



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**ALTERAÇÕES MORFOFIOLÓGICAS EM PIMENTÃO INFLUENCIADAS PELA
ADUBAÇÃO SILICATADA COMO ATENUANTE DO ESTRESSE HÍDRICO**

RAUL AMADOR PINHEIRO DE MELO

**POMBAL-PB
2018**

RAUL AMADOR PINHEIRO DE MELO

**ALTERAÇÕES MORFOFIOLÓGICAS EM PIMENTÃO INFLUENCIADAS PELA
ADUBAÇÃO SILICATADA COMO ATENUANTE DO ESTRESSE HÍDRICO**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Agronomia do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof^a. Dra. Adriana Silva Lima

Co-Orientadora: Prof^a. Dra. Amaralina Celoto Guerrero

POMBAL-PB
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M528a Melo, Raul Amador Pinheiro de.
 Alterações morfofisiológicas em pimentão influenciadas pela adubação silicatada como atenuante do estresse hídrico / Raul Amador Pinheiro de Melo. – Pombal-PB, 2018.
 43 f. : il. color.

 Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2018.
 "Orientação: Profa. Dra. Adriana Silva Lima, Profa. Dra. Amaralina Celoto Guerrero".
 Referências.

 1. *Capsicum annuum* L.. 2. Nutrição de Plantas. 3. Silício. 4. Irrigação. 5. Adubação Foliar. I. Lima, Adriana Silva. II. Guerrero, Amaralina Celoto. III. Título.

CDU 635.64(043)

RAUL AMADOR PINHEIRO DE MELO

**ALTERAÇÕES MORFOFIOLÓGICAS EM PIMENTÃO INFLUENCIADAS PELA
ADUBAÇÃO SILICATADA COMO ATENUANTE DO ESTRESSE HÍDRICO**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Agronomia do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA:

Orientador - Prof. D.Sc. Adriana Silva Lima
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)

Co-Orientadora – D.Sc. Amaralina Celoto Guerreiro
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)

Membro – D.Sc. Ancélio Ricardo de Oliveira Gondim
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA – UAGRA)

Membro - M.Sc. Luderlândio de Andrade Silva
(Universidade Federal de Campina Grande - CTRN - PPGEA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos a mim, fazendo com que a vida a cada dia tenha um maior valor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha jornada, e não somente nestes anos de vida acadêmica, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço aos meus pais, Josefa Amador de Sousa Pinheiro e Jairan Pinheiro de Melo, que sempre foram minha maior fonte de inspiração e força nos momentos alegres bem como nos momentos tristes. Sou grato aos meus familiares, por acreditarem e apoiarem meu sonho.

Agradeço ao CCTA, por me proporcionar um ambiente criativo e amigável para os estudos. Sou grato à cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino.

A Prof. D.Sc. Adriana Silva Lima pela orientação, apoio e confiança.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade de participar e pelas contribuições na monografia.

A equipe de pesquisa, coordena pela Prof. D. Sc. Amaralina Celoto Guerrero, a qual me ajudou muito nessa jornada, e aos demais colegas que sempre serão lembrados!

Agradeço a minha turma: Reynaldo, Uriel, Oriel, Samanda, Edmar, Tarcisio, Janiny, Alberto, Erlan, Daniel, Zaquel, Gilberto e aos demais colegas de instituição que fizeram parte dessa trajetória.

Meu muito obrigado!

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental do setor de horticultura da Fazenda experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, UFCG/CCTA no município de São Domingos. Pombal, PB. 2018.	20
Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas condutância estomática (g_s), concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i), taxa de transpiração da folha (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), eficiência intrínseca do uso de água ($iWUE$), eficiência do uso da água (WUE) e eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c) em plantas de pimentão sob doses de silício e lâminas de irrigação aos 120 (DAT).	26
Tabela 3. Resumo da análise de variância para diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), altura de plantas (AP) e taxa de crescimento absoluto de diâmetro do caule (TCA_{dc}) e altura (TCA_{ap}) em plantas de pimentão sob doses de silício e lâminas de irrigação aos 120 dias após o semeio (DAT).	32

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Produção das mudas de pimentão para a condução da pesquisa. Pombal, PB. 2018.	21
Figura 2. Detalhe do sombrite utilizado na área experimental da pesquisa. Pombal, PB. 2018.	23
Figura 3. Avaliação de trocas gasosas com auxílio do (IRGA). Pombal, PB. 2018.	24
Figura 4. Avaliação de crescimento com auxílio de fita métrica e paquímetro. Pombal, PB. 2018.	24
Figura 5. Efeito das doses de silício em função das lâminas de irrigação para a variável condutância estomática - g_s (A) e concentração de CO_2 nos espaços intercelulares - C_i (B) em plantas de pimentão aos 120 DAT.	27
Figura 6. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na taxa de transpiração da folha- E em plantas de pimentão aos 120 DAT.	28
Figura 7. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na taxa de assimilação de CO_2 -A em plantas de pimentão aos 120 DAT.	29
Figura 8. Efeito isolado das doses de silício nas variáveis eficiência intrínseca do uso de água - $iWUE$ (A) e eficiência do uso da água - WUE (B) em plantas de pimentão aos 120 DAT.	30
Figura 9. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na eficiência instantânea de carboxilação - Φ_{cem} em plantas de pimentão aos 120 DAT.	31
Figura 10. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) no diâmetro do caule das plantas de pimentão aos 120 DAT.	32
Figura 11. Efeito das doses de silício em função das lâminas de irrigação para as variáveis número de folhas (A) e altura (B) em plantas de pimentão aos 120 DAT.	33
Figura 12. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule – TCA_{dc} das plantas de pimentão aos 120 DAS.	35
Figura 13. Efeito das doses de silício em função das lâminas de irrigação para a variável taxa de crescimento absoluto de altura – TCA_{ap} em plantas de pimentão aos 120 DAT.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	ÁGUA NA AGRICULTURA E ESTRESSE HÍDRICO.	13
2.2	CULTURA DO PIMENTÃO (<i>CAPSICUM ANNUUM L.</i>).....	14
2.3	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO PIMENTÃO PARA A REGIÃO NORDESTE	15
2.4	SILÍCIO.....	16
3	. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	19
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	19
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	20
3.4	PRODUÇÃO DAS MUDAS	21
3.5	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	22
3.6	VARIÁVEIS ANALISADAS	23
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
5	CONCLUSÕES	37
6	REFERÊNCIAS	38

RESUMO

O silício é considerado um elemento benéfico para as plantas devido a sua função na atenuação dos efeitos negativos provocados por estresses bióticos e abióticos, contribuindo diretamente e de forma positiva com a produção e qualidade de plantas hortícolas. Dessa forma, objetivou avaliar o crescimento e trocas gasosas em pimentão influenciados pela adubação silicatada e estresse hídrico. O experimento foi realizado em campo, na Fazenda experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, pertencente a UFCG/CCTA, Campus Pombal - PB. Em que o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e 10 plantas por parcela. Os tratamentos testados compreenderam um esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de silicato de potássio (0; 2,2; 4,4; 6,6; 8,8 kg ha⁻¹ de Si) e em condições de estresse hídrico e condições hídricas ideais, lâminas de 50% e 100% da ETr, respectivamente. As características avaliadas foram taxa de transpiração nas folhas, concentração intercelular de CO₂, condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂, eficiência do uso da água, eficiência intrínseca do uso de água, eficiência instantânea de carboxilação, altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas e taxa de crescimento absoluto de altura e diâmetro do caule. O silício atenuou os efeitos do estresse hídrico em plantas de pimentão aos 120 dias após o transplântio (DAT) nas variáveis fisiológicas e morfológicas estudadas. A dose estimada de 4,2 g Si L⁻¹ apresentou os melhores resultados para as variáveis morfofisiológicas de plantas de pimentão aos 120 DAT para as duas lâminas de irrigação estudadas, 100% da ETr e 50% da ETr.

Palavras-chave: *Capsicum annuum* L., nutrição de plantas, silício, irrigação, adubação foliar.

ABSTRACT

Silicon is considered a beneficial element for plants due to its function in attenuating the negative effects caused by biotic and abiotic stresses, contributing directly and in a positive way to the production and quality of horticultural plants. The objective of this study was to evaluate the growth and gaseous changes in sweet pepper influenced by silicate fertilization and water stress. The experiment was carried out in the field at Rolando Enrique Rivas Castellón experimental farm, belonging to UFCG / CCTA, Campus Pombal - PB. In that the experimental design was a randomized block design, with four replications and 10 plants per plot. The treatments tested comprised a 5 x 2 factorial scheme, with five doses of potassium silicate (0, 2.2, 4.4, 6.6, 8.8 kg ha⁻¹ of Si) and under water stress conditions and ideal water conditions, slides of 50% and 100% of ETr, respectively. The characteristics evaluated were leaf transpiration rate, intercellular CO₂ concentration, stomatal conductance, CO₂ assimilation rate, water use efficiency, intrinsic water use efficiency, instantaneous carboxylation efficiency, plant height, stem diameter, number of leaves and absolute growth rate of height and stem diameter. Silicon attenuated the effects of water stress on pepper plants at 120 days after transplanting (DAT) on the physiological and morphological variables studied. The estimated dose of 4.2 g Si L⁻¹ presented the best results for the morphophysiological variables of pepper plants at 120 DAT for the two irrigation slides studied, 100% of ETr and 50% of ETr.

Key words: *Capsicum annuum* L., plant nutrition, silicon, irrigation, foliar fertilization.

1 INTRODUÇÃO

O pimentão é uma Solanácea, tipicamente de origem americana, ocorrendo formas silvestres no México, América Central e América do Sul (SOUZA et al., 2011). A cultura do pimentão vem se destacando como uma das olerícolas mais consumidas no Brasil. A sua produção cresceu vertiginosamente nos últimos anos, em função da melhor adaptação em ambiente protegido comparado a outras culturas (LEONARDO et al., 2007).

No Brasil, o pimentão está entre as dez hortaliças de maior importância econômica no mercado hortifrutigranjeiro, tanto em valor quanto em volume comercializado, sendo cultivado em todo o território nacional (ECHER et al., 2002; FILGUEIRA, 2008).

Com uma área plantada de aproximadamente 13 mil hectares, e produção estimada de 290 mil toneladas de frutos (MAROUELLI; SILVA, 2012), com destaque para os estados de São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro, como os principais produtores.

Todavia as maiores áreas de produção, estão localizadas no Sudeste, sendo esta, a principal região produtora do país (SOUZA et al., 2011). No entanto a região Nordeste apresenta bastante potencial para a produção de hortaliças, visto a grande oferta de mão de obra, e solos de boa fertilidade, mas um dos principais impasses para a melhoria da produção dessas plantas na região Nordeste, são as altas temperaturas, baixa precipitação, que causa estresse hídrico, e baixa umidade relativa entre outros fatores.

Outro ponto que limita a produção de hortaliças na região Nordeste se refere aos aspectos tecnológicos. A tecnologia empregada na produção regional é, em muitas vezes, defasada com relação àquela empregada em outras regiões produtoras do país, ou, pelo menos, naqueles lugares com os melhores índices de produtividade para essas mesmas atividades. O resultado dessa falta de tecnologia gera muitas vezes produções abaixo do potencial produtivo da cultura.

Com isso ocorre à busca de soluções através da pesquisa visando amenizar esses fatores, e fazer com que haja fixação desse produtor rural em sua

propriedade, onde no Nordeste este na maioria das vezes é dependente da agricultura familiar como fonte de subsistência.

A deficiência hídrica na cultura do pimentão é um dos fatores limitantes para a obtenção de elevada produtividade e qualidade dos frutos, tanto em ambiente protegido como em campo. A falta de água em plantas de pimentão durante a fase inicial de frutificação pode restringir a translocação de nutrientes como por exemplo o cálcio, onde sua ausência ocasiona má formação do meristema apical consequentemente reduz a cobertura foliar, contribuindo, respectivamente, para o surgimento das anomalias fisiológicas podridão apical e escaldadura, causando perdas significativas na qualidade e produção dos frutos (HARTZ et al., 2008).

A procura por novas tecnologias que possam garantir a qualidade das plantas com maior resistência a fatores bióticos e abióticos é de extrema importância para a agricultura, quanto para a cultura do pimentão.

Neste sentido, a utilização do silício (Si) como um elemento atenuante que reduz os efeitos negativos do estresse abiótico em áreas de produção vegetal tem sido bastante estudado. Visto que o mesmo tem apresentado importante papel na estruturação das plantas, pois sua presença na parede celular das plantas forma uma barreira física a redução de água, melhorando a arquitetura das plantas (KORNDÖRFER et al., 2002).

As informações obtidas em literatura sugerem que o Si tem grande potencial para a melhoria da produção agrícola brasileira, visto que estudos mostram que culturas podem se beneficiar desse elemento, minimizando efeitos causados por estresse abiótico nas plantas.

Deste modo, a avaliação dos possíveis efeitos positivos do silício em relação à atenuação dos efeitos do estresse hídrico na cultura do pimentão pode ser um importante avanço para a produção da cultura principalmente em regiões semiáridas.

Diante o exposto, objetivou-se avaliar as alterações morfofisiológicas em pimentão influenciadas pela adubação silicatada como atenuante do estresse hídrico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Água na agricultura e estresse hídrico.

Como já sabemos a água é a substância mais importante na superfície da Terra, visto que a mesma é responsável pelos principais processos bioquímicos que ocorrem em plantas e nos demais organismos vivos (LARCHER, 2006). Sua estrutura e propriedades químicas influenciam de forma direta a estrutura das proteínas, membranas, ácidos nucléicos e outros constituintes das células, sendo o principal constituinte do tecido vegetal, a qual representa 50% da massa fresca nas plantas lenhosas e em torno de 80 a 95% nas plantas herbáceas (KRAMER; BOYER, 1995).

A alteração dos níveis hídricos tem sido um dos principais alvos das pesquisas científicas, procurando um aumento na eficiência do uso de água pelas plantas, com vistas à otimização de práticas de manejo, bem como o maior entendimento dos efeitos do estresse hídrico no crescimento e na produção das plantas (GOMIDE et al., 1998).

Segundo Taiz e Zeiger (2017), a água atua como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos entre outros processos existentes nas plantas.

Chaves e Oliveira (2004), afirma que dentre os fatores abióticos, a deficiência hídrica destaca como sendo uma das principais limitações ambientais que influenciam a produção das culturas no planeta. Em que um dos sintomas dessa deficiência mais característico apresentado pelas plantas é a murcha, que, dependendo da severidade do estresse, pode ser reversível ou não.

O estresse hídrico provoca inúmeras alterações nas propriedades das membranas, tais como aumento da respiração, inibição da fotossíntese, menor produção de matéria seca, bem como senescência prematura e redução na produção e seus componentes (UPADHYAY et al. 2011, PEREIRA et al. 2012, DUARTE et al. 2013). Conseqüentemente a redução da área foliar, sendo esta um fator que determina o uso da água pelas plantas, uma vez que o seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a déficit hídrico (SANTOS; CAR-LESSO, 1998).

A redução na área foliar das plantas é considerada um mecanismo mostrado pelas plantas em contrapartida a defesa à deficiência hídrica, onde as mesmas reduzem a transpiração, para que não venham a sofrer murcha permanente.

No entanto, tal mecanismo implica na redução da produtividade, ocorrido devido ao fato de uma menor interceptação da radiação solar, reduzindo assim de forma drástica a taxa fotossintética (GRACIANO, 2009).

Em plantas, o estresse abiótico desencadeia uma série de respostas a partir de alterações da expressão gênica e do metabolismo celular (BRAY et al., 2000), causando diminuição do potencial osmótico. Conseqüentemente, reduzindo o turgor celular e ocorre uma diminuição acentuada na taxa de expansão foliar e taxa geral de crescimento da planta influenciando assim de forma direta sua produção (DUQUE et al., 2013).

Na tentativa de tolerância a deficiência hídrica, a planta utiliza mecanismos fisiológicos e anatômicos que retardam a desidratação tal como uma diminuição da atividade celular para a manutenção do potencial osmótico, expressa como uma tentativa para conter a desidratação celular (ZHENG et al., 2000; DUQUE et al., 2013).

Outro ponto que é ocasionado devido ao estresse hídrico excessivo em solanáceas é o abortamento e queda de flores, sendo este um dos principais fatores que vêm a ser limitantes de altas produtividades no cultivo de pimentão (ANTHONY; SHINGANDHUPE, 2004; KIRDA et al., 2004; GUANG-CHENG et al., 2008; PATANÈ; COSENTINO, 2010).

2.2 Cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.)

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma Solanácea, do gênero *Capsicum*, mesma família das batatas, tomates, jiló e berinjela e mesmo gênero das pimentas sendo tipicamente de origem americana, ocorrendo em sua forma silvestre no México, América Central e América do Sul (SOUZA et al., 2011).

Segundo (ALBUQUERQUE et al., 2012), a mesma vem se destacando no cenário do mercado brasileiro em que encontra entre as dez de maior importância econômica no mercado nacional tanto em valor como em volume comercializado, sendo rica em vitaminas e sais minerais.

Cultivado no Brasil, o pimentão se caracteriza pela adaptação ao clima tropical sendo pouco tolerante à temperatura baixa e intolerante à geada. Na região Sudeste do Brasil, o pimentão é caracteristicamente cultivado entre a primavera e o outono, podendo também ser trabalhado no inverno em regiões de baixa altitude. Devido a sua alta adaptabilidade a ambiente protegido, é possível produzir o pimentão durante o ano todo e em todas as regiões a exemplo da região Nordeste (FONTES; DIAS; SILVA, 2005).

O pimentão apresenta grande diversidade de colorações, formatos, tamanhos e pungência, as denominações mais comuns se referem a sua coloração: verde, vermelho e amarelo, seguidos por laranja, creme e roxo. Podem ser consumidos pré-maduros ou maduros e possuem poucas calorias. São vegetais que proporcionam grande fonte, de vitaminas C e A, e minerais como cálcio, magnésio fósforo, potássio e ferro (EMBRAPA, 2001; IBGE, 2011).

Filgueira (2000) aponta que o pimentão é uma planta de dias curtos facultativa, pois floresce e frutifica em qualquer comprimento de dia, porém, florescimento, frutificação e maturação dos frutos são mais precoces em dias curtos, o que favorece sua produtividade.

Maiores rendimentos com a cultura são obtidos em condições de precipitação de 600 a 1200 mm bem distribuídos durante o período de crescimento. Precipitações intensas durante a floração provocam queda de flores e o mau estabelecimento dos frutos.

Filgueira (2008), afirma que o desenvolvimento da cultura é favorecido quando a amplitude térmica é de 6 °C, sendo consideradas ideais as faixas de temperatura de 16 a 18 °C a noite e de 20 a 25 °C durante o dia.

Atualmente como as doenças são consideradas como um dos principais entraves a um aumento mais expressivo de produção isso ocorrendo devido ao fato da cultura ser muito sensível e suscetível a tais problemas (NOGUEIRA et al., 2012).

2.3 Importância da cultura do pimentão para a região nordeste

A região do Nordeste brasileiro tem 58% do seu território situado na área semiárida, a qual é caracterizada pela ocorrência do fenômeno das secas periódicas (MAGALHÃES; CAMPOS, 1997). As chuvas concentram, em geral, entre os meses

de fevereiro a abril, em que ficam os nove meses restantes do ano, submetidos a um déficit hídrico que se acentua no decorrer do período, devido a altas temperatura e taxas de evapotranspiração elevadas, comprometendo os sistemas de cultivo de sequeiro, principal atividade econômica da região.

Nesse contexto para Albuquerque et al.(2011), do ponto de vista econômico, o pimentão se encontra entre as dez hortaliças de maior importância no mercado nacional de olerícolas, por apresentar retorno acelerado aos investimentos, rápido início de produção, e por isso é bastante explorada por pequenos e médios produtores característicos da região semiárida. Por se tratar de uma cultura que é originária do continente americano a mesma pode ser produzida o ano todo em regiões de clima quente, encontrando assim, ótimas condições de cultivo no Nordeste brasileiro (MONTEIRO et al., 2009).

A cultura do pimentão vem se destacando entre as principais hortaliças de importância econômica no mercado brasileiro. Apesar da maior concentração da produção estar localizada nos estados da região sudeste, o Nordeste brasileiro tem apresentado ótimas condições de cultivo, a exemplo do estado do Ceará, o qual apresenta autossuficiente na produção desta olerícola, afirma (BARROS JÚNIOR, 2001).

2.4 Silício

Segundo elemento que mais é encontrado na crosta terrestre, o silício, mesmo não sendo considerado um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, estar associado a diversos efeitos benéficos, dentre os quais se destacam: o baixo coeficiente de transpiração, com melhor aproveitamento da água por meio da planta bem como o maior teor de clorofila e a maior rigidez estrutural dos tecidos, onde com o aumento da resistência mecânica das células, ocasiona uma maior rigidez dos tecidos deixando as folhas mais eretas e aumentando a área fotossintética e a absorção de CO₂ (BRAGA et al., 2009; CARVALHO et al., 2009).

O silício é absorvido preferencialmente pela planta na forma de ácido monossilícico H₄SiO₄ (YOSHIDA, 1975; TAKAHASHI, 1996). Em que no interior da planta, 99% de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, sendo o restante (1%) encontrado na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1975).

Elemento que tem despertado bastante interesse entre técnicos e agricultores, devido ao fato do mesmo ter apresentado inúmeros benefícios que traz às culturas, incluindo aumentos na produtividade e na resistência a estresses bióticos e abióticos, tais como excesso de metais pesados, deficiência hídrica e doenças fúngicas (TONIN, 2005).

Teodoro (2015) afirma que o acúmulo de sílica junto a órgãos de transpiração tem promovido a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, em que a qual proporciona uma redução da transpiração, que faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor ou também possibilite uma redução na perda de água pelas plantas através da abertura e fechamento estomático em condições de estresse hídrico.

Acrescenta a tais fatores, a diminuição do autossombreamento e a redução do acamamento; o aumento do número de folhas e da matéria seca; o retardo da senescência e a proteção contra estresses bióticos, através da diminuição da incidência de patógenos e do aumento da resistência a insetos pela formação de uma barreira mecânica (LIMA et al., 2011).

Tonin (2005) propõem que, plantas com níveis mais elevados de silício tendem a conter mais nitrogênio em seus tecidos, podendo ser explicado devido ao aumento na produção de fotoassimilados, ao incremento na taxa fotossintética acarretada pela maior quantidade de substrato para a incorporação do nitrogênio nos esqueletos carbônicos, o qual conseqüentemente torna as plantas mais robustas e vigorosas.

Desse modo, é crucial a integração de diferentes linhas de pesquisas a fim de identificar e assim superar as limitações genéticas e agronômicas das culturas, em relação ao crescimento e a produtividade, em ambientes que não venham a ser favoráveis, particularmente os sujeitos à seca (CHAVES; DAVIES, 2010).

Trabalhos têm mostrado que acúmulo de silício junto a epiderme, associada com pectina e cálcio, forma uma dupla camada cuticular, assim essa associação pode proteger e fortalecer a estrutura das plantas, diminuindo a perda líquida pela redução do diâmetro dos poros (HAVLIN et al. 2005; SNYDER; MATICHENKOV; DATNOFF, 2007).

Com tudo o silício está presente em maior freqüência em regiões onde a água é perdida em maior quantidade, isso ocorre em maior Constancia, na epiderme foliar junto as células-guarda dos estômatos. Dayanandam et. al., (1983), afirmam que essa deposição de sílica nos tecidos foliares promove a redução na taxa de transpiração minimizando assim a perda de água pelas plantas ao ambiente.

Com tudo a utilização do silício (Si) como um elemento que promove uma atenuação, que conseqüentemente vem a reduzir os efeitos negativos do estresse abiótico como a deficiência hídrica em áreas de produção vegetal tem sido um ponto de estudos que vêm trazendo bastantes resultados positivos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, na área experimental do setor de horticultura, pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Pombal, localizada na cidade de São Domingos - PB, que se encontra na mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa, tendo uma altitude de 190 metros.

A vegetação da região é do tipo Caatinga hiperxerófila, em avançado estado de degradação. O relevo predominante é o do tipo suave ondulado a ondulado (BRASIL, 1972; EMBRAPA, 2006).

Segundo a classificação de Köppen, adaptada ao Brasil, o clima da região é classificado como BSh semiárido quente, temperatura média anual de 28°, precipitações pluviométricas em torno de 750 mm ano⁻¹ e evaporação média anual de 2000 mm (COELHO; SONCIN, 1982).

3.2 Caracterização do solo

Foi retirada uma amostra de solo da área onde o experimento foi implantado para a determinação das características químicas. Após seca ao ar, destorroada e passada em peneira de malha de 2 mm, foi encaminhada ao Laboratório de Solo e Nutrição de Planta do CCTA/UFCG para sua caracterização conforme procedimentos descritos em EMBRAPA (1997). Em que foi determinado o pH em CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹, condutividade elétrica em água – Relação 1:5 (CE), fósforo disponível (P), os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, Na⁺, K⁺ trocáveis, e matéria orgânica (MO) (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental do setor de horticultura da Fazenda experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, UFCG/CCTA no município de São Domingos. Pombal, PB. 2018.

Atributos	Prof.0-20 cm
pH Água	6,5
C.E $\mu\text{S}(25^\circ)$	0,32
P g mg/cm^3	16
Ca^{+2} cmolc/dm^3	2,7
Mg^{+2} cmolc/dm^3	2,5
Al^{3+}	0
K^{+} cmolc/dm^3	1,39
Na^{+} cmolc/dm^3	0,61
MO (%)	1

pH em água, KCl e CaCl_2 – Relação 1:2,5; P – Na – K – Fe – Zn – Mn – Cu – Extrator Mehlich I ; Ca – Mg – Al – Extrator: KCl – 1 mol/L; C.E. em água – Relação 1:5

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e 10 plantas por parcela, totalizando 400 plantas. Os tratamentos testados foram em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de silicato de potássio (0; 2,2; 4,4; 6,6; 8,8 kg ha^{-1} de Si) e em duas condições hídricas, lâminas de 50% e 100% da ETr, respectivamente.

A determinação da Lâmina de irrigação foi obtida empregando o método do coeficiente da cultura, que é utilizado para estimativa da demanda real de água de uma cultura em cada fase de crescimento, sendo método base para projetos de irrigação, conforme descrito na equação 1:

$$ETr = Kc * ETP \quad (1)$$

em que:

ETr = evapotranspiração real da fase (mm/período);

Kc = coeficiente de cultura de fase (adimensional);

ETp = evapotranspiração potencial do período (mm/período) - estação de São Gonçalo – PB.

As doses de silício foram parceladas em quatro vezes as quais foram aplicadas mensalmente com um auxílio de um pulverizador costal, em que tomou o cuidado de aplicar o produto de forma que o mesmo não escorresse sobre a

superfície da folha. As aplicações tiveram início 20 dias após o transplântio juntamente com a adubação inicial básica com macronutrientes. Os micronutrientes foram aplicados quinze dias após o transplântio. O produto utilizado no experimento foi o silicato de potássio (K_2SiO_3) líquido, solúvel em água, contendo 12,2% de silício e 15% de óxido de potássio, pH igual a 12 e densidade de $1,4g\ dm^{-3}$. As aplicações foram feitas via foliar de acordo com os tratamentos, com auxílio de um pulverizador costal de ação manual de 20 L.

3.4 Produção das mudas

As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células, preenchidas com substrato comercial, seguindo todas as etapas necessárias para um pleno e vigoroso desenvolvimento das mudas. Em cada célula foram colocadas duas sementes com posterior desbaste, ficando somente uma planta por célula. O transplântio foi realizado quando as mudas apresentaram de 8 a 10 cm e quatro a cinco folhas completamente expandidas (Figura 1).



Figura 1. Produção das mudas de pimentão utilizadas no experimento. Pombal, PB. 2018.

3.5 Condução do experimento

Antes da entrada das mudas no campo, a área experimental foi preparada com auxílio de um trator, em que foi realizada uma gradagem na área com a finalidade de melhorar as características físicas do solo, é para o controle das plantas invasoras e posteriormente incorporação do material vegetal existente. Posteriormente de forma manual e com auxílio de enxadas foi realizado o levante de camalhões, os quais favoreceriam o desenvolvimento radicular das plantas e melhoraria a distribuição da irrigação sobre a área trabalhada, deixando assim a irrigação mais homogênea e consequentemente evitando pontos de encharcamento.

A cultivar utilizada no experimento foi a cultivar de pimentão Cascadura Ikeda que apresenta as seguintes características: planta com crescimento ereto, excelente vigor, muito produtiva, polpa firme e de sabor adocicado.

Realizou uma desbrota das plantas até a altura das primeiras flores de maneira a favorecer o alongamento das hastes e proporcionar a formação de uma arquitetura mais arejada e menos propícia ao desenvolvimento de pragas.

Ao longo do ciclo da cultura do pimentão foram realizados os tratos culturais necessários para seu pleno desenvolvimento. O controle de plantas invasoras foi realizado ao longo do ciclo com diversas capinas manuais. O controle fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade de prevenção e controle, ao longo do experimento, com aplicações de fungicidas e inseticidas tais como: tiofanato-metilico, metomil, imidacloprido, deltametrina.

Como forma de atenuar os efeitos causados pela alta irradiação solar existente na região Nordeste, utilizou um sombrite preto, como forma de auxílio no sombreamento para as plantas, o mesmo foi instalado antes das mudas irem a campo. Como suporte para o sombrite utilizou estacas afixadas ao solo e arame grosso para dar sustentação e firmeza a estrutura montada na área (Figura 2).



Figura 2. Detalhe do sombrite utilizado na área experimental da pesquisa. Pombal, PB. 2018.

3.6 Variáveis analisadas

Aos 120 dias após transplântio (DAT), usando um analisador de gás por infravermelho (IRGA) modelo LCPro⁺, determinou as trocas gasosas das plantas de pimentão, por meio da taxa de transpiração nas folhas (E), concentração intercelular de CO_2 (C_i), condutância estomática (g_s) e taxa de assimilação de CO_2 (A). com estes dados estabeleceu as relações de eficiência do uso da água ($WUE = A/E$), eficiência intrínseca do uso de água ($iWUE = A/g_s$) e eficiência instantânea de carboxilação ($\Phi_c = A/C_i$) (ZHANG et al., 2001). As medidas de trocas gasosas foram realizadas no período das 6:00 às 9:00 horas da manhã, em duas plantas por parcela na folha nova completamente expandida escolhida de forma aleatória, usando fonte de luz artificial com intensidade de $1200 \text{ MJ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e CO_2 obtido da atmosfera a uma altura de 2,5 m (Figura 3).



Figura 3. Avaliação de trocas gasosas com auxílio do analisador de gás por infravermelho (IRGA) modelo LCPro⁺. Pombal, PB. 2017.

Aos 120 DAT foram avaliados os parâmetros de crescimento das plantas tais como: altura (cm), diâmetro do caule (mm) e número de folhas. As avaliações foram realizadas em quatro plantas por parcela (Figura 4).



Figura 4. Avaliação de crescimento com auxílio de fita métrica e paquímetro. Pombal, PB. 2017.

Altura da planta (cm): medida com o auxílio de uma fita graduada em milímetros, acima da superfície do solo até o meristema apical. Diâmetro do caule (mm): medida com o auxílio de um paquímetro digital, a um cm acima da superfície

do solo. Número de folhas: Foi avaliado o número de folhas totalmente abertas por planta emitidas. O número de folhas foi obtido pela contagem a partir da base da planta até o ápice.

Para avaliação do efeito dos tratamentos sobre o crescimento das plantas foram mensuradas no período entre 30 a 120 DAT, a taxa de crescimento absoluto (TCA) para altura de plantas (TCA_{AP}) e diâmetro de caule (TCA_{DC}). A determinação da taxa de crescimento absoluto (TCA) foi obtida empregando-se metodologia proposta por Benicasa (2003), com algumas modificações, conforme descrito na equação 2:

$$TCA = \frac{(A_2 - A_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

em que: TCA = taxa de crescimento absoluto;

A_2 = crescimento da planta no tempo t_2 ;

A_1 = crescimento da planta no tempo t_1 ; e

$t_2 - t_1$ = diferença de tempo entre as amostragens.

3.7 Análise estatística

As variáveis foram avaliadas mediante análise de variância, pelo teste F (1 e 5% de probabilidade) e, nos casos de efeito significativo, realizou análise de regressão polinomial linear e quadrática, utilizando do *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014). A escolha da regressão foi feita mediante melhor ajuste em base de coeficiente de determinação (R^2) e levando em consideração uma provável explicação biológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme resumo da análise variância (Tabela 2), verifica efeito isolado das doses de silício e lâminas de irrigação nas variáveis taxa de transpiração da folha (E), taxa de assimilação de CO_2 (A) e eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c), enquanto que nas variáveis eficiência intrínseca do uso de água ($iWUE$) e eficiência do uso da água (WUE) observa efeito apenas para as doses de silício utilizadas. Efeito significativo para interação dos fatores (lâminas de irrigação x doses de silício) foi observado nas variáveis fisiológicas condutância estomática (g_s) e concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis fisiológicas condutância estomática (g_s), concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i), taxa de transpiração da folha (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), eficiência intrínseca do uso de água ($iWUE$), eficiência do uso da água (WUE) e eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c) em plantas de pimentão sob doses de silício e lâminas de irrigação aos 120 (DAT).

QUADRADO MÉDIO								
Fonte de variação	GL	g_s	C_i	E	A	$iWUE$	WUE	(Φ_c)
Doses de Si (D)	4	0,0005**	1299**	0,23**	9,51**	615,4**	1,64**	0,0002**
Reg. Linear	1	0,0000 ^{ns}	2376**	0,00 ^{ns}	9,35**	182*	1,76**	0,0003*
Reg. Quadrática	1	0,002**	2552**	0,81**	27,30**	2131**	4,65**	0,0004*
Lâminas (L)	1	0,0008**	661*	0,73**	19,42**	79,69 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,0008**
Interação (D x L)	4	0,0003*	896**	0,03 ^{ns}	1,07 ^{ns}	17,44 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Blocos	3	0,0000	261 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,93 ^{ns}	85,54 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
CV(%)		9,48	6,16	10,49	9,08	8,40	6,65	18,57

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$

Como observado na (figura 5), as doses de silício nas lâminas de irrigação proporcionaram efeito polinomial quadrático na variável condutância estomática (g_s), com o ponto de máxima situado na dose estimada de $4,8 \text{ g L}^{-1}$ na lâmina de 50% da ETr e $3,3 \text{ g L}^{-1}$ na lâmina de 100% da ETr, aumentando assim em 16,76% e 7,34%, respectivamente, a g_s quando comparada as plantas sem aplicações do produto.

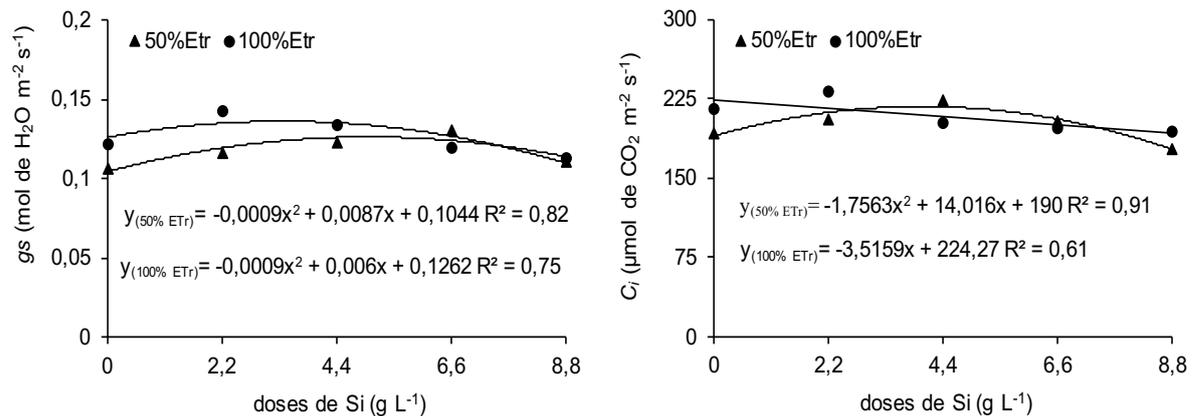


Figura 5. Efeito das doses de silício em função das lâminas de irrigação para a variável condutância estomática - g_s (A) e concentração de CO_2 nos espaços intercelulares - C_i (B) em plantas de pimentão aos 120 DAT.

Paiva et al. (2005), propõem que a condutância estomática regula as trocas gasosas e, portanto, possui relação direta com o processo fotossintético e conseqüente crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

Para a variável concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i) (Figura 5), as doses de silício proporcionaram efeito polinomial quadrático na lâmina de 50% da ETr, com aumento de $27,963 \mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (12,82%) na dose de 4 g L^{-1} quando comparada as plantas testemunhas. Enquanto que as doses de Si nas plantas sob a lâmina de 100% da ETr apresentaram efeito linear decrescente, com diminuição total de 13,82% na maior dose de Si quando comparada as plantas sem aplicação do mesmo.

Scalon et al. (2011), afirmam que em condições de baixa disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos das plantas podem ser afetados, como o fechamento estomático, redução da condutância estomática, redução da fotossíntese e transpiração, levando assim ao declínio da taxa de crescimento da planta. No entanto isto não veio a ocorrer neste trabalho onde o efeito foi quadrático sendo interferido pelo silício.

Para a taxa de transpiração da folha constata que para as doses de silício efeito polinomial quadrático (Figura 6A), com o máximo de ganho ocorrendo na dose estimada de $4,3 \text{ g L}^{-1}$, sendo esta 10,87% superior as plantas que não receberam aplicação dos tratamentos.

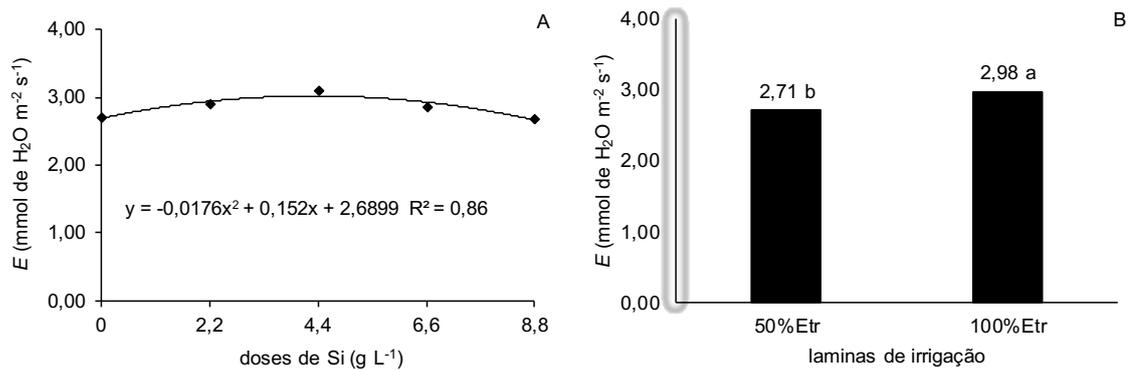


Figura 6. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na taxa de transpiração da folha- *E* em plantas de pimentão aos 120 DAT.

As lâminas de irrigação diferiram estatisticamente na variável taxa de transpiração da folha (Figura 6B), com a lâmina de 100% da ETr apresentando uma superioridade de 10,87% quando comparadas as plantas submetidas ao estresse hídrico (50% da ETr).

Lima et al. (2010), aponta que o comportamento estomático determina a demanda transpirativa a que as folhas estão potencialmente sujeitas controlando sua perda de água para o ambiente, na forma de vapor.

Taiz e Zeiger (2017) ressaltam que a água atua como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos entre outros processos existentes nas plantas e que sua limitação acarretara em reduções severas neste processo.

Avaliando a taxa de assimilação de CO₂ em função das doses de silício (Figura 7A), constata efeito quadrático, com o ponto de máxima 11,87 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹ obtido na dose de 5,2 g de Si L⁻¹, sendo essa 22,91% maior ao encontrado nas plantas que não receberam os tratamentos com silicato 9,15 μmol de CO₂ m⁻²s⁻¹.

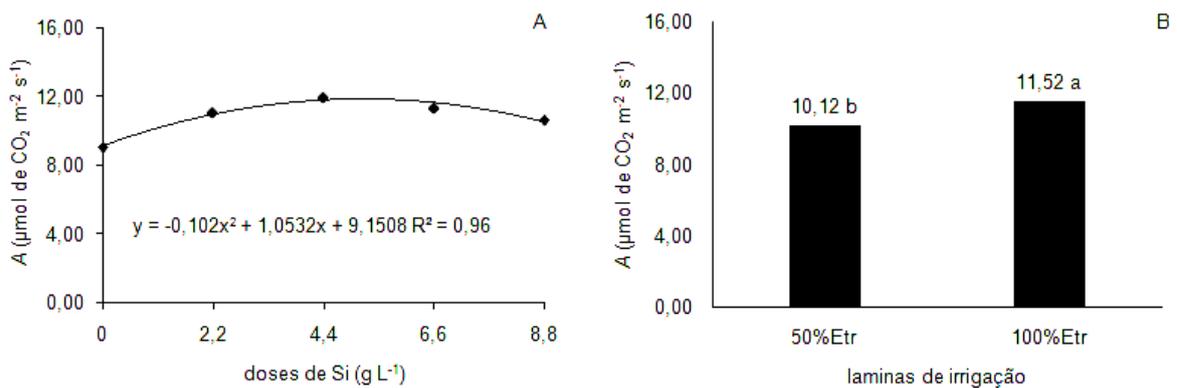


Figura 7. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na taxa de assimilação de CO₂-A em plantas de pimentão aos 120 DAT.

Deste modo, a água e o CO₂ são alguns dos fatores limitantes da fotossíntese ressaltando que a maior resistência difusiva dos estômatos reduz a fotossíntese, principalmente pela restrição da condução gasosa da folha, em que Kerbauy, (2008), afirma que a restrição hídrica pode causar inibição na fotossíntese devido à limitação estomática nas plantas.

Em relação as lâminas de irrigação sobre a variável taxa de assimilação de CO₂, nota-se que as plantas irrigadas com lâmina de 100% da ETr possibilitou um aumento de 12,15% quando comparado as plantas submetidas a lâmina de 50% da ETr (Figura 7B).

As doses crescentes de silício influenciaram de forma positiva a eficiência intrínseca do uso de água, exercendo efeito quadrático, com o melhor resultado encontrado na dose estimada de 4,8g L⁻¹, que proporcionou um acréscimo de 21,20% quando comparado com as plantas que não foram sujeitas a adubação silicatada (Figura 8A).

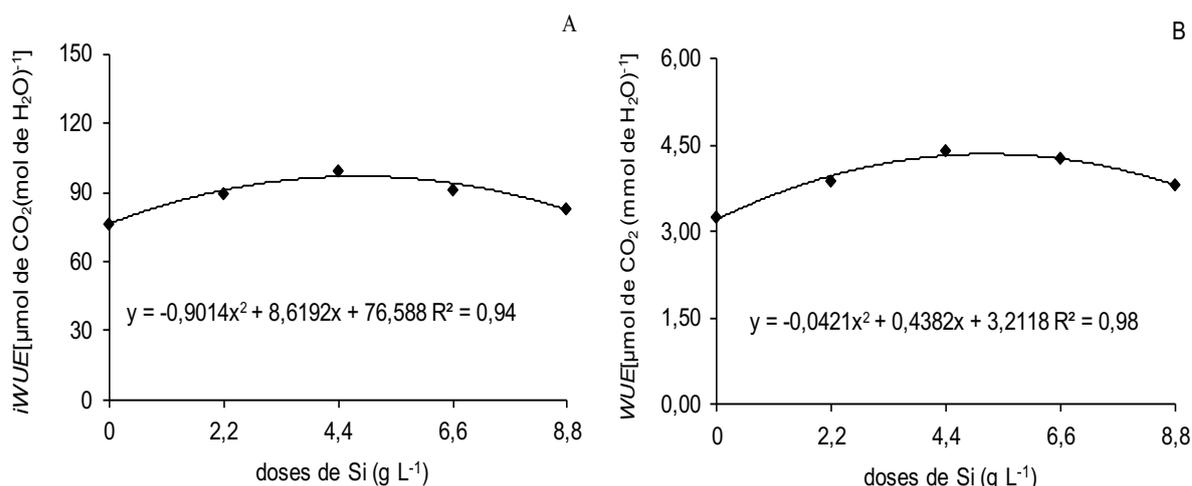


Figura 8. Efeito isolado das doses de silício nas variáveis eficiência intrínseca do uso de água - $iWUE$ (A) e eficiência do uso da água - WUE (B) em plantas de pimentão aos 120 DAT.

Ressalta que quanto menor a disponibilidade de água para as plantas menor também será o grau de abertura estomática para reduzir a perda d'água; conseqüentemente, a ($iWUE$) é maior mantendo o mínimo de equilíbrio hídrico o que ainda pode ser relatado que as plantas tipo C3, são limitadas a assimilar CO_2 em situações hídricas adversas (KERBAUY, 2008).

Em relação à eficiência do uso da água, as aplicações de silício nas plantas de pimentão proporcionaram conforme equação de regressão, efeito quadrático (Figura 8B), com o ponto de máxima se situando na dose estimada de 5,2 g de Si L⁻¹, ampliando assim a WUE em 26,21% em relação as que não receberam aplicações do produto.

Na eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c), a aplicação da dose estimada de 5,6 g L⁻¹ de silicato de potássio proporcionou uma melhoria de 21,52 % na Φ_c , quando comparada com as plantas testemunhas (Figura 9B).

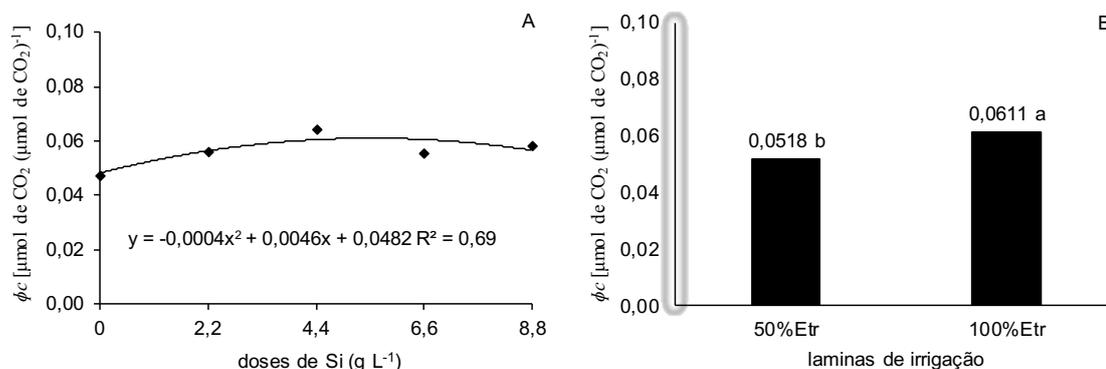


Figura 9. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na eficiência instantânea de carboxilação – ϕ_c em plantas de pimentão aos 120 DAT.

Mostrando assim que as plantas submetidas a adubação silicatada são mais eficientes na assimilação de CO₂, até a dose de 5,6 g L⁻¹ provavelmente pelo acúmulo de silício que deixa as folhas mais eretas e favorecer uma maior captação de energia luminosa e por ventura uma melhor fotossíntese (GUBERT; DELAI, 2016).

Uma vez que se as concentrações de CO₂ intercelulares são muito baixas, o influxo deste componente nas células do mesófilo é restringido; assim, a planta utiliza o CO₂ proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética, tornando-a limitada (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Ainda para a variável eficiência instantânea de carboxilação (Figura 9B), a lâmina de irrigação de 100% da ETr possibilitou uma elevação de 15,22% em relação as plantas de pimentão sob a lâmina de 50% da ETr.

Conforme os resultados obtidos na Tabela 3, constata efeito isolado das doses de silício e lâminas de irrigação na variável diâmetro do caule (DC) e taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule (TCA_{dc}), sendo que as demais variáveis número de folhas (NF), altura de plantas (AP) e taxa de crescimento absoluto da altura de planta (TCA_{ap}) apresentaram efeito significativo para a interação dos fatores lâminas e doses.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), altura de plantas (AP) e taxa de crescimento absoluto de diâmetro do caule (TCAdc) e altura (TCAap) em plantas de pimentão sob doses de silício e lâminas de irrigação aos 120 dias após o semeio (DAT).

QUADRADO MÉDIO						
Fonte de variação	GL	DC	NF	AP	TCAdc	TCAap
Doses de Si (D)	4	3,68*	3987**	530,29**	0,0005**	0,0921**
Reg. Linear	1	0,66 ^{ns}	426 ^{ns}	58,91 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0010 ^{ns}
Reg. Quadrática	1	12,22**	11767**	1807,95**	0,0019**	0,3236**
Lâminas (L)	1	47,94**	2007**	27,80 ^{ns}	0,0050**	0,00007 ^{ns}
Interação (D x L)	4	0,89 ^{ns}	354*	80,19*	0,0001 ^{ns}	0,0163**
Blocos	3	0,36 ^{ns}	149 ^{ns}	184,12**	0,0000 ^{ns}	0,0177**
CV(%)		5,60	7,78	5,80	6,42	5,78

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$

O diâmetro do caule das plantas de pimentão aos 120 DAT apresentaram efeito polinomial quadrático com o aumento das doses do silicato com o ponto de máxima encontrado na dose estimada de $4,1 \text{ g L}^{-1}$ (19,41 mm), sendo essa 5,92% as que não receberam aplicações do produto (18,26 mm) (Figura 10A).

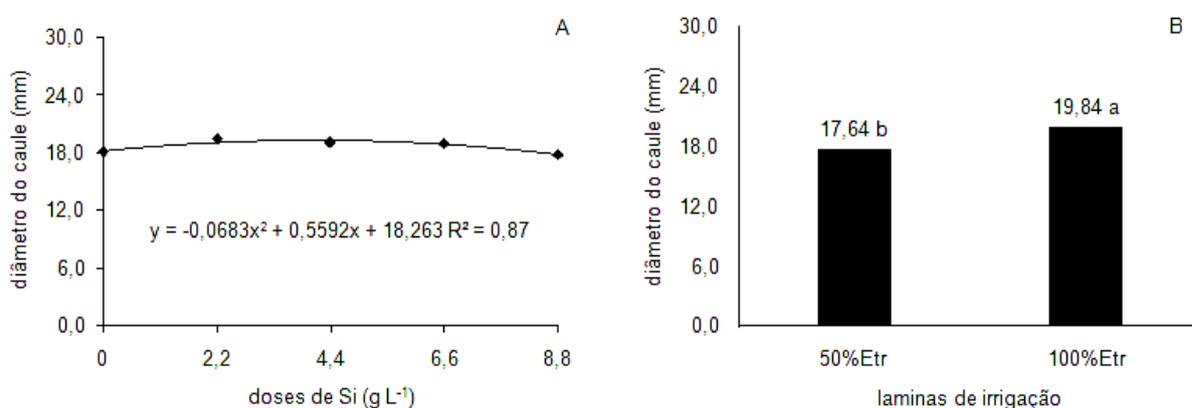


Figura 10. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) no diâmetro do caule das plantas de pimentão aos 120 DAT.

Como esperado, a variável diâmetro do caule teve os melhores resultados encontrados na lâmina de 100% da ETr, que conferiu uma superioridade na ordem de 11,10% quando comparado as plantas de pimentão irrigadas com a lâmina de 50% da ETr.

Este comportamento é explicado devido ao fato de que o estresse hídrico ocasiona a redução da taxa fotossintética pelo fechamento estomático e mudanças no *status* de água da folha, desta forma levando à redução da transpiração e conseqüentemente do metabolismo (SCALON et al., 2011; SILVA et al., 2009), conseqüentemente reduzindo o diâmetro do caule.

Analisando o desdobramento das doses sobre as lâminas de irrigação na variável número de folhas, constata-se efeito polinomial quadrático para as duas lâminas de irrigação estudadas, sendo que a lâmina de 100% da ETr teve os melhores valores encontrados na dose estimada de 4,2 g L⁻¹, enquanto a lâmina de 50% da ETr na dose estimada de 4,2 g L⁻¹. Doses estas que, quando comparadas as plantas testemunhas, proporcionaram um aumento de 15,98% e 25,85% respectivamente (Figura 11A).

Este fato pode estar atrelado a maior rigidez estrutural dos tecidos, com o aumento da resistência mecânica das células, deixando as folhas mais eretas com uma maior superfície de contato assim aumentando a área fotossintética e a absorção de CO₂ com isso conseqüentemente alimentando o número de folhas (CARVALHO et al, 2009; BRAGA et al., 2009).

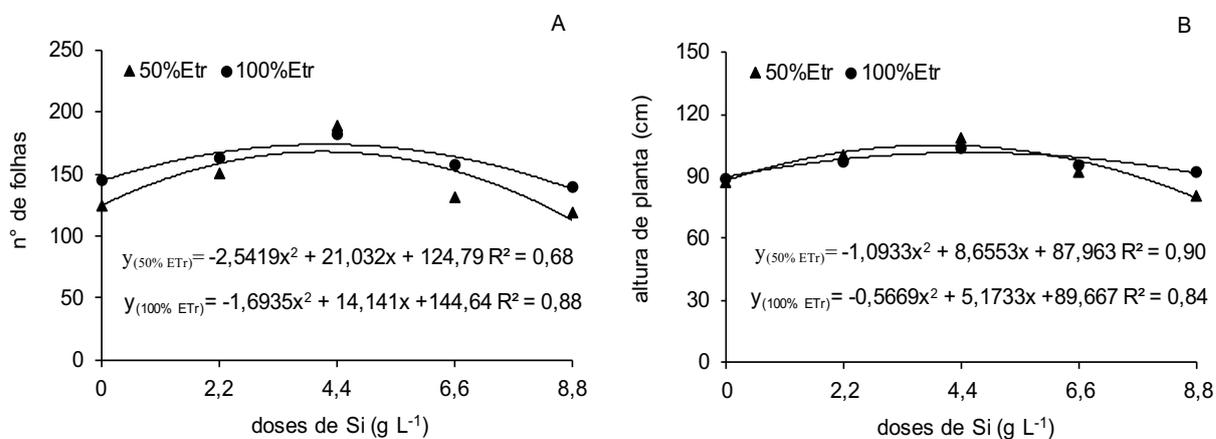


Figura 11. Efeito das doses de silício em função das lâminas de irrigação para as variáveis: número de folhas (A) e altura (B) em plantas de pimentão aos 120 DAT.

O efeito benéfico do silicato de potássio com relação ao aumento do número de folhas nas plantas de pimentão pode estar associado a alguns fatores indiretos que estimulam o crescimento e a produção vegetal ocasionado pela deposição deste elemento junto as folhas, aumentando assim a rigidez das paredes celulares e proporcionando a redução da transpiração cuticular. A vista disto ocorre um aumento da quantidade de água na planta, que conseqüentemente aumenta a quantidade de fotoassimilados, desta forma promovendo, este comportamento (JESUS et al., 2018).

Comportamento similar foi observado para a variável altura de plantas (Figura 11B), em que observa efeito polinomial quadrático para as lâminas de irrigação estudadas, com a lâmina de 100% da ETr apresentando uma superioridade de 11,63% na dose de 4,0 g Si L⁻¹ quando comparada as plantas sem aplicações do produto. Já as plantas sob estresse hídrico apresentaram na dose estimada de 4,6 g Si L⁻¹ um aumento de 16,30% quando comparadas as plantas testemunhas.

Este fato pode estar associado ao estímulo do silicato de potássio no aumento da atividade de algumas enzimas antioxidantes, como catalase e peroxidase, onde as mesmas são capazes de combater a ação de espécies reativas de oxigênio, produzidas em ambientes submetidos a algum tipo de estresse abiótico (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A deficiência hídrica ocasiona reduções no potencial da água das células componentes do caule até o alcance de um nível de potencial hídrico inferior ao que seja o mínimo necessário para o desencadeamento do processo de alongamento celular dos entrenós conseqüentemente proporcionando, uma altura menor das plantas (NEZAMI et al. 2008).

As doses de silicato proporcionaram efeito polinomial quadrático na variável taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule, com a dose de 3,9 g Si L⁻¹ ocasionando um acréscimo de 7,90% nesta variável quando comparada as plantas testemunhas (Figura 12A).

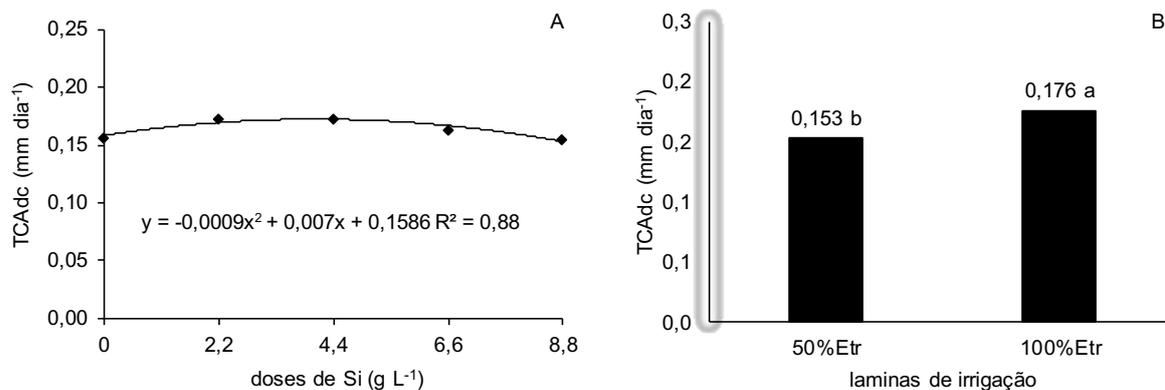


Figura 12. Efeito isolado das doses de silício (A) e lâminas de irrigação (B) na taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule – TCA_{dc} das plantas de pimentão aos 120 DAT.

As lâminas de irrigação divergiram na TCA_{dc} (Figura 12B), sendo que a lâmina de 100% da ETr apresentou uma superioridade de 13,07% quando confrontadas as plantas submetidas a lâmina de 50% da ETr.

Tal comportamento pode estar relacionado ao estímulo ocorrido pelo silicato de potássio no aproveitamento do nitrogênio pela planta, possibilitando assim uma absorção, assimilação, nutrição e, conseqüentemente que a sua produtividade, sejam aumentadas (VIANA; KIEHL, 2010). Podendo também ser atrelado ao aumento na produção de fotoassimilados, carregada pela maior quantidade de substrato para a incorporação do nitrogênio nos esqueletos carbônicos (TONIN, 2005).

Para Souza et al., (2015) a imposição do déficit hídrico provoca limitação na absorção de água e dessa forma reduz a turgescência celular, deste modo atrasando o crescimento da planta e aumentando a síntese de enzimas proteolíticas. Por sua vez estas enzimas quebram as proteínas armazenadas nas plantas e assim reduzem sua síntese, afetando vários processos bioquímicos na tentativa de sustentar os níveis de água na folha, tal como o balanço osmótico celular.

Para a taxa de crescimento absoluto de altura de planta, observa efeito polinomial quadrático das doses de silício nas lâminas de irrigação de 100% ETr, com a dose de 4,6g Si L⁻¹ apresentando um aumento de 23,36% na TCA_{ap} quando comparada com as plantas testemunhas; e 50% da ETr, com o aumento de 23,36% TCA_{ap} na dose de 4,2 Si L⁻¹ quando comparada as plantas testemunhas (Figura 13).

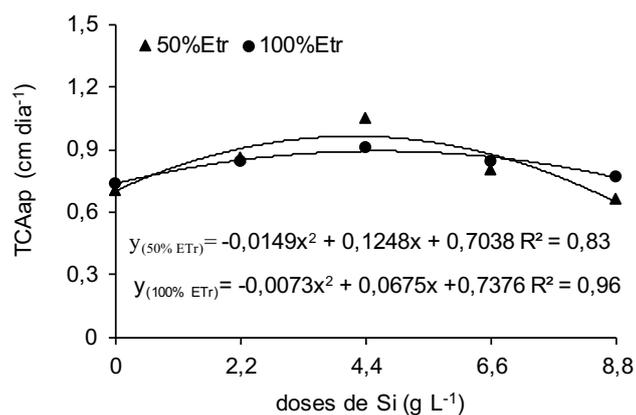


Figura 13. Efeito das doses de silício em função das lâminas de irrigação para a variável taxa de crescimento absoluto de altura – TCAap em plantas de pimentão aos 120 DAT.

Para Farias, (2012), este comportamento pode está associado ao fato de que, o silicato acarreta varias mudanças na arquitetura dessas plantas, como, folhas mais eretas ocasionando melhoria na interceptação da luz solar e aumento da atividade enzimática, com isso um acréscimo no acumulo de fotoassimilados.

5 CONCLUSÕES

O silício atenuou os efeitos do estresse hídrico em plantas de pimentão aos 120 DAT nas variáveis fisiológicas e morfológicas estudadas.

A dose estimada de 4,2 g Si L⁻¹ apresentou os melhores resultados para as variáveis morfofisiológicas de plantas de pimentão aos 120 DAT para as duas lâminas de irrigação estudadas, 100% da ETr e 50% da ETr.

O silício promoveu o crescimento das plantas de pimentão tendo como melhor dose estimada de 4,2 g Si L⁻¹.

6 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. S. **Nutrientes minerais em pimentão fertirrigado sob lâminas de irrigação e doses de potássio**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 30, n. 4, p. 681-687, 2012.
- ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; SOUZA, A. E. R.; ROLIM, M. M. Lixiviação de potássio em um cultivo de pimentão sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 135-144, 2011.
- ANTHONY, E.; SHINGANDHUPE, R. B. Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annuum* L.). **Agricultural Water Management, Amsterdam**, v.65, p.121-132, 2004.
- BARROS JÚNIOR, A. P. **Diferentes compostos orgânicos e plantmax como substratos na produção de mudas de pimenta**. Mossoró: ESAM, 2001.33p. Monografia Graduação. BRAGA, G.N.M. A Importância e o manejo da Adubação Orgânica. Disponível em:, Acesso em: 10 fev. 2018.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BRAGA, F. T.; NUNES, C. F.; FAVERO, A. C.; PASQUAL, M.; DE CARVALHO, J. G.; DE CASTRO, E.M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 128-132, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório: reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTAP/USAID/SUDENE, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15).
- BRAY, E.A. et al. **Responses to abiotic stresses**. In: BUCHANAN, B.B. Biochemistry & molecular biology of plants. Rockville: American Society of plant physiologists, 2000. 1367p.
- CARVALHO, M. P.; JÚNIOR, L. A. Z.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2394-2399, 2009.
- CHAVES, M. M.; DAVIES, B. **Drought effects and water use efficiency: improving crop production in dry environments**. Functional Plant Biology, Collingwood, v. 37, n. 2, p. 3-12, 2010.
- CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. **Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture**. Journal of Experimental Botany, Oxford, v. 55, p. 2365- 2384, 2004.
- COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna, 368 p., 1982.

DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B., FRAKIN, C. I. **Detection of silica in plants.** Amer. J. Bot., v. 70, p.1079-1084. 1983.

DUARTE, E. A. A. et al. Características agronômicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 8, p. 843-847, 2013.

DUQUE, A.S. et al. **Abiotic stress responses in plants: unraveling the complexity of genes and networks to survive.** In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. Abiotic stress - plant responses and applications in agriculture. Croatia, Rijeka: Tech, 2013. p.49-102.

ECHER, M. M.; FERNANDES, M. C. A.; RIBEIRO, R. L. D.; PERACCHI, A. L. Avaliação de genótipos de *Capsicum* para resistência a ácaro branco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.20, p. 217-221, 2002.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Capsicum pimentas e pimentões no Brasil.** Brasília, [2001]. Disponível em: <<http://www.cnpq.embrapa.br/capsicum/especies.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FARIAS, A. T. V. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico – 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, 2012.

FERREIRA, D.F. **Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons.** Ciênc. agrotec.[online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 . Disponible en: ISSN 1413-7054.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 3ªed. Viçosa. UFV, 2008. 421p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa: UFV, p.235-9, 2000.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. **Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 23, n. 1, p. 94- 99, 2005.

GOMIDE, R. L.; MAGALHÃES, P. C.; WAQUIL, J. M.; FERREIRA, W. P. **Avaliação do estresse hídrico em cultivares de milho e sorgo por meio de um gradiente contínuo de irrigação.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 22.,

1998, Recife. Anais... Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária/EmbrapaCNPMS, 1998. 4 p. CD-ROM.

GRACIANO, E. S. A. **Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à deficiência hídrica**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

GUANG-CHENG, S.; YU, Z. Z.; NA, L.; SHUANG-EN. Y.; XENG-GANG, X. **Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial root zone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper**. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v.119, p.11-16, 2008.

GUBERT, D. W.; DELAI, R. M. Efeitos provocados pela aplicação de óxido de ferro, óxido de silício e óxido de magnésio em plantas de milho jovens. **Revista Thêma et Scientia**, v. 1, n. 2, p. 164-171, 2016.

HARTZ, T. K; et al. **Bell paper production in California**. Oakland: University of California. 4 p (Vegetable Production Series. Publication, 7217).

Havlin, J.L., S.L. Tisdale, J.D. Beaton, and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers**. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009 – Tabelas de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil**. Rio de Janeiro, 2011. 351 f.

JESUS, E. G.; FÁTIMA, R. T.; GEURRERO, A. C.; ARAÚJO, J. L.; BRITO, M. E. Growth and gas exchanges of arugula plants under silicon fertilization and water restriction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 22, n. 2, 2018.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

KIRDA, C.; CETIN, M.; DASGAN, Y.; TOPCU, S.; KAMAN, H.; EKICI, B.;DERICI, M. R.; OZGUVEN, A. I. **Yield response of greenhouse growntomato to partial root drying and conventional deficit irrigation**. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.69, p.191–201, 2004.

KORNDORFER, G. H. **Silicato de cálcio e magnésio na Agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 3 P (GPSi-ICIG-UFU. Boletim Técnico, 01).

KRAMER, P. J; BOYER J. S. **Water relations of plants and soils**. Press, San Diego, 495p. 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal. Tradução**: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Ed. Rima, 2006, p. 531.

LEONARDO, M.; BROETTO, F.; BÔAS, R.L.V.; ALMEIDA, R.S.; JOSÉ ABRAMO MARCHESE, J.A. **Produção de frutos de pimentão em diferentes concentrações Salinas Teores**. *Irriga, Botucatu*, v. 12, n. 1, p. 73-77, 2007.

LIMA, M. A.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; PINTO, C. M.; ENÉAS FILHO, J. **Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos.** Revista Ciência Agronômica, v.41, p.654-663, 2010.

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

MAGALHÃES, W. S.; CAMPOS R. T. **Economia agrícola, recursos naturais e meio ambiente.** Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v.28, n.especial, p.417-429, 1997.

MARCUSSI, F. F. N.; GODOY, L. J. G.; VILLAS BOAS, R. L. **Fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do pimentão baseada no acúmulo de N e K na planta.** Irriga, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 41-51, 2004.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação na cultura do pimentão.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012. 20 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 101).

MONTEIRO, M. T. M.; GOMES, V. F, MENDES FILHO, P.F.; GUIMARÃES, F. V. A. Absorção de nutrientes por mudas de pimentão micorrizado cultivado em substrato de pó de coco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n.2, p.95-101, 2009.

NEZAMI, A.; KHAZAEI, H. R.; REZAZADEH, Z. B.; HOSSEINI, A. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. **Journal Desert**, v.12, p.99- 104, 2008.

NOGUEIRA, D. W. **Seleção assistida com uso de marcador molecular para resistência a potyvírus em pimentão.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 47, n. 7, p. 955-963, 2012.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. **Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido à diferentes regimes de irrigação.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PATANÈ, C.; COSENTINO, S. L. **Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate.** Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 97, p.131- 138, 2010.

PEREIRA, J. W. L. **Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. **Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SCALON, S. D. P. Q., MUSSURY, R. M., EUZÉBIO, V. L. M., Kodama, F. M., & Kissmann, C. (2011). **Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de**

mudas de mutambo (Guazuma ulmifolia Lam.). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SHEFFIELD, J. **Little change in global drought over the past 60 years.** *Nature*, London, v. 491, n. 7424, p. 435-438, 2012.

SILVA, E. C. *et al.* Stomatal changes induced by intermittent drought in four umbu tree genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 33-42, Jan./Mar. 2009.

SNYDER, G. H.; MATICHENKOV, V. V.; DATNOFF, L. E. Silicon. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition.** Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. p. 551-568.

SOUZA, L. C.; MELO, N. C.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, V. F. A.; OLIVEIRA NETO, C. F. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício. **Revista Agrarian.** v.8, n.29, p.260-267, Dourados, 2015.

SOUZA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças.** Brasília DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2011.721-736 p.

SOUZA, V.F. **Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças.** Brasília: Embrapa 721-736. (informação tecnológica).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUA, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. (Ed.) **Science of the rice plant: physiology.** Tokyo: Food and Agric. Policy Res. Center, v.2, p.420-433, 1240p, 1996.

TEIXEIRA, E. I. *et al.* **Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change.** *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 206-215, 2013.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; OLIVEIRA, E. P. D.; CORRÊA, C. C. G.; TORRES, F. E. Acúmulo de massa seca na soja em resposta a aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. **Bioscience Journal**, p. 161-170, 2015.

TONIN, F. B. **Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2005.

UPADHYAY, A. Inheritance of drought resistance related traits in two crosses of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Euphytica, Wageningen**, v. 177, n. 1, p. 55- 66, 2011.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agronomic Science Serie B**, v.15, p.1-58, 1975.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperaturedependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v.39, p. 383-388, 2001.

ZHENG, H.G. **Quantitative trait loci for root penetration ability and root thickness in rice**: comparison of genetic backgrounds. *Genome*, v.43, p.53-61, 2000.