesso de metais, potencialmente fitotóxicos, promover maior tolerância às situações de estresse, sejam hídrico ou salino (RODRIGUES et al., 2011; FERRAZ et al., 2014), além de melhorar a eficiência do uso da água e mitigar o efeito do estresse oxidativo (ZANETTI et al., 2016).

Uso de silício na agricultura, associado ao ganho na capacidade fotossintética e redução na transpiração, são registros importantes no mecanismo de resistência das plantas cultivadas em situações de baixa disponibilidade hídrica, notadamente pelo aumento na

eficiência no uso da água (GUNTZEN et al., 2012; FERRAZ et al., 2014). Desse modo, a caracterização do estresse abiótico tem se tornado um tema importante na seleção de cultivares de plantas mais tolerantes às condições agroclimáticas adversas (BELKO et al., 2013).

A aplicação dessa substância vem sendo estudada, principalmente, na indução de tolerância ao déficit hídrico em várias espécies, tais como: o girassol (ALI et al., 2013), o algodão (FERRAZ et al., 2014), o milho (SOUZA et al., 2014) e a soja (TEODORO et al., 2015). Entretanto, as pesquisas ainda são escassas acerca da aplicação de silício em feijão-caupi cultivado sob limitação hídrica.

O feijão-caupi possui uma grande diversidade genotípica, então compreender como um ou uma combinação de fatores interage em condições de restrição hídrica pode ajudar na melhoria do rendimento agrônômico (SINGH & REDDY, 2011; DUTRA et al., 2015). Conhecer os mecanismos de respostas às variações de fatores abióticos torna possível desenvolver cultivares mais aptas às condições de deficiência hídrica no solo (BASTOS et al., 2012).

Com isso, frente à importância dessa leguminosa para a região Nordeste do Brasil (NASCIMENTO et al., 2011), torna-se necessária a realização de pesquisas que visem a promoção de genótipos promissores com maior tolerância ao déficit hídrico (DUTRA et al., 2015), sendo assim, faz-se necessário intervir no sentido de identificar materiais melhorados aliando o potencial produtivo e a tolerância à seca, o que pode ser otimizado pelo uso adequado da água e de atenuadores.

Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o silício como atenuador do déficit hídrico em cultivares de feijão-caupi sob irrigação deficitária. Dando ênfase para sua influência no crescimento e desenvolvimento dos cultivares, na manutenção do potencial hídrico foliar e no ajustamento osmótico.

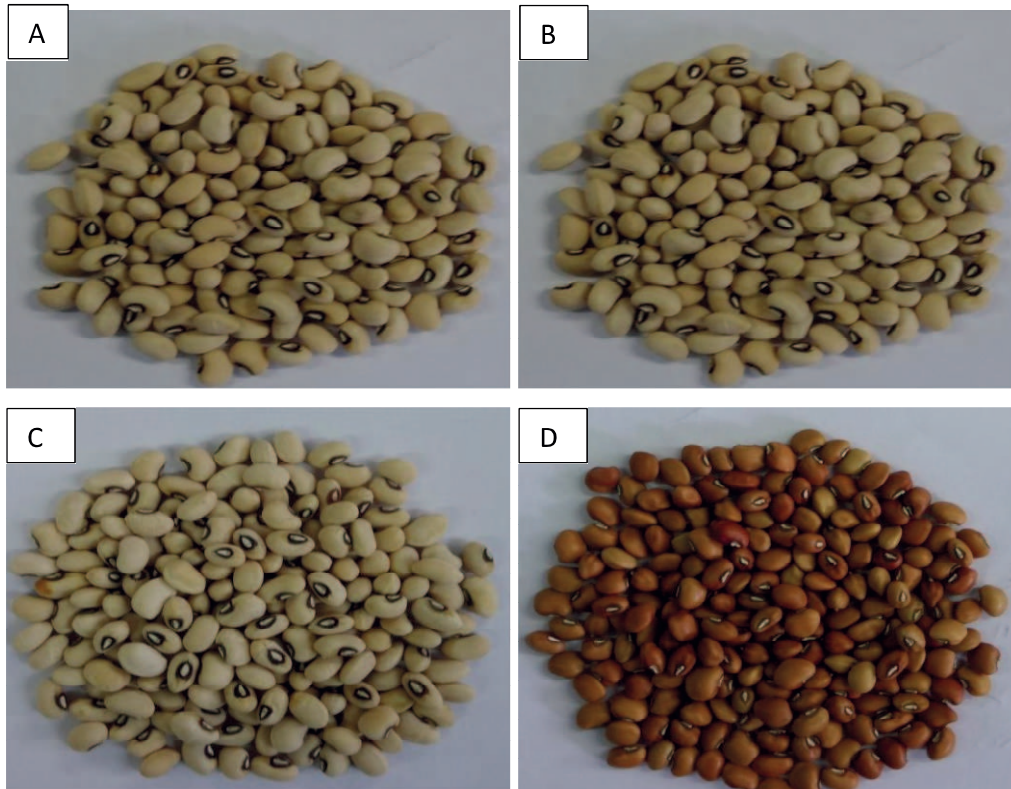
## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Localização, delineamento e fatores estudados.**

O presente trabalho foi realizado em uma área Experimental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) / (Horto Florestal Lauro Pires Xavier) e no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal de Plantas Cultivadas (ECOLAB) da UEPB, localizado no Complexo Integrado de Pesquisa Três Marias (Campus I), ambos situados em Campina Grande-PB, Brasil (07° 13' 50" de latitude, 35° 52' 52" de longitude e 551 m de altitude).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso onde foram estudados três fatores: cultivares (CT), reposição hídrica (RH) e silício (Si) - combinados em um esquema fatorial 4 x 2 x 3, com cinco repetições e parcela experimental composta por um vaso. O fator CT foi formado por quatro cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba, BRS Itaim, BRS Aracê e BRS Rouxinol); o RH por duas lâminas de irrigação, onde a plantas foram submetidas à restrição hídrica (E1 - 50% ET) e plantas sem déficit hídrico (E0 - 100% ET); e o fator Si composto por três concentrações de silício (0, 100 e 200 mg . L<sup>-1</sup> de Si) na forma de silicato de potássio (SiO<sub>2</sub>), cuja fonte utilizada foi o silício líquido comercial, com as seguintes características: Silício (Si)= 12%; Potássio (KO)= 15%; Índice salino= 26; Condutividade elétrica= 1,93 dS m<sup>-1</sup>; Densidade= 1,40 g L<sup>-1</sup>; pH= 10,96; Natureza física= Flúido.

**Figura 1** - Cultivares de feijoeiro utilizados na pesquisa. Campina Grande, PB, 2018.



Legenda: BRS Guariba (A), BRS Itaim (B), BRS Aracê (C), BRS Rouxinol (D).

Fonte: Silva (2018).

**Tabela 1** - Principais características dos genótipos utilizados no experimento. Campina Grande, PB, 2018.

<b>Características</b>				
<b>Cultivares</b>	<b>Porte</b>	<b>Crescimento</b>	<b>Ciclo</b>	<b>NDF</b>
BRS Guariba	Semiereto	Indeterminado	65-70	42
BRS Itaim	Ereto	Determinado	60-65	40
BRS Aracê	Semiprostado	Indeterminado	70-75	41
BRS Rouxinol	Semiereto	Indeterminado	65-75	46

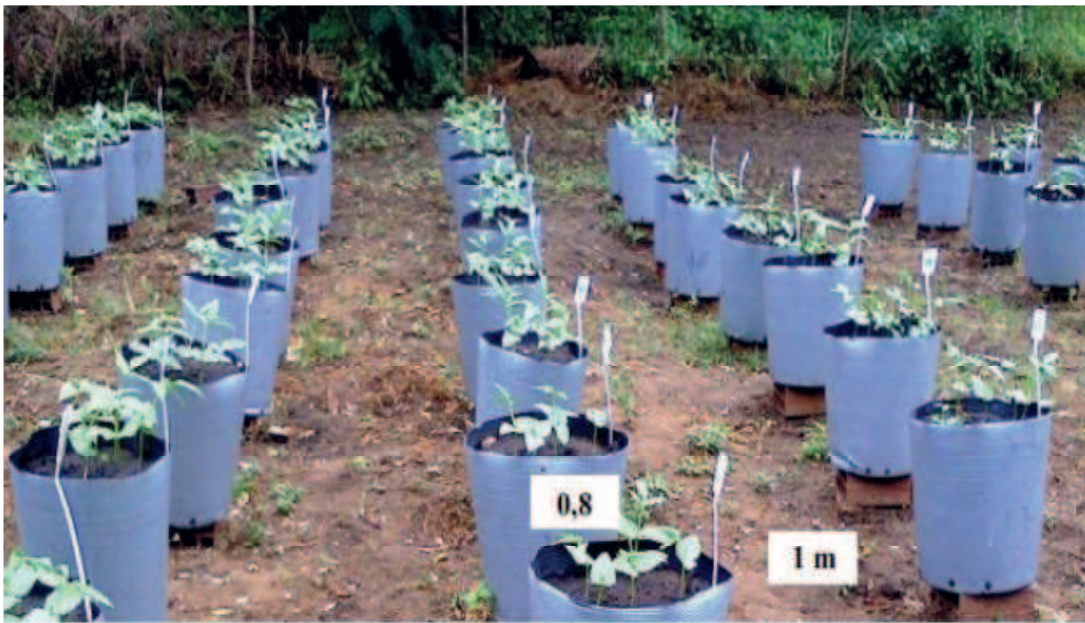
OBS: NDF- número médio de dias para a floração; ciclo- dias

**Fonte:** Silva (2018).

## 2.2 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 25 litros, sob condições de campo, no período de Julho a Outubro de 2017, sendo distribuídos em 10 linhas, cada linha com 12 vasos, totalizando 120 parcelas experimentais, com um espaçamento de 1 m entre linhas e 0,8 m entre vasos (Figura 2).

**Figura 2** - Disposição dos vasos e espaçamento utilizado para o arranjo dos vasos em blocos casualizados. Campina Grande, PB, 2018.



**Fonte:** Araújo (2017).

As sementes de feijão-caupi utilizadas no experimento foram adquiridas no Banco de Germoplasma da Embrapa Meio Norte e armazenadas em embalagens impermeáveis no

Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (Ecolab) na UEPB, onde inicialmente foi realizada uma triagem das sementes com o objetivo de eliminar aquelas que continham danos físicos, biológicos e/ou má formação. Após a triagem, as sementes foram pesadas e transferidas para rolo giratório, construído de tubo de PVC, juntamente com fungicida (Captan®) na concentração de 0,22 g 100 g<sup>-1</sup> de sementes, mantendo-o sob rotação durante 5 minutos e, em seguida, as sementes permaneceram em repouso por 24 horas.

Para a instalação do experimento, o solo foi previamente analisado (Tabela 2) e em seguida corrigido e adubado conforme o resultado de sua análise. A correção da salinidade foi realizada utilizando sulfato de cálcio, e após 30 dias, realizou-se a semeadura, adotando-se seis sementes por unidade experimental, a uma profundidade padrão de 0,03 m da superfície do solo.

**Tabela 2** - Características físico-químicas do solo utilizado para o preenchimento dos vasos. Campina Grande, PB, 2018.

Características físicas		Características químicas	
<b>Granulometria (%)</b>		Cálcio (meq/100g de solo)	1,42
Areia	86,63	Magnésio (meq/100g de solo)	1,50
Silte	9,04	Sódio (meq/100g de solo)	0,84
Argila	4,33	Potássio (meq/100g de solo)	0,21
Classificação textural	Areia franca	S (meq/100g de solo)	3,97
Densidade do solo(g/cm <sup>3</sup> )	1,44	Hidrogênio (meq/100g de solo)	0,64
Densidade de partículas	2,72	Alumínio (meq/100g de solo)	0,00
Porosidade	47,06	T(meq/100g de solo)	4,61
Umidade	0,40	Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausência
		Carbono orgânico (%)	0,51
		Matéria orgânica (%)	0,88
		Nitrogênio	0,05
		Fósforo Assimilável mg/100g	1,35
		pH H <sub>2</sub> O (1:2, 5)	6,11
		Cond.elétrica–nmhos/cm	1,41
		(Suspensão Solo-Água)	
		Salinidade	Fortemente

**Fonte:** Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG.

A reposição hídrica foi realizada diariamente, com base na demanda evaporativa do ar, onde o cálculo foi efetuado a partir da área do vaso, estágio fenológico e evaporação diária fornecida por um atmômetro modelo JR-120 da Soilcontrol.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V5, foi realizada a aplicação foliar do silício, onde as concentrações correspondentes a cada tratamento foram obtidas por meio da diluição de silício líquido em água.

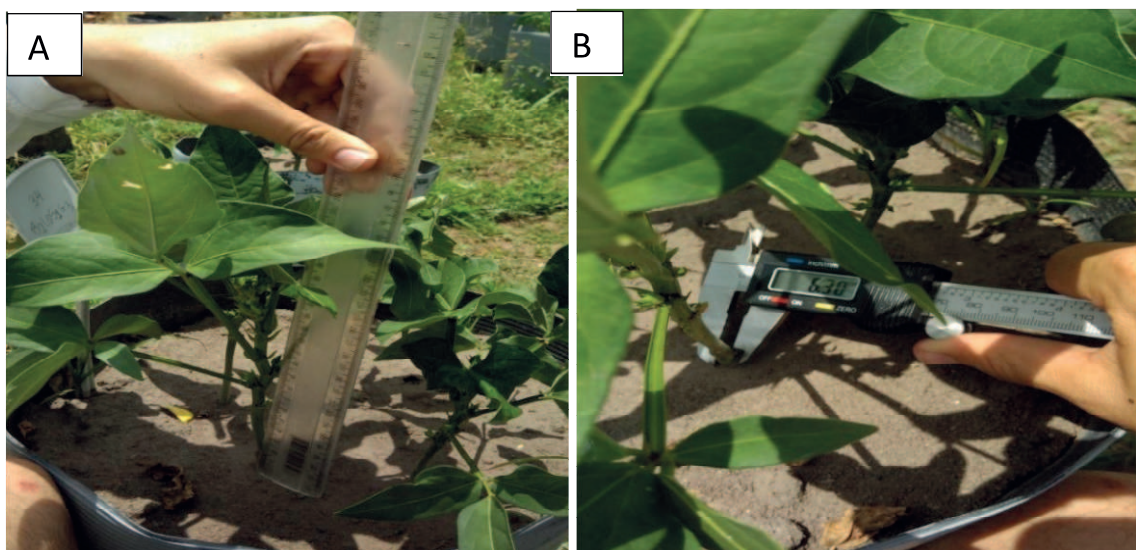
## 2.3 Variáveis analisadas

### 2.3.1 Crescimento

Foram realizadas avaliações de crescimento (altura da planta e diâmetro do caule) em uma planta útil por vaso a cada 20 dias a partir de cinco dias após a emergência das plântulas, segundo recomendação de Beltrão (2001). A altura das plantas (cm) foi avaliada com auxílio de régua milimétrica medindo-a da base do caule até a mais alta ramificação de ramos/folhas (Figura 3A) e o diâmetro do caule (mm) foi determinado por meio da utilização de um paquímetro (Figura 3B).

De posse desses dados, foi possível determinar a taxa de crescimento absoluto ( $TCA = \text{cm dia}^{-1}$ ) para a altura, aplicando-se a equação ( $TCA = M2 - M1 / T2 - T1$ ) e a taxa de expansão absoluta do diâmetro caulinar ( $TEA = \text{mm dia}^{-1}$ ), através da equação ( $TEA = D2 - D1 / T2 - T1$ ), seguindo as relações apresentadas em Benicasa (2003) e Floss (2004): Onde para TCA, M1 corresponde à medida da altura de planta na época um (T1) e M2 medidas realizada em intervalos até a última avaliação (T2). E para a TEA, D1 corresponde à medida do diâmetro do caule na época um (T1) e D2 medidas realizada em intervalos até a última avaliação (T2).

**Figura 3** - Aferição de dados de crescimento, Campina Grande, PB, 2018.



Legenda: altura de planta (A) e diâmetro caulinar (B).

Fonte: Cavalcante (2018).

Além das avaliações supracitadas, coletou-se uma planta por tratamento de cada repetição, para determinação do potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) da antemanhã, massa fresca total da parte aérea (MFT) e área foliar total (AFO) a qual foi estimada, utilizando um medidor de área foliar modelo Li-cor 3100 (Li-Cor Corporation, USA).

### **2.3.2 Potencial Hídrico Foliar**

A aferição do potencial hídrico foliar da antemanhã ( $\Psi_w$ ) foi determinada no estádio R3, utilizando-se o folíolo central da quarta folha trifoliolada, completamente expandida da haste principal. As leituras foram realizadas entre 4:00 e 6:00 horas, utilizando-se uma câmara de pressão tipo Scholander (SCHOLANDER et al. 1965), modelo 3035, onde, após destacar a folha do ramo, a mesma foi inserida na câmara da bomba deixando-se a base do pecíolo aparente e aplicou-se uma pressão em carga crescente e gradual até que a seiva xilemática começou a surgir na superfície do pecíolo, cuja observação foi feita com auxílio de luz artificial e lente de aumento (lupa). Nesse momento, realizou-se a leitura do manômetro e a pressão observada correspondeu ao potencial hídrico da seiva xilemática.

### **2.3.3 Quantificação de prolina livre**

A quantificação de prolina livre nos tecidos foi realizada pelo método colorimétrico proposto por Bates et al. (1973) e modificado por Bezerra Neto e Barreto (2011). Para tanto 250 mg de material fresco foram triturados em ácido sulfossalicílico a 3% (5 mL) e centrifugado a 2000 rpm por 10 minutos, o sobrenadante foi aspirado e utilizado nas determinações.

O desenvolvimento da cor foi obtido por meio do aquecimento, em banho-maria regulado a 100 °C, dos tubos de ensaio rosqueáveis contendo a mistura extrato + ninhidrina ácida + ácido acético glacial, na proporção 1:1:1 (volume total 3 mL), durante uma hora. Após esse período os tubos foram resfriados em banho de gelo, sendo posteriormente adicionado 2 mL de tolueno aos mesmos, os quais foram agitados vigorosamente por 20 segundos e mantidos em repouso por 10 minutos, para que ocorresse a separação das fases. Acrescenta-se que o sobrenadante foi aspirado, alocado em cubeta de vidro e transferido para espectrofotômetro onde se obteve a leitura da absorbância no comprimento de onda de 520 nm, utilizando o tolueno puro como branco. Em seguida, a concentração de prolina livre foi quantificada com base na curva padrão de L- prolina (0, 5, 10, 15, 20, 25, 50 mg L<sup>-1</sup>) e expressa em  $\mu\text{mol g}^{-1}$  de matéria fresca. Para o cálculo de prolina foi utilizada a média da absorbância obtida na triplicata.



## 2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram avaliados por análise de variância (teste F até 5% de probabilidade), seguidos por análises do teste de comparação de médias (Tukey,  $p < 0,05$ ) para os cultivares e para os níveis de silício, utilizando-se o software SISVAR 5.6.

## 3. RESULTADOS

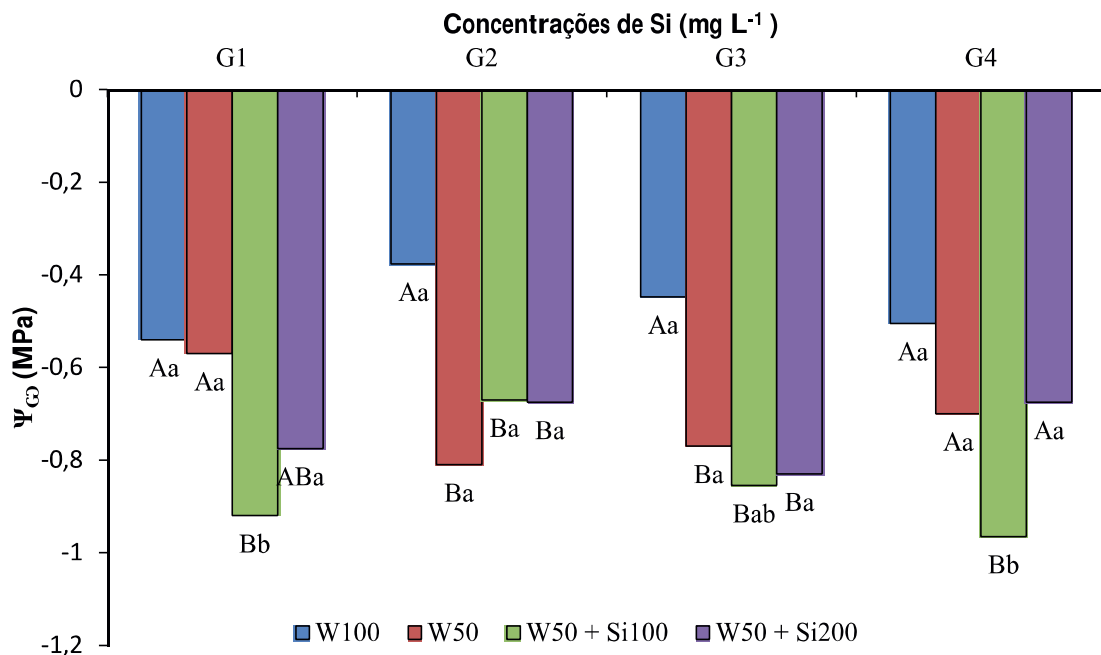
### 3.1 Potencial Hídrico Foliar

Para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), na ausência do silício observou-se diminuição significativa de 54% no genótipo BRS Itaim e de 42% no BRS Aracê com a imposição do deficit hídrico, enquanto que os cultivares BRS Guariba e BRS Rouxinol não expressaram diferença nessa variável quando submetidas a essa situação (Figura 4).

Taiz et al. (2017) afirmam que quanto menor a disponibilidade hídrica no solo mais negativo será o  $\Psi_w$  foliar, o que estimula a planta a reduzir a condutância estomática e, em consequência disso, diminuir a taxa fotossintética.

Com a aplicação da concentração de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  e 50% de reposição hídrica, o potencial hídrico foliar dos cultivares BRS Itaim e do BRS Aracê se mantiveram semelhantes aos dos indivíduos que não receberam essa substância na mesma condição hídrica, enquanto que os cultivares BRS Guariba e BRS Rouxinol apresentaram reduções de 41% e 44%, respectivamente. Já com a aplicação da concentração de  $200 \text{ mg L}^{-1}$ , observou-se aumento de 16% no BRS Guariba e 30% no BRS Rouxinol, em comparação com os indivíduos que receberam a concentração de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , com os cultivares, nesse caso, apresentando potencial hídrico foliar semelhante ao das plantas que não foram submetidas a condição de deficit hídrico. Enquanto isso, os cultivares BRS Itaim e BRS Aracê, não expressaram diferença com o aumento na concentração de silício (Figura 4).

**Figura 4** - Potencial Hídrico Foliar ( $\Psi_w$ ) dos genótipos de feijão-caupi: BRS Guariba (G1), BRS Itaim (G2), BRS Aracê (G3), BRS Rouxinol (G4), condicionados a dois regimes hídricos (W-100 e W-50) e três concentrações de Si (0, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup>). Campina Grande, PB, 2018.



Legenda: Letras minúsculas diferenciam os genótipos. Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas e doses de silício dentro de cada genótipo.

Fonte: Cavalcante (2018).

### 3.2 Variáveis de crescimento

Quando as plantas foram submetidas à condição de déficit hídrico (W50), sem aplicação do silício, percebeu-se diminuição significativa na Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) dos cultivares BRS Guariba, BRS Aracê e BRS Rouxinol, correspondente a 28%, 23% e 24% respectivamente, em comparação com aquelas que não foram submetidas a tal situação de estresse, enquanto que a TCA do genótipo BRS Itaim não diferiu com a imposição do estresse hídrico e ausência dessa substância (Figura 5). Verificou-se ainda, que na ausência do silício, os cultivares apresentaram semelhança na TCA, quando comparadas entre si, dentro de cada lâmina de irrigação (Figura 5).

Com a aplicação do silício na concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>, em situação de estresse hídrico (W50), os resultados da TCA mais expressivos foram observados nos cultivares BRS Rouxinol (0,3074 cm dia<sup>-1</sup>) e BRS Aracê (0,2841 cm dia<sup>-1</sup>), o que corresponde a aumentos de 36% e 27%, respectivamente, quando comparados com aquelas plantas submetidas a mesma situação hídrica, mas que não receberam o silício. Nesta situação, a TCA do genótipo BRS Itaim não diferiu em comparação com aqueles que não receberam o silício, porém foi

significativamente menor que os cultivares BRS Aracê e BRS Rouxinol. Contrariamente, o genótipo BRS Guariba apresentou uma redução de 48% na TCA, em comparação com os indivíduos submetidos ao tratamento W100, mantendo-se estatisticamente semelhante com os indivíduos que não receberam o silício, mas que foram submetidos à mesma lâmina hídrica (W50), e menor que os demais cultivares, submetidos à mesma concentração de silício (Figura 5).

Quando submetido a 50% de reposição hídrica e ao silício na concentração de 200 mg L<sup>-1</sup>, o genótipo BRS Aracê apresentou sua maior média para a TCA (0,3467 cm dia<sup>-1</sup>), correspondendo a um aumento de 70% em comparação com aquelas submetidas a mesma situação de estresse e sem aplicação do silício. Nessa condição, o genótipo BRS Guariba apresentou resultado significativamente menor que o BRS Aracê, porém semelhante ao apresentado pelas plantas que foram submetidas a 100% de reposição hídrica e que não receberam o silício, apresentando um aumento de 50% em comparação com aquelas submetidas à lâmina W50 e ausência de silício.

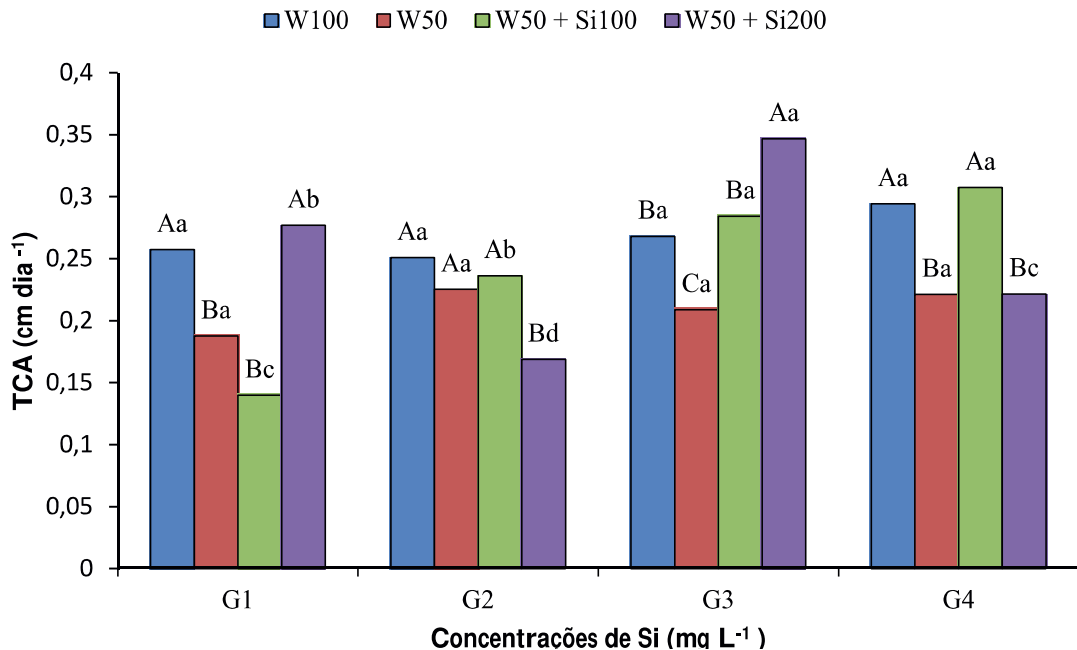
Observou-se ainda, na concentração de 200 mg L<sup>-1</sup>, que o genótipo BRS Rouxinol apresentou TCA semelhante ao das plantas submetidas a mesma condição hídrica e sem silício, representando uma diminuição de 26% em comparação com os indivíduos que receberam o silício na concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>, enquanto que o BRS Itaim, que não havia sido influenciado pela imposição do estresse hídrico e concentração de 100 mg L<sup>-1</sup> de silício, apresentou sua menor média (0,1689 cm dia<sup>-1</sup>) representando uma diminuição de 30% em comparação com os demais tratamentos (Figura 5).

Com exceção do genótipo BRS Itaim, os demais cultivares apresentaram aumento na TCA quando submetidos a 50% de reposição hídrica (W50) e aplicação das concentrações de 100 mg L<sup>-1</sup> (BRS Aracê e BRS Rouxinol) e 200 mg L<sup>-1</sup> (BRS Guariba e BRS Aracê) de silício, em comparação com aqueles na mesma condição hídrica, mas que não receberam a substância atenuadora (Figura 5), o que demonstra que o silício atuou na recuperação dos genótipos submetidos a tal condição de estresse, uma vez que essa substância possibilita a otimização dos processos bioquímicos e fisiológicos refletindo-se no crescimento absoluto das culturas (LIMA et al., 2011).

Esses resultados estão de acordo com aqueles apresentados por Farias (2012), que ao estudar o efeito do silício no crescimento de algodoeiro, observou aumento na altura desse vegetal com o incremento dessa substância, demonstrando assim, uma resposta positiva da cultura à aplicação do silício via foliar. Resultado que também foi observado por Mostafa et

al. (2018), os quais verificaram que o crescimento do arroz, em condição de sequeiro, foi estimulado pela aplicação de silício.

**Figura 5** - Taxa de crescimento absoluto (TCA) dos genótipos de feijão-caupi: BRS Guariba (G1), BRS Itaim (G2), BRS Aracê (G3), BRS Rouxinol (G4), condicionados a dois regimes hídricos (W-100 e W-50) e três concentrações de Si (0, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup>). Campina Grande, PB, 2018



Legenda: Letras minúsculas diferenciam os genótipos. Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas e doses de silício dentro de cada genótipo.

Fonte: Cavalcante (2018).

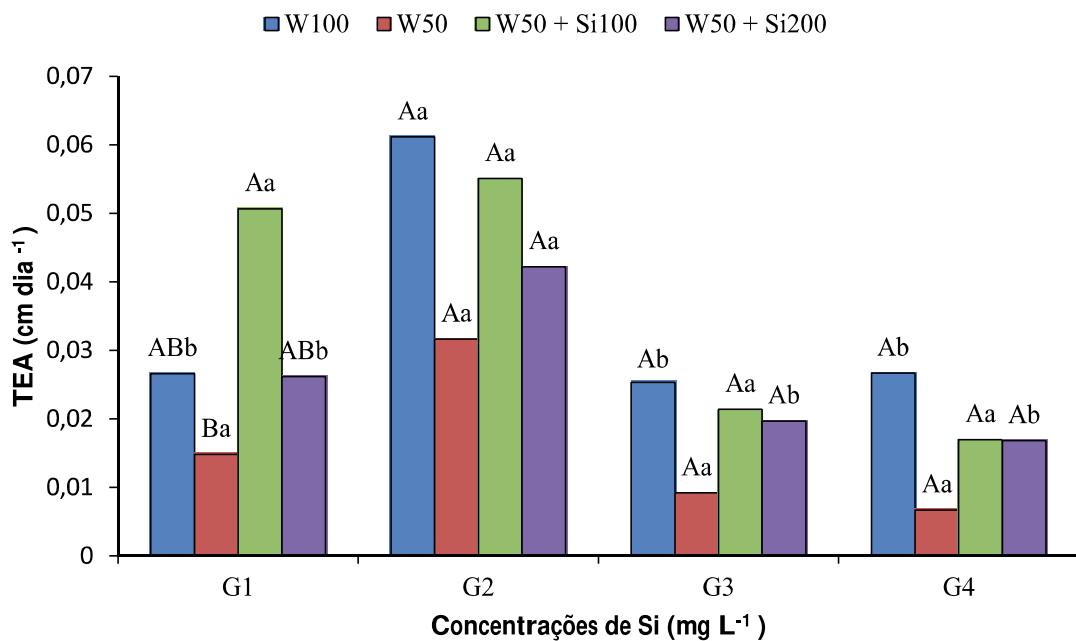
Em relação à taxa de expansão absoluta (TEA), observou-se que, na ausência do silício, as médias dos cultivares BRS Itaim, BRS Aracê e BRS Rouxinol, não diferiram significativamente com a imposição do déficit hídrico, enquanto que o genótipo BRS Guariba apresentou uma redução de 46% dessa variável, quando submetido ao estresse (Figura 6).

Com a aplicação do silício na concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>, o genótipo BRS Guariba apresentou um aumento de 257% em relação aos indivíduos que não receberam essa substância na mesma lâmina hídrica (W50) e de 92% em relação à lâmina W100. Porém, com a aplicação da concentração de 200 mg L<sup>-1</sup>, os indivíduos apresentaram aumento de apenas 85,71% em comparação com aqueles que não receberam o silício e se mantiveram semelhantes aos indivíduos submetidos à lâmina W100 (Figura 6).

Os demais cultivares não expressaram diferenças significativas com a aplicação das concentrações de silício, quando comparados com aqueles que não receberam essa substância dentro da mesma condição hídrica, embora se tenha observado melhora dessa variável com a aplicação das concentrações de 100 e 200 mg L<sup>-1</sup> (Figura 6). Sendo a concentração de 100 mg L<sup>-1</sup> a que proporcionou maiores aumentos dessa variável.

Resultados semelhantes foram obtidos por Leite et al. (2011), onde constatou-se aumento no diâmetro do caule de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L) quando adubado com silício. O que pode ser explicado pelo fato dessa substância aumentar a atividade de enzimas antioxidantes e a capacidade fotossintética, criando condições para o bom crescimento e desenvolvimento pleno das cultivares (ZUCCARINI, 2008).

**Figura 6** - Taxa de Expansão Absoluta (TEA) dos genótipos de feijão-caupi: BRS Guariba (G1), BRS Itaim (G2), BRS Aracê (G3), BRS Rouxinol (G4), condicionados a dois regimes hídricos (W-100 e W-50) e três concentrações de Si (0, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup>). Campina Grande, PB, 2018



Legenda: Letras minúsculas diferenciam os genótipos. Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas e doses de silício dentro de cada genótipo.

Fonte: Cavalcante (2018).

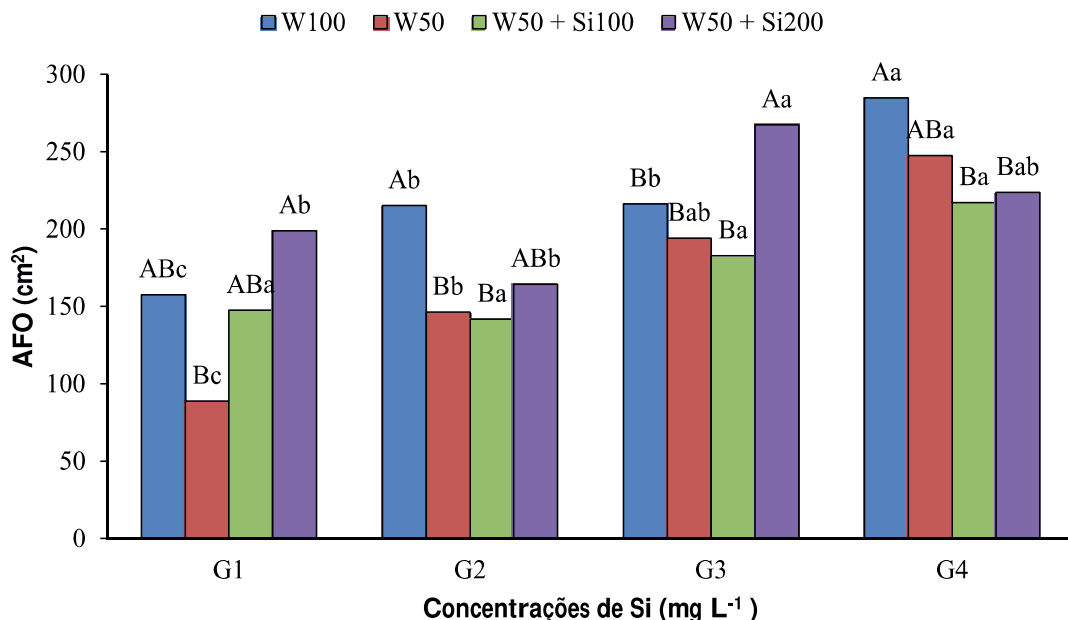
Quanto a área foliar total (AFO) observou-se que na ausência do silício, os cultivares BRS Guariba, BRS Aracê e BRS Rouxinol, não diferiram estatisticamente com a imposição do estresse hídrico (W50). Enquanto que o genótipo BRS Itaim, quando submetido ao tratamento W50, apresentou uma diminuição de 32% na AFO em comparação com a lâmina W100 (Figura 7). Tal estratégia pode ser utilizada por alguns vegetais submetidos à deficiência hídrica para evitar o gasto de energia metabólica (TAIZ e ZEIGUER, 2013).

Submetidas a 50% de reposição hídrica e 100 mg L<sup>-1</sup> de silício, as cultivares não apresentaram diferença na AFO quando comparadas entre si, dentro dessa situação. Porém é importante destacar que o genótipo BRS Rouxinol, embora tenha se mantido com uma área foliar semelhante ao daqueles indivíduos que não receberam o silício na lamina W50, apresentou, nessa condição, uma diminuição de 23,71% em comparação com aqueles que não

foram submetidos à condição de estresse. Contrariamente o BRS Guariba apresentou um aumento de 124% em relação à lâmina W50 e ausência de silício (Figura 7).

Com a aplicação da concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> de silício, o genótipo BRS Rouxinol manteve a sua área foliar semelhante com aquela apresentada pelos indivíduos submetidos a mesma condição hídrica e ausência dessa substância (W50). Contudo, nessa mesma situação, o genótipo BRS Aracê apresentou sua maior média (267,36 cm<sup>2</sup>), correspondendo a um aumento de 37,78% em comparação com aqueles submetidos à mesma condição hídrica, mas que não receberam o silício, e de 23,68% em comparação com aqueles que não foram submetidos ao deficit hídrico (Figura 7), o que pode ser explicado pelo fato de o silício aumentar o teor relativo de água na folha, conferindo maior pressão de turgor nas células, favorecendo a expansão celular e proporcionando maior área foliar (Souza, 2015). Já o genótipo BRS Guariba expressou aumento de 124% em relação a lamina W50 sem silício (Figura 7). Resultados que estão de acordo com aqueles apresentados por Araújo (2017), onde cultivares de feijão-caupi submetidos à restrição hídrica e aplicação de silício, apresentaram maior área foliar que aqueles submetidos à mesma condição hídrica e ausência dessa substância.

**Figura 7** - Área Foliar Total (AFO) dos genótipos de feijão-caupi: BRS Guariba (G1), BRS Itaim (G2), BRS Aracê (G3), BRS Rouxinol (G4), condicionados a dois regimes hídricos (W-100 e W-50) e três concentrações de Si (0, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup>). Campina Grande, PB, 2018.



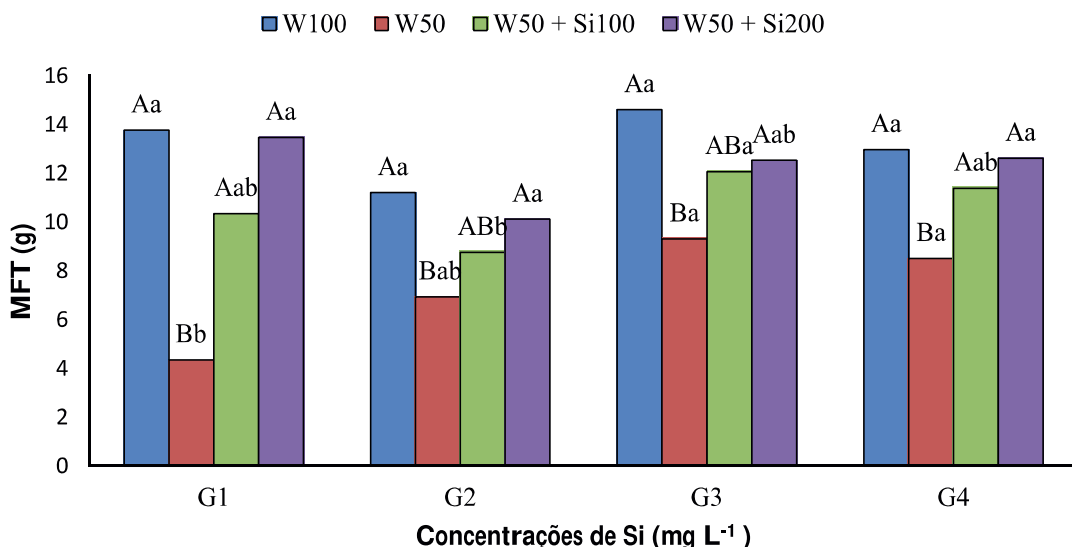
Legenda: Letras minúsculas diferenciam os genótipos. Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas e doses de silício dentro de cada genótipo.

Fonte: Cavalcante (2018).

Em relação a massa fresca total (MFT), quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico (W50), na ausência do silício, observou-se diminuição significativa dessa variável em todos os cultivares, em comparação a lâmina W100, correspondendo a 69% no BRS Guariba, 38% no BRS Itaim, 36,27% no BRS Aracê e 34,43% no BRS Rouxinol (Figura 8).

Com a aplicação da concentração de 100 mg L<sup>-1</sup> de silício, na lâmina W50, os cultivares BRS Guariba e BRS Rouxinol, apresentaram aumentos significativos de 137% e 33,84%, respectivamente, em comparação com os indivíduos que foram submetidos a mesma condição hídrica, mas que não receberam tal substância. Enquanto isso, nessa mesma condição, os cultivares BRS Itaim e BRS Aracê apresentaram a massa fresca total semelhante ao daqueles indivíduos que não foram submetidos a aplicação dessa substância, embora se tenha observado aumento de 26,22 e 29,75% respectivamente, nos valores médios desses dois cultivares. Já com a aplicação da concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> de silício, observou-se aumento significativo em todos o cultivares (209% no BRS Guariba, 45,82% no BRS Itaim, 34,69% no BRS Aracê e 48,29% no BRS Rouxinol) em comparação com os que não receberam essa substância na lâmina W50, indicando assim uma recuperação dessa variável a partir da aplicação substanciado silício (Figura 8). Tal efeito pode ser explicado pelo fato do silício ser prontamente absorvido pelas plantas e depositado principalmente nas paredes das células da epiderme (KORNDÖRFER, 2006), podendo assim, atuar na manutenção dos processos metabólicos e status hídrico, em consequência de menor perda de água por transpiração foliar (TAIZ et al., 2017).

**Figura 8** – Massa Fresca Total (MFT) dos genótipos de feijão-caupi: BRS Guariba (G1), BRS Itaim (G2), BRS Aracê (G3), BRS Rouxinol (G4), condicionados a dois regimes hídricos (W-100 e W-50) e três concentrações de Si (0, 100 e 200 mg L<sup>-1</sup>). Campina Grande, PB, 2018.



Legenda: Letras minúsculas diferenciam os genótipos. Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas e doses de silício dentro de cada genótipo.

Fonte: Cavalcante (2018).

### 3.3 Teor de prolina livre

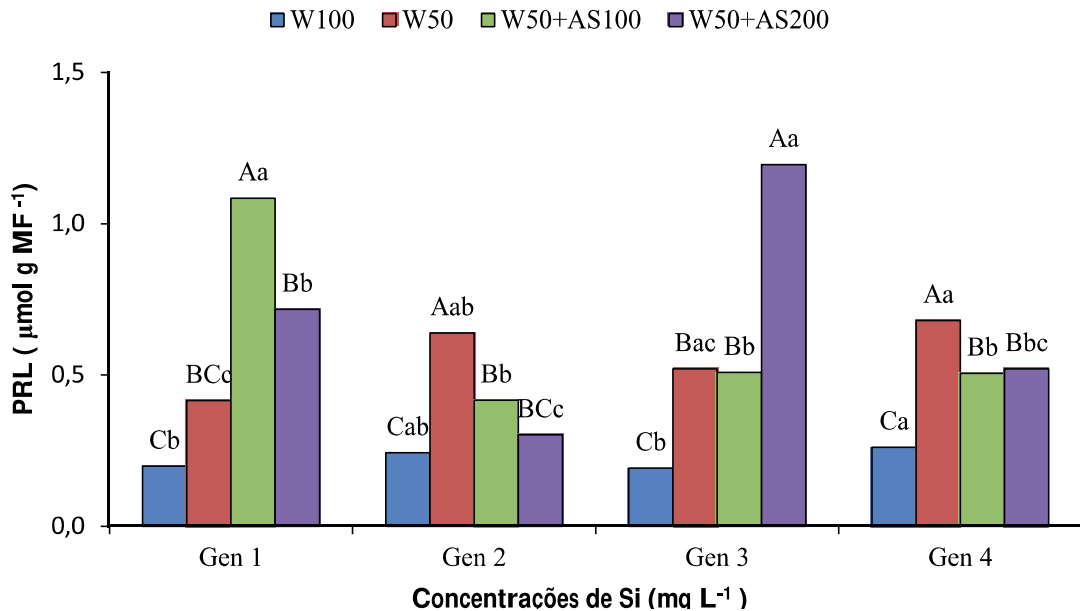
Com a imposição do déficit hídrico e ausência de silício, observou-se aumento no teor de prolina livre em todos os cultivares, correspondendo a 109,59% no BRS Guariba, 162,96% no BRS Itaim, 170,83% no BRS Aracê e 160,53% no BRS Rouxinol (Figura 9). O que pode ser considerada uma respostas dos cultivares a condição de estresse, uma vez que a prolina é um aminoácido responsável pelo ajustamento osmótico nas plantas (PEI et al., 2010), onde atua mantendo a integridade das membranas celulares contra os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio e na manutenção da turgescência celular (ASHRAF et al., 2011).

No genótipo BRS Guariba, dentre os indivíduos submetidos a 50% de reposição hídrica, o teor de prolina livre (PRL) foi potencializado com aplicação da concentração de 100 mg L<sup>-1</sup> de silício, onde observou-se um aumento de 161,44% em relação aos indivíduos submetidos a mesma situação hídrica, mas que não foram tratados com a aplicação dessa substância (Figura 9). Já no genótipo BRS Aracê, com a aplicação dessa concentração de silício, o teor de prolina não diferiu em relação aos indivíduos que não receberam essa substância, enquanto que os cultivares BRS Itaim e BRS Rouxinol expressaram diminuição de 34,74% e 25,58% respectivamente (Figura 9).

Em contrapartida, com a aplicação da concentração 200 mg L<sup>-1</sup> de silício, constatou-se aumento de 72,77% dessa variável no genótipo BRS Guariba e diminuição de 52,73%% no BRS Itaim, em relação aos indivíduos que não receberam essa substância na mesma lâmina hídrica. Enquanto isso, o genótipo BRS Rouxinol não apresentou diferença com o aumento na concentração de silício, mantendo resultado semelhante aos indivíduos submetidos à concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>. Porém o genótipo BRS Aracê, que não havia apresentado diferença com a aplicação da concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>, em relação aos indivíduos que não receberam essa substância na lâmina W50, quando submetido a concentração de 200 mg L<sup>-1</sup>, expressou um aumento de 135,43% em comparação com esses mesmos indivíduos (Figura 9). O que também foi observado por Araújo (2017), onde cultivares de feijão-caupi submetidos à déficit hídrico, expressaram aumento no teor de prolina livre quando foram suplementados com silício.



**Figura 9** - Teor de Prolina Livre (PRL) dos genótipos de feijão-caupi: BRS Guariba (G1), BRS Itaim (G2), BRS Aracê (G3), BRS Rouxinol (G4), condicionados a dois regimes hídricos (W-100 e W-50) e duas concentrações de Si (100 e 200 mg L<sup>-1</sup>). Campina Grande, PB, 2018.



Legenda: Letras minúsculas diferenciam os genótipos. Letras maiúsculas diferenciam as condições hídricas e doses de silício dentro de cada genótipo.

Fonte: Cavalcante (2018).

#### 4. CONCLUSÕES

O silício proporcionou atenuação do estresse hídrico nos cultivares de feijão caupi, uma vez que promoveu melhorias no crescimento e desenvolvimento dos cultivares submetidos à restrição hídrica.

A concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> de silício se mostrou mais eficiente que a de 100 mg L<sup>-1</sup> na mitigação dos efeitos do estresse, uma vez que proporcionou melhorias na maioria das variáveis estudadas.

Os cultivares BRS Guariba e BRS Aracê apresentaram aumento no teor de prolina livre, sob déficit hídrico e suplementados com Si, nas concentrações de 100 mg L<sup>-1</sup> e 200 mg L<sup>-1</sup> respectivamente.

BRS Guariba e BRS Aracê suportam melhor a restrição hídrica por meio da aplicação de silício.

## SILICON ATTENUATES STRESS IN COWPEA GENOTYPES SUBJECTED TO DEFICIT IRRIGATION

### ABSTRACT

The cowpea is adapted to the adverse conditions of the Brazilian semi-arid climate, however, the water deficit is still a factor that diminishes the productivity of this crop. However, elements such as silicon can act as mitigators of the effects of water deficit. Thus, the objective of the present work was to evaluate silicon as a water deficit attenuator in cowpea cultivars subjected to deficit irrigation. For this, the study was carried out in experimental area of the State University of Paraíba in Campina Grande-PB, being conducted in pots with capacity for 25L, arranged in a randomized complete block design, with a 4x2x3 factorial scheme and five replications. The evaluated factors consisted of four cultivars of cowpea (BRS Guariba, BRS Itaim, BRS Aracê and BRS Rouxinol), two irrigation slides (50 and 100% of evaporative air demand) and three silicon concentrations (0, 100 and 200 mg L<sup>-1</sup>) applied via foliar in the form of potassium silicate. Growth and physiological evaluations were performed, where the data were submitted to analysis of variance (test F,  $p < 0.05$ ), followed by the comparison test of means (Tukey,  $p < 0.05$ ) for the cultivars and concentrations using the SISVAR 5.6 software. Silicon provided attenuation of water stress in cowpea cultivars subject to water restriction, with a concentration of 200 mg L<sup>-1</sup> being more efficient in mitigating the effects of stress and the genotypes BRS Guariba and BRS Aracê the ones that better withstand the restriction with the application of this substance.

**Keywords:** *Vigna unguiculata* (L.) Walp, silicon, abiotic stress, proline.

## REFERÊNCIAS

- ALI, M. A. M., RAMEZANI, A., FAR, S. M., SADAT, K. **Application of silicone ameliorates salinity stress in sunflower (*Helianthus annuus L.*) plants**. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. v. 6, n. 20, p.1367-1372, 2013.
- ARAÚJO, EDILENE DANIEL. M. Sc. Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, Março de 2017. **Silício como atenuador do estresse hídrico em feijão-caupi por meio do mecanismo antioxidante e desempenho agrônômico**. Campina Grande, PB, 2017.p.92. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Coorientadora: Profa. Dra.Maria do Socorro Rocha.
- ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; AL-QURAINY, F.; FOOLAD, M. R. **Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators and mineral nutrients**. Advances in Agronomy, v.11, n.1, p. 249- 296, 2011.
- BABITA, M.; MAHESWARI, M.; RAOA, L. M.; SHANKERB, A. K.; GANGADHAR, R. D. **Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis L.*) hybrids**. Environmental and Experimental Botany, v.69, n.3, p.243-249, 2010.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. **Rapid determination of free proline for water stress studies**.Plant and Soil, v.39, n.1, p.205-207, 1973.
- BELKO, N.; ZAMAN-ALLAH, M.; DIOP, N.N.; CISSE, N.; ZOMBRE, G.; EHLERS J.D.; VADEZ, V. **Restriction of transpiration rate under high vapor pressure deficit and non-limiting water conditions is important for terminal drought tolerance in cowpea**. Plant Biology, v.15, p.304–316, 2013.
- BELTRÃO, N. E. M.; ALMEIDA, O. A.; PEREIRA, J. R.; FIDELIS FILHO, J. **Metodologia para estimativa do crescimento do fruto e do volume absoluto e relativo da planta do algodoeiro**. Revista de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande, v.5, n.1, p.283-289, jan.-abr. 2001a.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p
- DUTRA, A. 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.
- FARIAS, ATV **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em funções de silício e ácido salicílico**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado) -Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.
- FERRAZ, R.L.S; BELTRÃO, N.E.M.; MELO, A.S.; MAGALHÃES, I.D.; FERNANDES, P.D.; ROCHA, M.S. **Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro**

**herbáceo sob aplicação de silício foliar.** Semina: Ciências Agrárias, v.35, n.2, p.735-748, 2014.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas.** Passo Fundo: UPF, 2004.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J.D. e; NOGUEIRA, M.S.R.; RODRIGUES, E.V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios.** Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte, p.84, 2011.

FREITAS, R.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L. D.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. D. **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.

GONZALEZ, A.; BERMEJO, V.; GIMENO, B. S. **Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions.** Journal Agricultural Science, v.148, p.319–328, 2010.

HERNANDEZ-APAOLAZA, L. **Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants?** A review. Planta, Berlin, v. 240, n.3, p. 447 – 458, 2014.

IMTIAZ,M.;RIZWAN,M.S.;MUSHTAQ,M.A.;ASHRAF,M;SHAHZAD,S.M.;YOUSAF,B.; SAEED,D.A.;RIZWAN,M.;NAWAZ,A.;MEHMOOD,S.;TU,S. **Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review.** Journal of Environmental Management, v.183, v.3, p.521- 529, 2016.

KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap.14, p.355-370.

LEITE, A. G.; JUNIOR, F. F. A.; LEITE R. P.; NETO, J. F; ARAUJO, V. L.; BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento inicial do algodoeiro (Gossypium hirsutum L.) BRS Topázio submetido à adubação silicatada e estresse hídrico,** in: 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton expo 2011, São Paulo-SP, p. 835-839. 2011.

LIMA, M. de A.; CASTRO, V. F. de; VIDAL, J. B.; ENÉAS FILHO, J. **Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino.** Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011.

MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F. de; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. de. **Respostas fisiológicas de genótipos de eucalyptus grandis x e. urophylla à disponibilidade hídrica e adubação potássica.** Cerne, v.19, n.3, p.603-611, 2013.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; 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.

OLIVEIRA NETO, C. F. DE; OLIVEIRA, T. B. DE; SILVA, K. R. S.; NOGUEIRA, G. A. DOS S.; MALTAROLO, B. M.; COSTA, T. C.; CARDOSO, K. P. S.; SOUZA, L. C. DE; SILVA, R. T. L. DA; SIQUEIRA, J. A. M. **Nitrogen compounds and enzyme activity in young muruçi (*Byrsonima crassifolia* L.) plant subjected to water stress.** Australian Journal of Crop Science, v.10, n.1, p. 111-117, 2016.

OLIVEIRA, A. P. da S. **Silício como indutor de tolerância ao déficit hídrico nas fases de germinação e crescimento inicial de feijão-caupi.** 2017. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

PEI ZF, MING DF, LIU D, WAN GL, GENG XX, GONG HJ, ZHOU WJ. **Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings.** J Plant Growth Regul v. 29, p. 106–115, 2010.

PÚBLIO JÚNIOR, E. ; MORAIS, O. M.; ROCHA, M.M.; PÚBLIO, A. P.P.B. ;BANDEIRA, A. da S. **Características agronômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia.** Científica, Jaboticabal, v.45, n.3, p.223-230, 2017.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P. **Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas.** Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 134, p. 14-20, 2011.

SILVA, A.; BRITO, M.E.B.; FRADE, L. J. G. ; NOBRE, R.G. ; COSTA, F. B. ; MELO, A.S.; SILVA, L.A. **Crescimento e trocas gasosas de genótipos de feijão-caupi sob estratégias de cultivo.** Revista Ambiente & Água, v. 11, p. 745-758, 2016.

SINGH, S. K.; REDDY, K. J. **Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought.** Journal of Photochemistry and Photobiology Biology, v.105, n.1, p.40-50, 2011.

SOUZA, Fabiano Mayrink Dutra, 1989 - **Efeitos do regime hídrico e da adubação foliar com silício em plantas de fisális (*Physalis peruviana* L.)** / Fabiano Mrayrink Dutra Souza. – 2015.

TAIZ, L. ZEIGER, E.;MOLLER,I.M.;MURPHY,A.**Fisiologia e desenvolvimento vegetal.**6<sup>a</sup> Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.858 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5<sup>a</sup> Ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.918 p;

TEODORO, P.E.; RIBEIRO, L.P.; OLIVEIRA, E.P.; CORREA, C.C.; TORRES, F.E. **Acúmulo de massa seca na soja em resposta à aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico.** Bioscience Journal, v.31, n.1, p.161-170, 2015.

WANDER, A. E. **O Feijão-Comum no Brasil Passado, Presente e Futuro.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, 2013. 63p. (EMPRAPA- CNPAF. Documento 287).

ZANETTI,L.V.;MILANEZ,C.R.D.;GAMA,V.N.;AGUILAR,M.A.G.;SOUZA,C.A.S;CAMP  
OS TRINI,E.;FERRAZ,T.M.;FIGUEIREDO,F.A.M.M. de A. **Leaf application of silicon in  
Young cacao plants subjected to water déficit.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.51, n.3,  
p.215- 223, 2016.

ZUCCARINI, P. **Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake  
of Phaseolus vulgaris under NaCl stress,** Biologia Plantarum, v. 54, p. 157-160, 2008.