

Doses de silício na indução a tolerância ao estresse hídrico em *Moringa oleifera* Lam.

Doses of silicon in the induction of water stress tolerance in *Moringa oleifera* Lam.

Dosis de silício en la inducción de tolerância al estrés hídrico en *Moringa oleifera* Lam.

Recebido: 24/11/2022 | Revisado: 15/12/2022 | Aceitado: 17/12/2022 | Publicado: 21/12/2022

Débora Samara Cruz Rocha Farias de Mello

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8267-4970>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: debisancruz@yahoo.com.br

José Dantas Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0798-6717>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: zedantas@ufcg.edu.br

Renner Luciano de Souza Ferraz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9423-4435>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: ferragroestat@gmail.com

Priscylla Marques de Oliveira Viana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7387-6404>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: priscylla.viana@aluno.uepb.edu.br

Raniery Santiago Cantalice

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7387-6404>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: ranierycantalice@gmail.com

Deibson Teixeira da costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4121-8244>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: deibsondacosta@gmail.com

João Vitor da Silva Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8552-9891>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: vitorpereira.vp644@gmail.com

Guilherme Felix Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5304-6518>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: guilhermefelix038@gmail.com

Deise Maria lima Farias

Universidade Estadual da Paraíba
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5106-2100>
E-mail: deise_farias19@hotmail.com

Resumo

Moringa oleifera é uma planta de usos múltiplos, seja utilizada como alimentação humana (flores, folhas, frutos e sementes) e animal (produção de forragem), tratamento de água para consumo humano, indústria de cosméticos e medicinal, combustível e produção de papel. É considerada uma espécie arbórea exótica que se adaptou às condições edafoclimáticas do semiárido do nordeste brasileiro, embora a ocorrência de déficit hídrico reduza o crescimento, limite o desenvolvimento e comprometa a fisiologia da planta. O silício é um agente mitigador do déficit hídrico. Objetivou-se com o presente estudo, avaliar o efeito das doses de silício na indução à tolerância da *Moringa oleifera* ao estresse hídrico, sobre o crescimento vegetativo. O estudo foi desenvolvido em parceria com o Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual da Paraíba, localizado no município de Lagoa Seca – PB. O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas em esquema fatorial duplo 5x5, sendo cinco lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125% da Evapotranspiração da cultura) e cinco de doses de dióxido de silício (0, 3, 6, 9 e 12 g de dióxido de silício por planta), totalizando 25 tratamentos com quatro repetições, com 100 unidades experimentais as quais eram constituídas de três plantas úteis. Nas parcelas ficaram as lâminas de irrigação e nas sub-parcelas ficaram as de doses de dióxido de silício. As lâminas de irrigação exerceram influência significativa em todas as variáveis de crescimento estudadas.

Palavras-chave: Moringaceae; Estresse abiótico; Elicitor; Déficit hídrico; Atenuante.

Abstract

Moringa oleifera Lam. It is a multiple uses plant, whether used as human food (flowers, leaves, fruits and seeds) and animal (forage production), water treatment for human consumption, cosmetics and medicine industry, fuel, paper production. It is considered an exotic tree species that has adapted to the edaphoclimatic conditions of the semiarid region of the Brazilian Northeast, although the occurrence of water deficit reduces growth, limits development and compromises the physiology of the plant. Silicon is a water deficit mitigating agent. The objective of the present study was to evaluate the effect of silicon doses in inducing the tolerance of *Moringa oleifera* to water stress, on vegetative growth. The study was developed in partnership with the Center for Agricultural and Environmental Sciences of the State University of Paraíba, located in the municipality of Lagoa Seca - PB. The experiment was set up in a randomized block design, in split plots in a 5x5 double factorial scheme, with five irrigation depths (25, 50, 75, 100 and 125% of ETc) and five silicon doses (0, 3, 6, 9 and 12 g of silicon dioxide per plant), totaling 25 treatments with four replications, with 100 experimental units which consisted of three useful plants. In the plots were the irrigation depths and in the sub-plots were the silicon doses. Irrigation depths exerted a significant influence on all growth variables studied.

Keywords: Moringaceae; Abiotic stress; Elicitor; Water deficit; Mitigating.

Resumen

Moringa oleifera Lam. Es una planta múltiples usos, ya sea utilizada como alimento humano (flores, hojas, frutos y semillas) y animal (producción de forraje), tratamiento de aguas para consumo humano, industria de cosméticos y medicamentos, combustible, producción de papel. Se considera una especie arbórea exótica que se ha adaptado a las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida del Nordeste brasileño, aunque la ocurrencia de déficit hídrico reduce el crecimiento, limita el desarrollo y compromete la fisiología de la planta. El silicio es un agente mitigador del déficit hídrico. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de las dosis de silicio en la inducción de la tolerancia de *Moringa oleifera* al estrés hídrico, sobre el crecimiento vegetativo. El estudio fue desarrollado en colaboración con el Centro de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad Estadual de Paraíba, ubicada en el municipio de Lagoa Seca - PB. El experimento se planteó en un diseño de bloques al azar, en parcelas divididas en un esquema doble factorial 5x5, con cinco profundidades de riego (25, 50, 75, 100 y 125% de ETc) y cinco dosis de silicio (0, 3, 6, 9 y 12 g de dióxido de silicio por planta), totalizando 25 tratamientos con cuatro repeticiones, con 100 unidades experimentales que consistieron en tres plantas útiles. En las parcelas fueron las profundidades de riego y en las subparcelas las dosis de silicio. Las profundidades de riego ejercieron una influencia significativa en todas las variables de crecimiento estudiadas.

Palabras clave: Moringaceae; Estrés abiótico; Elicitor; Déficit hídrico; Atenuante.

1. Introdução

A irrigação de culturas agrícolas é uma prática utilizada para complementar à disponibilidade da água provida naturalmente pela chuva, proporcionando ao solo teor de umidade suficiente para suprir as necessidades hídricas das culturas, favorecendo a obtenção de aumentos de produtividade e contribuindo para reduzir a expansão de plantios em áreas com cobertura vegetal natural (EMBRAPA, 2016).

Uma das mais comuns e prevalentes limitações abióticas observadas no semiárido brasileiro é o déficit hídrico. Os efeitos desse fenômeno nas espécies encontradas nesta região trazem diversos problemas ao manejo e cultivo das mesmas, em qualquer fase do seu desenvolvimento, principalmente ao levar em consideração a intensidade e duração do estresse (Costa et al., 2008; Pereira, 2012). O crescimento e o potencial de produção da cultura são afetados pela baixa disponibilidade de água no solo, pois a maioria é sensível ao déficit hídrico (Ali & Talukde, 2008; Scalon et al., 2011).

Ao longo do tempo várias culturas exóticas ao bioma caatinga como a algaroba [(*Prosopis juliflora* (Sw.) DC)], a palma forrageira orelha de elefante mexicana [*Opuntia dillenii* (Ker Gawl.) Haw.] e a moringa (*Moringa oleifera*) entre outras, foram introduzidas com o intuito de aumentar a produtividade forrageira mesmo em condições de estresse hídrico. Nesse sentido, Costa et al. (2024) afirmam que uma alternativa para aumentar a produção de alimentos e reduzir os impactos da agricultura no semiárido é o cultivo de plantas que tenham potencial para múltiplas possibilidades de uso e que apresentem plasticidade genotípica e fenotípica para adaptação a diferentes ambientes de cultivo.

Moringa oleifera é uma espécie nativa da Índia e Paquistão, pertencente à família Moringaceae, (Domenico et al., 2019), tem se destacado como planta de potencial para alimentação humana e animal, medicinal, industrial, ambiental e social,

pois é uma fonte abundante de aminoácidos essenciais, macronutrientes e micronutrientes, com elevado teor de óleo nas sementes. (Garcia et al., 2019; Karthickeyan, 2019). Possui crescimento rápido, sendo capaz de sobreviver em solos distróficos, demandando o mínimo de tratamentos culturais, e em longos períodos de seca, como é o caso do semiárido brasileiro (Oyeyinka & Oyeyinka, 2018), sobrevivem em solos quimicamente pobres, além de ser considerada como tolerante ao estresse hídrico e salino (Santiago e Bezerra Neto, 2017; Silva et al., 2017).

O nordeste do Brasil apresenta excelentes condições para o cultivo da moringa, sendo essa a região que tem o maior cultivo e utilização dessa planta (Lima et al., 2020)

Devido às condições edafoclimáticas da região semiárida apresenta dificuldade na oferta de alimento e de água potável. Portanto, é interessante estudos de espécies que sejam resistentes às condições de restrição hídrica e que apresentem diversos usos. Com esse aspecto, a moringa (*Moringa oleifera*) destaca-se por ser uma espécie exótica, mas que possui potencial para plantio no semiárido brasileiro. (Vasconcelos, 2013).

Dentre os diversos estresses abióticos (Ge et al., 2019; Kuczynska et al., 2019; Singh et al., 2019; Yao et al., 2019), o déficit hídrico ativa o mecanismo antioxidante de *M. oleifera* (Azam et al., 2020), reduzindo o tamanho dos estômatos, teor de pigmentos cloroplásticos, das trocas gasosas foliares e do crescimento da raiz e da parte aérea (Vasconcelos et al., 2019; Galgaye et al., 2020; Boumenjel et al., 2021). Mudanças morfológicas e fisiológicas também são observadas, tais como reduções na expansão celular e, na área foliar, podendo promover fechamento estomático e aumento da abscisão foliar, o que reflete em menor taxa de assimilação de CO₂ e acúmulo de fitomassa (Salemi et al., 2019; Vasconcelos et al., 2019).

Mesmo as plantas resistentes ao estresse hídrico, em algum momento, podem não conseguir absorver a quantidade de água necessária para realizar suas funções biológicas, sendo necessário o uso de atenuantes.

Nesse sentido, dentre os manejos agronômicos realizados para atenuar estresse utiliza-se o silício como amenizador dos efeitos deletérios desse fator abiótico. O silício modula o metabolismo das plantas e altera as atividades fisiológicas, particularmente em plantas sujeitas a condições de estresse. Essa ação bioquímica evita que plantas sofram estresse hídrico (Veloso, 2022).

São incipientes os estudos do uso do silício em *M. oleifera* irrigada, motivo pelo qual se propôs essa pesquisa, visando avaliar o efeito das doses de silício na indução à tolerância da referida espécie ao estresse hídrico, em relação ao crescimento vegetativo.

2. Metodologia

O experimento foi desenvolvido no período de junho de 2019 a novembro de 2020 em parceria com o Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado no município de Lagoa Seca – PB, nas coordenadas de Latitude 7° 09' S, Longitude 35° 52' W e altitude de 634 m (Soares et al., 2017).

Segundo Köppen e Geiger o clima da região é classificado como As (Clima tropical úmido), com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1.800 mm. Com temperatura média de 22,0 °C e pluviosidade média anual de 888 mm sendo a mínima de 18 e máxima de 33 °C, precipitação pluviométrica de 800 mm e umidade relativa do ar de 80% (Silva et al., 2019).

Na área experimental foi realizado tratagens e abertura de trincheiras, para posterior coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60; para determinação das características, físicas, químicas e hídricas do solo. Fisicamente, o solo da área foi caracterizado quanto à granulometria; classificação textural; densidade do solo; densidade das partículas; porosidade e umidade do solo com base em % do solo. Todas as análises seguiram a metodologia proposta pela EMBRAPA

(2013). As análises químicas e físicas foram determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais-CTRN da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.

Para preparação das mudas foram preenchidos 1.200 sacos de polietileno com dimensões de 30 cm de altura por 15 de diâmetro com substrato composto de areia lavada e esterco bovino nas proporções de 3:1. O material de solo após ser acondicionado nos sacos de polietileno foi irrigado manualmente deixando o solo com tensão de umidade equivalente a capacidade de campo. Dois dias após a irrigação, colocou-se três sementes *Moringa oleífera Lamarck*, em cada saco de polietileno a uma profundidade de dois cm, obtidas de um produtor rural do município de Catolé do Rocha, tratadas com hipoclorito seguindo determinação de Sousa et al., (2007).

Para análise do efeito dos tratamentos sobre o crescimento da moringa foram mensurados aos 37, 62, 97, 136 dias após a aplicação do SiO₂. O número de folhas (NF) (unidade) foi obtido pela contagem de folhas totalmente expandidas e completas Também foram medidos comprimento e largura das folhas (mm). A altura da copa (AC) (cm) foi medida tomando-se como referência a distância da superfície do solo até o meristema apical da planta. O diâmetro do caule (DC) (mm) e da ramificação principal (DRP) (mm), foram medidos a 2 cm do colo da planta com o auxílio de um paquímetro digital.

Os tratamentos consistiram de cinco lâminas de irrigação (L1=25; L2=50; L2=75; L4=100% e L5= 125 % de reposição da evapotranspiração da cultura – ETc e cinco níveis de adubação silicatada (N1=0; N2=3; N3=6 ; N4=9 e N5=12 g de dióxido de silício aplicado por cova. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) num esquema fatorial (5x5) x 4 constituindo 100 parcelas experimentais. O primeiro fator são cinco lâminas de irrigação e o segundo 5 níveis de adubação silicatada.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Em seguida foi realizada análise de variância aos níveis de 0,05 e 0,01 de probabilidade e, quando significativo, foi realizada análise de regressão linear e quadrática, utilizando-se o software SISVAR (Ferreira, 2019).

Em caso de significância na interação entre os fatores, o software TableCurve 3D foi usado para obter superfícies de resposta.

3. Resultados e Discussão

Observa-se na Tabela 1, efeito significativo do fator lâmina de irrigação sobre a variável número de folhas da moringa. As dosagens na adubação com silício e a interação entre os fatores (LI x DS) não tiveram efeito significativo sobre nenhuma das variáveis estudadas.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância referente aos números de folhas NF1, NF2, NF3 e NF4

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		NF1	NF2	NF3	NF4
Lâminas de irrigação (LI)	4	1120,81**	711,55**	403,76 ^{ns}	365,51 ^{ns}
Regressão linear	1	2905,72**	1364,01**	722,11 ^{ns}	22,44 ^{ns}
Regressão quadrática	1	959,2 ^{ns}	243,80 ^{ns}	636,01 ^{ns}	176,27 ^{ns}
Dióxido de silício (CS)	4	198,96 ^{ns}	109,51 ^{ns}	397,26 ^{ns}	456,04 ^{ns}
Regressão linear	1	2,64 ^{ns}	74,42 ^{ns}	380,88 ^{ns}	255,02 ^{ns}
Regressão quadrática	1	42,43 ^{ns}	202,3 ^{ns}	921,65 ^{ns}	3,08 ^{ns}
Interação (LI x DS)	16	296,25 ^{ns}	276,64 ^{ns}	235,95 ^{ns}	415,62 ^{ns}
Blocos	3	13,08 ^{ns}	24,38 ^{ns}	481,08 ^{ns}	354,99 ^{ns}
Resíduo	71	239,58	210,15	239,61	255,41
CV (%)		21,5	22,9	26,2	26,8

ns, *, ** respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$. GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Conforme indicado na Tabela 1, a lâmina de irrigação exerceu efeito significativo sobre o número de folhas. Estes resultados diferem dos encontrados por Lourenço (2016) em que não houve diferença significativa nos tratamentos para a variável analisada, número de folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Fehr et al. (2012), que em aplicações de silício via solo em variedades de bananeira, notou que o número de folhas não foi influenciado durante o ciclo produtivo. Braga et al., (2009) trabalhando com plantas de morango micro propagadas em diferentes fontes de silício também não encontraram diferenças significativas no número de folhas por planta.

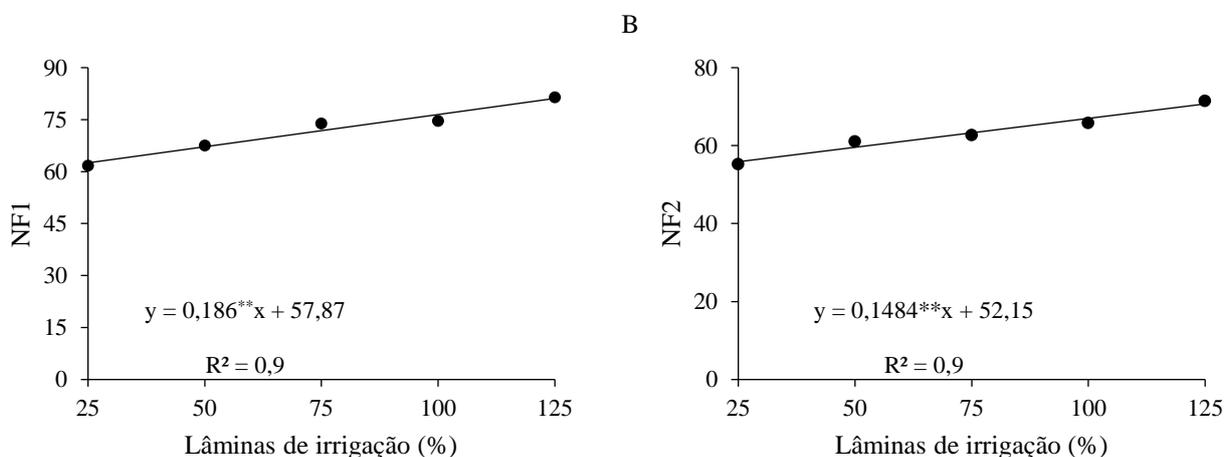
A variável lâminas de irrigação foi significativa para a primeira e segunda avaliação e regressão quadrática. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2007), no cultivo in vitro, de gérberas simulando condições salinas e utilizando diferentes fontes de silício, este encontrou valores significativos ao número de folhas sendo que o aumento das doses propiciou maior número de folhas. Este aumento do número de folhas foi explicado por indução de resistência proporcionado pelo silício ao fator abiótico salinidade que limitava o desenvolvimento de gérberas.

Com o aumento da lâmina de irrigação os valores de NF (Figura 1A) foram de 61,7; 67,5; 73,9; 74,6; 81,4 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente na primeira avaliação com o valor máximo de 81,1 lâmina de 125% e valor mínimo de 62,5 lâmina de 25%, o que difere de Moline et al. (2015) que aplicaram lâminas de irrigação variando de 50 a 110% de Etc na rúcula cultivada em Vilhena-RO e encontraram maiores valores do número de folhas comercialmente viáveis no tratamento com lâmina de irrigação com 100% de substituição de ETC.

Com o aumento da lâmina de irrigação na segunda avaliação os valores de NF (Figura 1B) foram de 55,3; 61,1; 62,7; 65,8; 71,5 nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente na segunda avaliação com o valor máximo de 70,7 de 125% e valor mínimo de 55,9 lâmina de 25%. A variável número de folhas teve seu aumento proporcional ao aumento da lâmina. É possível que a moringa tenha mecanismos mais eficientes para aproveitar o excesso de água. No entanto, também pode ser considerado uma causa e não um efeito, uma vez que o maior número de plantas neste tratamento resultou em maior taxa de retirada de água.

Quanto a variável número de folhas, na primeira avaliação o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,96 e na segunda avaliação o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,96 (Figura 1B), o que significa correlação muito forte. A análise de regressão apontou tendência linear positiva para número de folhas em função das lâminas de irrigação (Tabela 1). Segundo o modelo proposto, 96% da variação do número de folhas em função da lâmina de irrigação podem ser explicadas pela equação $y = 0,186 **X + 57,87$. Para 96% da variação do número de folhas pode ser explicada pela equação $y=0,1484**X + 52,15$.

Figura 1 - Número de folhas na avaliação 1 e 2.



Fonte: Autores.

A análise de variância referente aos diâmetros de caule em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício foi significativa para lâminas de irrigação (Tabela 2). Para as plantas do algodoeiro a regressão polinomial que melhor se ajustou aos dados foi o modelo quadrático descrito pela equação $Y = 4E - 7x^2 - 0,0004 + 0,3383$ com coeficiente de determinação (R^2) de 0,98. O diâmetro caulinar apresentou seu maior médio (0,34 mm) com a dosagem de silício correspondente a 0,0 Kg ha⁻¹, apresentando uma redução no valor médio nas dosagens de 200 e 400 Kg ha⁻¹. A partir da dosagem de 600 Kg ha⁻¹ ocorreu acréscimo no valor médio do diâmetro caulinar atingindo o máximo na dosagem de 800 Kg ha⁻¹ com o valor de 0,345 (Leite et al., 2011). Esses resultados corroboram com os encontrados por Prado e Natale (2004) e Neri et al., (2009), constatando aumento do diâmetro do caule das plantas de maracujá e de milho, respectivamente, quando adubadas com silício.

Os testes com dióxido de silício não foram significativos para todas as variáveis (Tabela 2). Oliveira et al. (2020) também tiveram resultados semelhantes com o presente estudo, onde plantas do tomateiro não apresentaram efeito significativo sob adubações com silício, seja via solo ou foliar para as variáveis: número de folhas, diâmetro do caule, altura de planta e número total de frutos de mini tomates, nos diferentes períodos de avaliações.

Quanto a variável diâmetro do caule, na primeira avaliação (Figura 2A) o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,97 e na segunda avaliação o coeficiente foi de 0,96 (Figura 2B), ambos com uma alta correlação. Todas as equações de regressão apresentaram ótimos ajustes aos dados analisados, com coeficientes de determinação muito altos (>0,80).

Na primeira avaliação para as lâminas de irrigação 25%, 50%, 75%, 100% e 125% os valores de diâmetro do caule foram 33,38; 34,96; 35,33; 36,7; 38,43 cm, respectivamente (Figura 2A). Com o incremento da lâmina de irrigação os valores de diâmetro do caule na segunda avaliação (Figura 2B) foram de 35,7; 37,56; 38,42; 39,04; 41,18 cm nas lâminas de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% respectivamente. O menor valor encontrado para DC foi de 21, 8 cm na primeira avaliação para lâmina de 100%, já para o maior valor foi na lâmina de 50% com o 54,9 cm na quarta avaliação. A maior média encontrada foi na lâmina de 125%, o valor de 45,32 cm.

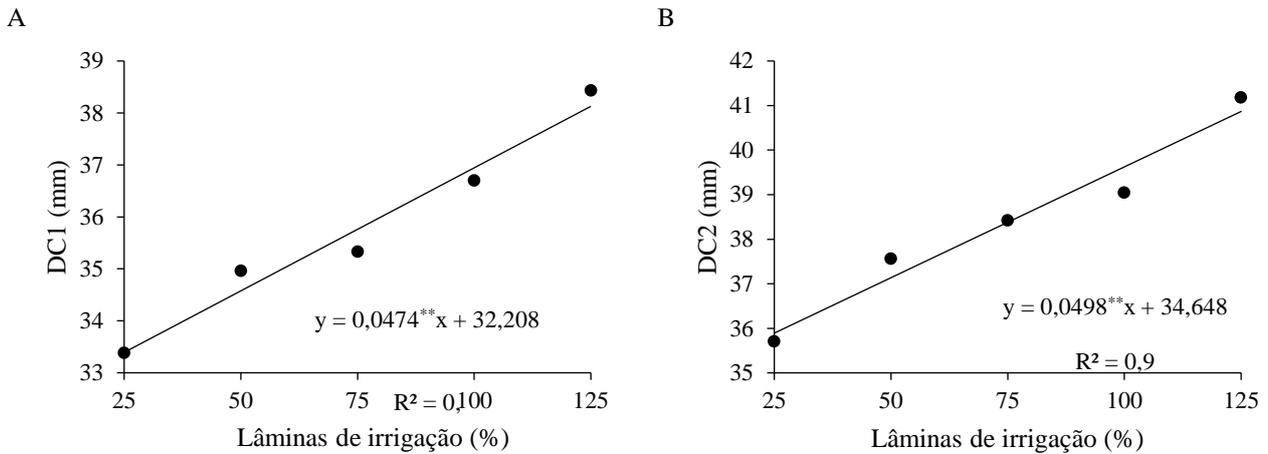
Conforme resultados estatísticos (Tabela 2), verifica-se que a lâmina de irrigação afetou significativamente todas as variáveis, constata-se ainda que o fator doses de silício, assim como a interação entre os fatores (LI x DS) promoveu efeito significativo apenas na terceira e quarta avaliação. Corroborando com Dantas Junior et al. (2011) o diâmetro caulinar das plantas foi influenciado pela lâmina de irrigação de maneira significativa, em nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância referente aos diâmetros de caule DC1, DC2, DC3 e DC4

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		DC1	DC2	DC3	DC4
Lâminas de irrigação (LI)	4	69,41*	84,35**	98,09**	88,03**
Regressão linear	1	158,25**	206,23**	223,03**	188,92**
Regressão quadrática	1	12,98 ^{ns}	76,75 ^{ns}	98,14*	90,31 ^{ns}
Dióxido de silício (CS)	4	6,35 ^{ns}	4,36 ^{ns}	8,85 ^{ns}	13,86 ^{ns}
Regressão linear	1	0,39 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,53 ^{ns}	4,77 ^{ns}
Regressão quadrática	1	24,78 ^{ns}	15,84 ^{ns}	28,23 ^{ns}	39,75 ^{ns}
Interação (LI x DS)	16	22,17 ^{ns}	25,66 ^{ns}	35,79*	39,99*
Blocos	3	3,83 ^{ns}	11,28 ^{ns}	18,37 ^{ns}	18,11 ^{ns}
Resíduo	71	19,62	21,69	19,11	22,18
CV (%)		12,5	12,3	10,9	11,2

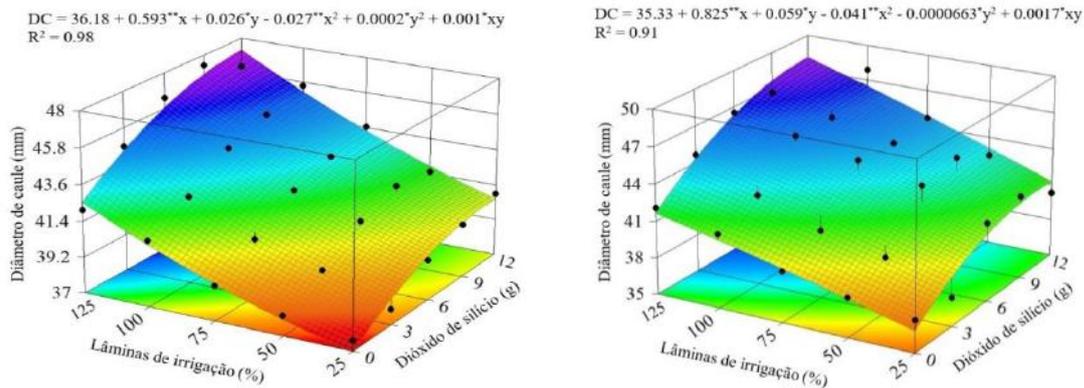
ns, *, ** respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$. GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Figura 2 - Diâmetro de caule das avaliações 1 e 2.



Fonte: Autores.

Figura 3 - A interação ocorre entre os fatores lâmina e dióxido de silício.



Fonte: Autores.

Houve interação entre os fatores lâminas de irrigação e dióxido de silício na terceira e quarta avaliações (Figura 3). Analisando só a variável dióxido de silício observou-se que não houve influência significativa para todas as avaliações. Resultados semelhantes foram encontrados por Dantas Junior et al. (2011) em que os efeitos das doses de silício não refletiram em diferenças significativas do diâmetro do caule. O que também foi verificado por Chaves e Vasconcelos (2006) que, avaliando o efeito do xisto retortado (57% em peso de SiO_2) na cultura do milho, não observaram efeitos significativos sobre o diâmetro do caule. Entretanto, Neri et al. (2009), constataram aumento do diâmetro do caule das plantas de milho, quando adubadas com silício e Medeiros et al. (2008), mostraram decréscimo no diâmetro caulinar de cana-de-açúcar quando adubada com doses crescentes de silício.

A regressão linear e quadrática não foram significativas para todas as variáveis. Interação entre as lâminas de irrigação e dióxido de silício não interferiram sobre as variáveis analisadas. A análise de variância referente aos números de ramificações (Tabela 3) em função das lâminas de irrigação e das concentrações de dióxido de silício foi afetada significativamente pelas lâminas de irrigação na segunda e terceira avaliação.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância referente aos números de ramificações NR1, NR2, NR3 e NR4

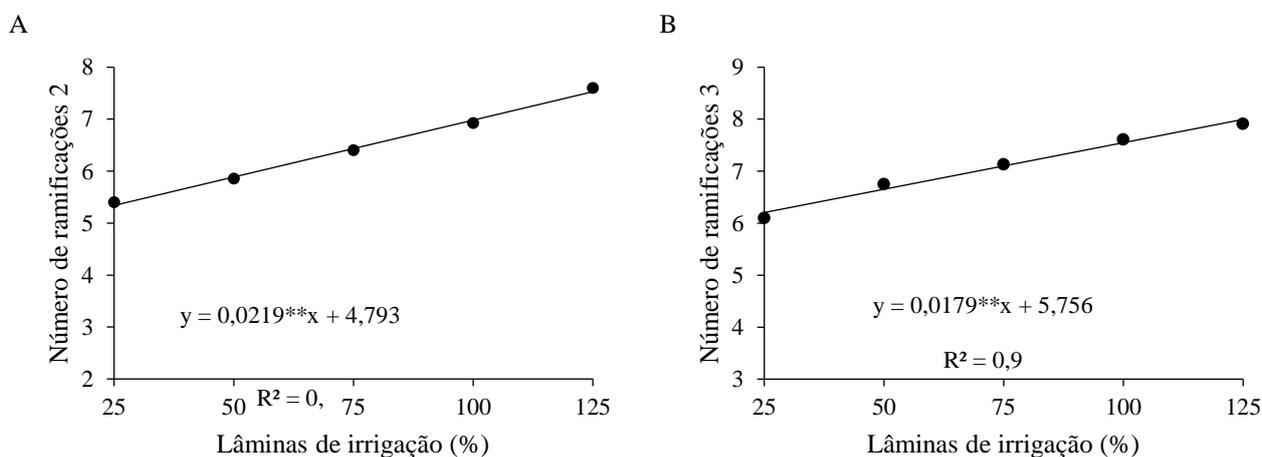
Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		NR1	NR2	NR3	NR4
Lâminas de irrigação (LI)	4	4,26 ^{ns}	11,28 ^{**}	10,45 [*]	6,18 ^{ns}
Regressão linear	1	8,00 ^{ns}	35,71 ^{**}	23,42 ^{**}	0,84 ^{ns}
Regressão quadrática	1	4,13 ^{ns}	8,82 ^{ns}	6,85 ^{ns}	0,78 ^{ns}
Dióxido de silício (CS)	4	1,77 ^{ns}	0,55 ^{ns}	2,42 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Regressão linear	1	0,08 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Regressão quadrática	1	4,63 ^{ns}	0,01 ^{ns}	4,62 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Interação (LI × DS)	16	2,24 ^{ns}	2,67 ^{ns}	3,19 ^{ns}	2,91 ^{ns}
Blocos	3	3,24 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Resíduo	71	2,02	2,59	3,31	3,05
CV (%)		26,4	24,8	25,5	25,9

ns, *, ** respectivamente não significativo, significativo a $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$. GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Quanto a variável número de ramificações, na segunda avaliação o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,99 e na terceira foi de 0,98, refletindo uma correlação fortemente positiva e proporcionando o desenvolvimento de uma equação confiável (Figura 4B).

De acordo com a equação de regressão, o modelo que melhor se ajustou para o NR foi o linear, a análise de regressão apontou tendência linear positiva para número de ramificações em função das lâminas de irrigação (Tabela 4). Segundo o modelo proposto, 99% da variação do número de ramificações em função da lâmina de irrigação pode ser explicada pela equação $y = 0,0219 **X + 4,793$. Para 98% da variação do número de folhas pode ser explicada pela equação $y = 0,0179 **X + 5,756$.

Figura 4 - Número de ramificações das avaliações 2 e 3.



Fonte: Autores.

4. Conclusão

A lâmina de irrigação que proporcionou as maiores médias de crescimento foi à lâmina de 125%. A dose de silício que melhor contribuiu para o cultivo da moringa foi a de 6g de SiO_2 .

Agradecimentos

A capes pela concessão da bolsa ao primeiro autor.

Referências

- Ali, M. H. & Talukder, M.S.U. (2008). Increasing water productivity in crop production—a synthesis. *Agricultural water management*, 95(11), 1201-1213. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008>
- Azam, A. Nouman, W. Rehman, U. Ahmed, U. Gull, T. & Shaheen, M. (2020). Adaptability of *Moringa oleifera* Lam. under different water holding capacities. *South African Journal of Botany*, 129, 299-303. 10.1016/j.sajb.2019.08.020
- Boumenjel, A. Papadopoulos, A. & Ammari, Y. (2021). Growth response of *Moringa oleifera* (Lam) to water stress and to arid bio-climatic conditions. *Agroforestry Systems*, 95, 823- 833. 10.1007/s10457-020-00509-2
- Costa, P. S. Ferraz, R. L. S. Dantas Neto, J. Martins, V. D. Viégas, P. R. A. Meira, K. S. Ndhlala, A. R. Azevedo, C. A. V. & Melo, A. S. (2024) Seed priming with light quality and *Cyperus rotundus* L. extract modulate the germination and initial growth of *Moringa oleifera* Lam. seedlings. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e255836. 10.1590/1519-6984.255836
- Domenico, M. Lina, C. & Francesca, B. (2019). Sustainable crops for food security: *Moringa* (*Moringa oleifera* Lam.). *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 1,409-415. 10.1016/B978-0-08-100596-5.22574-2
- EMBRAPA. (2016). Brasil está entre os países com maior área irrigada do mundo <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/12990229/brasil-esta-entre-os-paises-com-maior-area-irrigada-do-mundo> Acesso em 15/06/2022.
- Ferreira, D. F. (2019). SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, 37(4), 529-535.
- Galgaye, G. G. Beshir, H. M. & Roro, A. G. (2020) Physiological responses of *Moringa* (*Moringa stenopetala* L.) seedlings to drought stress under greenhouse conditions, Southern Ethiopia. *Asian Journal of Biotechnology*, 12, 97-107. 10.3923/ajbkr.2020.97.107
- Garcia, T. B. Soares, A. A. Costa, J. H. Costa, H. P. S. Neto, J. X. S. Rocha-Bezerra, L. C. B. Silva, F. D. A. Arantes, M. R. Sousa, D. O. B. Vasconcelos, I. M. & Oliveira, J. T. A. (2019). Gene expression and spatiotemporal localization of antifungal chitin-binding proteins during *Moringa oleifera* seed development and germination. *Planta*, 249, 1503-1519. 10.1007/s00425-019-03103-8
- Ge, Y. Hawkesford, M. J. Rosolem, C. A. Mooney, S. J. Ashton, R. W. Evans, J. & Whalley, W. R. (2019). Multiple abiotic stress, nitrate availability and the growth of wheat. *Soil and Tillage Research*, 191, 171-184. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.005>
- Karthickeyan, V. (2019). Effect of cetane enhancer on *Moringa oleifera* biodiesel in a thermal coated direct injection diesel engine. *Fuel*, 235, 538-550. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.030>
- Kuczynska, A. Cardenia, V. Ogradowicz, P. Kempa, M.; Rodriguez-Estrada, M. T. & Mikolajczak, K. (2019). Effects of multiple abiotic stresses on lipids and sterols profile in barley leaves (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 215-224. 10.1016/j.plaphy.2019.05.033
- Lima, C. A. D. Montenegro, A. A.D. A., DE Lima, J. L., Almeida, T. A. B., & Santos, J. C. N. D. (2020). Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25, 531-542. 10.1590/S1413-41522020193900
- Moline, E. F. V. Barboza, E. Strazeio, S. C. & Blind, A. D (2015). Diferentes lâminas de irrigação na cultura da rúcula no sul de Rondônia. *Nucleus*, 12(1): 371-378. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1082>
- Neri, D. K. P. Gomes, F. B. Moraes, J. C. Góes, G. B. & Marrocos, S. de T. P. (2009). Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, 39(6), 1633-1638. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000111>
- Oyeyinka, A. T., & Oyeyinka, S. A. (2018). *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17,127-136. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.002>.
- Prado, R. M. & Natale, W. (2004). Aplicação do silicato de cálcio em ArgissoloVermelho no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 26, n. 4, p. 387-393. 10.4025/actasciagron.v26i4.1714
- Pereira, J. W. L. Melo Filho, P. A. Albuquerque, M .B. Nogueira, R. J. M. C. & Santos, R C. (2012). Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. *Revista Ciência Agronômica*, 43(4),766-773. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000400019>
- Salemi, F. Esfahani, M. N. & Tran, L. S. P. (2019). Mechanistic insights into enhanced tolerance of early growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under low water potential by seed-priming with ascorbic acid or polyethylene glycol solution. *Industrial Crops and Products*, 137, 436-445. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.049>
- Santiago, M. T. B. & Bezerra Neto, E. (2017). Ecophysiology of *Moringa oleifera* Lam in function of different rainfall conditions. *Revista Geama*, 3(4), 236-241.
- Scalon, S. 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*, 21(4), 655-662. <https://doi.org/10.5902/198050984510>
- Silva, E. C. A. Lucena, P. G. C. Nascimento, R. M. Santos, C.A. Araújo, R.P.S. & Nogueira, R. J. M. C. (2017). Mecanismos bioquímicos em *Moringa oleifera* Lam. para tolerância à salinidade. *Acta Iguazu*, 6(4), 54-71. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i4.16969>

Silva, A. E. Ferraz, R. L. de S. Silva, J. P. da Costa, P. da S. Viegas, P. R. A. Brito Neto, J. F. de Melo, A. S. de Meira, K. S. Soares, C. S. Magalhães, I. D. & Medeiros, A. de S. (2019). Microclimate changes, photomorphogenesis, and water consumption by *Moringa oleifera* cuttings under light spectrum variations and exogenous phytohormones concentrations. *Australian Journal Of Crop Science*. 10.21475/ajcs.20.14.05.p2096

Singh, A. Kumar, A. Yadav, S. & Singh, I. K. (2019). Reactive oxygen species-mediated signaling during abiotic stress. *Plant Gene*, v. 18, p. e100173. 10.1111/j.1399-3054.2009.01321.x

Soares, C. S. Silva, J. A. & Silva, G. N. Produção de coentro em diferentes espaçamentos dos canais hidropônicos. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana, Recife*, v.22, p.1-5, 2017. <https://doi.org/10.12661/pap.2017.001>

Vasconcelos, M.C; (2013). *Moringa oleifera Lam.: Aspectos Morfométricos, Fisiológicos e Cultivo em Gradiente de espaçamento*.

Vasconcelos, I. M. & Oliveira, J. T. A. (2019). Gene expression and spatiotemporal localization of antifungal chitin binding proteins during *Moringa oleifera* seed development and germination. *Planta*, 249, 1503-1519. 10.1007/s00425-019-03103-8.

Yao, W. Zhou, B. Zhang, X. Zhao, K. Cheng, Z. & Jiang, T. (2019). Transcriptome analysis of transcription factor genes under multiple abiotic stresses in *Populus simonii* × *P.nigra*. *Gene*, 707,189-197. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2019.04.071>