

PRODUTIVIDADE DO MELÃO RENDILHADO FERTIRRIGADO COM SILÍCIO

FERNANDO ANDRÉ SILVA SANTOS¹; ROBERTO REZENDE²; GUSTAVO SOARES WENNECK³; DANILÓ CÉSAR SANTI³; RENI SAATH² E DANIELE DE SOUZA TERASSI³

¹Professor do departamento de Agronomia, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Av. Santos Dumont, s/n, Cidade Universitária, CEP: 78.200-000, Cáceres, Mato Grosso, Brasil. E-mail: ferman.agr@hotmail.com

²Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Av. Colombo, 5790, Zona 7, CEP:87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: rrezende@uem.br; rsaath@uem.br

³Discente do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Av. Colombo, 5790, Zona 7, CEP:87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail:gustavowenneck@gmail.com; danilosantiagro@gmail.com; daniele_terassi@hotmail.com

1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade e acúmulo de biomassa na cultura do melão rendilhado, cultivado em ambiente protegido sob diferentes condições hídricas e doses de silício (Si). O experimento foi conduzido em blocos casualizados, esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de Si (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e duas condições de reposição hídrica (40 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc)), com quatro repetições. A fertilização com Si foi realizada após início da formação dos frutos. Foram avaliados a produção por planta, teor de sólidos solúveis totais dos frutos, massa seca foliar, caulinar e radicular, e determinado a razão de produção em função da massa seca da parte aérea. Adotou-se análise estatística de trilha para indicar o efeito de cada variável sobre a produção. A aplicação de Si reduziu linearmente a produção por planta na condição de 100% da ETc. Na irrigação deficitária a produção foi descrita em modelo quadrático. As doses de Si afetaram significativamente a partição de assimilados entre frutos. Na parte aérea, ocorreu influência das doses do elemento sob irrigação deficitária. Com base na análise de trilha, a massa seca foliar e caulinar são diretamente relacionadas à produção, independentemente da disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: ambiente protegido, *Cucumis melo*, elemento benéfico, microirrigação.

SANTOS, F. A. S.; REZENDE, R.; WENNECK, G. S.; SANTI, D. C.; SAATH, R.; TERASSI, D. S.

PRODUCTIVITY OF MUSKMELON FERTIRRIGATED WITH SILICON

2 ABSTRACT

This work aimed to evaluate the productivity and accumulation of biomass in the culture of muskmelon grown in a greenhouse under different water conditions and doses of silicon (Si). The experiment was conducted in a randomized block, a 5x2 factorial scheme, with five doses of Si (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) and two water replacement conditions (40 and 100% of the crop evapotranspiration (ETc)), with four replications. Fertilization with Si was performed after the beginning of fruit formation. The production per plant, total soluble solids content of

the fruits, dry leaf, stem and root mass was evaluated, and the production ratio as a function of the dry mass of the aerial part was determined. Path analysis statistics were adopted to indicate the effect of each variable regarding growth on production. The application of Si linearly reduced production per plant in the condition of 100% of ETc, while in deficient irrigation the production described in a quadratic model. The doses of Si significantly affected the partition of assimilates between fruits. Regarding the aerial part, there was an influence of the doses of the element under deficient irrigation. Based on the path analysis, the dry leaf and stem mass are directly related to production, regardless of water availability.

Keywords: greenhouse, *Cucumis melo*, benefic element, micro-irrigation.

3 INTRODUÇÃO

A produção de melão no Brasil apresenta importante impacto econômico e social, com destaque entre produtores mundiais. No cultivo, a disponibilidade de água é fator limitante para produção (MELO et al., 2020), sendo necessário o desenvolvimento de técnicas e manejo adequado desse recurso para a garantia de uma produção eficiente e sustentável (BARBOSA et al., 2020).

O silício, na fertirrigação, pode ser adotado como estratégia para contribuir na otimização deste recurso, sendo um elemento capaz de favorecer o desenvolvimento e promover redução dos estresses abióticos, como o estresse hídrico, além de desempenhar importantes funções no metabolismo vegetal (TAYYAB; ISLAM; ZHANG, 2018; LUDWIG; BEHLING; SCHIMITZ, 2015; MENEGALE; CASTRO; MANCUSO, 2015; TEODORO et al., 2015). Aliada ao cultivo protegido, a adoção de estratégias para utilização da água e nutrientes permite aumentar a eficiência sem perdas expressivas na produção e qualidade (HERNANDEZ-SANTANA et al., 2017).

Apesar de seu principal benefício ser o aumento da eficiência de utilização da água, a irrigação deficitária constante pode interferir negativamente no crescimento e produção das culturas, sendo prudente prevenir estes efeitos deletérios com manejos consorciados de água e nutrientes

(MENEGALE; CASTRO; MANCUSO, 2015; HACHMANN et al., 2019; LOZANO et al., 2018). Em relação ao silício há algumas lacunas em sua utilização no cultivo de hortaliças (fruto) referente à sua quantificação adequada em função do grau de deficiência hídrica da planta, com base nos valores obtidos da evapotranspiração da cultura.

O estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de silício, via fertirrigação, na produção do melão rendilhado cultivado com e sem déficit hídrico em ambiente protegido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em ambiente protegido situado no Centro Técnico de Irrigação (CTI), pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM), localizada no município de Maringá-PR. O clima local é caracterizado como subtropical Cfa conforme a classificação de Köppen (NITSCHKE et al., 2019). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos completos ao acaso, em esquema fatorial 5x2, sendo os fatores quatro doses de Si (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e um tratamento controle (sem aplicação), e duas condições de reposição de água (40 e 100% da ETc) com quatro repetições.

O ambiente protegido, cujas dimensões são 30 m de comprimento, 7 m de largura e 3,5 m de pé direito, foi coberto com

filme de polietileno de 150 μm de espessura e envolto com tela antiafídica nas laterais. O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al., 2018), sendo composto fisicamente por argila (g kg^{-1}) = 756,8; areia fina (g kg^{-1}) = 72,6; areia grossa (g kg^{-1}) = 50,0; silte (g kg^{-1}) = 120,6; e densidade aparente do solo (Mg m^{-3}) = 1,01. Em relação aos componentes químicos, o solo foi caracterizado com: pH (H_2O) = 7,2; Al trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 0,0; Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 11,99; Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 2,50; K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) = 0,30; P (Mehlich) (mg dm^{-3}) = 46,77; matéria orgânica (g dm^{-3}) = 15,55; saturação de bases (V%) = 85,35; e Zn, Cu, Fe, Mn e B (mg dm^{-3}) = 20,34; 18,71; 68,87; 94,61; 0,16, respectivamente.

Na área experimental, procedeu-se o preparo e revolvimento do solo para a construção dos canteiros. As dimensões de cada canteiro foram 3 m de comprimento, 0,5 m de largura e 0,1 m de altura, correspondendo às parcelas experimentais. O solo recebeu composto orgânico na dose de $0,5 \text{ kg m}^{-2}$ de canteiro (TRANI, 2014) enquanto as doses de nitrogênio, fósforo e potássio utilizadas nas adubações de plantio e de cobertura foram feitas de acordo com a recomendação de Raij, Quaggio e Furlani (1997). As fontes de nutrientes utilizadas foram o sulfato de amônio (22% N), ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O).

A semeadura do meloeiro ocorreu em bandejas de plástico de 50 células, utilizando substrato comercial a base de húmus e pinus, e sementes do híbrido Sunrise. O transplantio ocorreu quando as mudas apresentavam de três a quatro folhas definitivas, utilizando espaçamento de 0,50 m entre plantas. Em cada canteiro, foram fixadas hastes de madeira nas extremidades, com dois fios de arame para tutoramento da cultura, distanciados do solo em 0,20 m e outro a 1,80 m. A polinização foi realizada manualmente, acima da oitava folha e após o “pegamento” dos frutos executou-se os

raleios sempre que necessário, conduzindo-se um fruto por planta (SILVA et al., 2014).

Para a irrigação foi utilizado um sistema de microirrigação por gotejamento e para a fertirrigação utilizou-se um sistema portátil para a aplicação de pequenas doses via água de irrigação. O sistema de microirrigação disposto na área experimental possuía em cada parcela experimental uma linha lateral de polietileno, com 16 mm de diâmetro e com válvula individual, sendo pressurizado por bomba centrífuga operando com potência de 3,7 kW e operando com pressão de 147 kPa. As linhas laterais foram instaladas ao longo dos canteiros, sendo 12 gotejadores autocompensantes espaçados 0,25 m entre si, com vazão nominal de 8 L h^{-1} . A uniformidade do sistema de microirrigação avaliada com o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) foi de 96,52%.

O sistema de fertirrigação portátil foi composto por um compressor de ar veicular para pressurizar o sistema, além de uma válvula, um reservatório (tubo de PVC de 75 mm de diâmetro com capacidade para 5 L), dois manômetros, tubos plásticos cristalinos, duas válvulas de esfera com manopla, seis microtubos de irrigação e seis gotejadores com vazão nominal de 8 L h^{-1} . O valor de CUC para o sistema portátil foi de 98,99%.

O manejo da irrigação foi determinado pela evapotranspiração da cultura (ETc), utilizando dois lisímetros de lençol freático de nível constante. As leituras da ETc e reposições do reservatório de água foram realizadas diariamente no período matutino (7 h). Foi transplantada uma planta em cada lisímetro, com as mesmas dimensões dos canteiros. A irrigação foi realizada diariamente de acordo com a média da leitura dos tanques de reposição de água no sistema dos lisímetros, convertendo a massa de água em reposição laminar.

As aplicações das doses testadas foram parceladas em quatro fertirrigações, as quais foram realizadas com periodicidade semanal. As fertirrigações foram iniciadas

após a polinização e pegamento dos frutos. A fonte de Si utilizada foi o produto comercial Agri Sil[®] (98% de SiO₂) na forma de pó molhável. No preparo da calda, foi utilizado 2 L de água para a dissolução das doses dos tratamentos e para o controle (sem aplicação de Si) aplicou-se apenas a água de irrigação com mesmo volume.

Em cada planta foi posicionado um gotejador distante $\pm 0,03$ m do caule das mesmas. O procedimento descrito foi executado para a aplicação em uma parcela experimental, repetindo-se o processo para todas as quarenta parcelas que compunham o experimento.

O ponto de colheita consistiu na ruptura de tecidos da camada de abscisão do pedúnculo do fruto e na coloração amarela da casca. Após cada colheita, os frutos foram levados ao laboratório para pesagem individual em balança digital de precisão (± 2 g) para determinação da produção por planta (PROD). O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi obtido através da determinação refratométrica, com amostra do suco da polpa dos frutos, previamente triturada em um processador doméstico de alimentos, sendo expresso em °Brix.

Ao término do experimento, a parte aérea das plantas foi particionada em caule e folhas e posteriormente secas em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C até atingirem massa constante a fim de obter as massas da matéria seca foliar (MSF) e caulinar (MSC), expressas em gramas por planta (g planta⁻¹).

A partir da soma dos valores de MSF e MSC, foi obtida a massa da matéria seca total da parte aérea (MSPA). Com os valores de MSPA e produção por planta, calculou-se a razão entre essas duas variáveis (RFRA= PROD/ MSPA) para avaliação da partição de assimilados nas plantas de melão, expressa em grama por grama (g g⁻¹).

A quantificação das raízes foi realizada no final do ciclo da cultura por meio de um amostrador de chapas de aço, dimensões de 0,20 m de largura, 0,25 m de

comprimento e 0,30 m de profundidade, introduzido no solo de forma nivelada. Após a lavagem das raízes, essas foram posteriormente secas em estufa de circulação forçada de ar à 65°C até atingirem massa constante, obtendo-se a massa da matéria seca radicular (MSR), expressa em gramas por planta (g planta⁻¹).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F utilizando probabilidade mínima de 10% para verificar a significância dos fatores testados e de suas interações sobre as características avaliadas. Aplicou-se a análise de regressão para os níveis do fator Si e teste F para comparação de médias do fator reposição de água. Na análise de regressão, as equações de regressão foram escolhidas com base na significância do teste F e dos coeficientes de regressão pelo teste t de Student ao nível mínimo de probabilidade de 10%.

Conforme Perecin e Cargnelutti Filho (2008), os níveis de significância usuais adotados são de 5 ou 1%, entretanto na ausência de interação significativa se adota um menor rigor ao nível de significância. Ainda, tratando-se de tratamentos em esquema fatorial, os desdobramentos são realizados, independentemente da interação significativa entre fatores.

Justifica-se estudar os efeitos das doses em cada lâmina dado que na literatura, os efeitos do silício são mais evidentes em condição de estresse biótico (RAMOS et al., 2013) e abiótico (TAYYAB; ISLAM; ZHANG, 2018; MENEGALE; CASTRO; MANCUSO, 2015; TEODORO et al., 2015), que no presente estudo correspondem às lâminas de água de 100% (sem estresse hídrico) e 40% da ETc (com estresse hídrico).

Para a análise de trilha utilizou-se a metodologia descrita por Cruz, Carneiro e Regazzi (2014). Inicialmente, foram utilizados dados separados em função das lâminas de água de reposição, formando dois

conjuntos de dados. Para cada conjunto, foi realizada a análise de variância e foram obtidas as variâncias e covariâncias fenotípicas, gerando a matriz de correlações fenotípicas entre os caracteres.

As correlações fenotípicas foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos das variáveis independentes por meio da análise de trilha. Na estimação dos coeficientes de trilha utilizou-se um diagrama em cadeia, apresentando as relações causa-efeito, partindo-se da associação entre a variável básica (produção por planta) com as variáveis de crescimento

(MSF, MSC e MSR) elencadas como componentes primários. Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* GENES (CRUZ, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme análise de variância (Tabela 1), todas as variáveis do meloeiro foram influenciadas significativamente pela lâmina relativa à evapotranspiração (LRE) e o Si influenciou apenas a PROD ($p < 0,10$).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas.

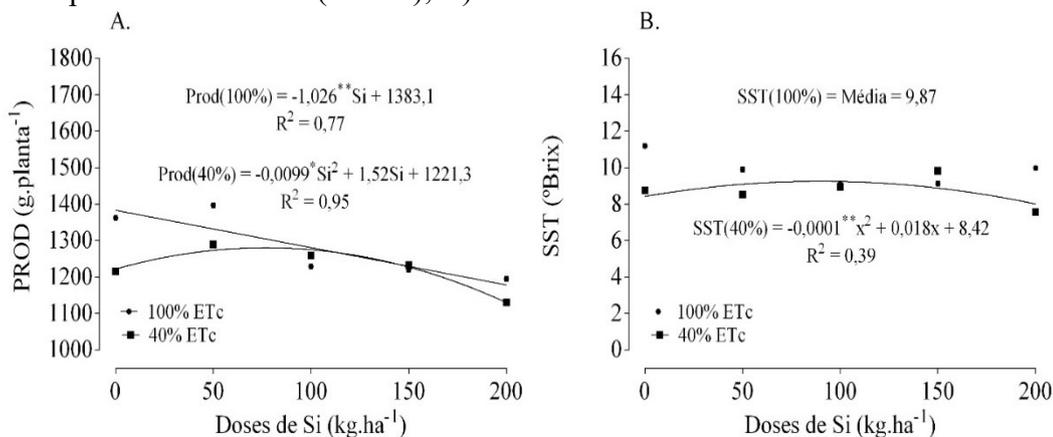
F.V.	GL	Quadrados médios					
		PROD	SST	MSF	MSC	MSR	RFRA
		g planta ⁻¹	°Brix		g planta ⁻¹		g g ⁻¹
Tratamentos	9	24986,37**	3,89***	71,08**	22,72**	0,12 ^{ns}	34,93**
Silício (Si)	4	36990,46***	1,68 ^{ns}	6,84 ^{ns}	5,11 ^{ns}	0,10 ^{ns}	22,56 ^{ns}
LRE (L)	1	30593,07*	13***	279,44***	128,84***	0,39**	110,45**
Si × L	4	11580,6 ^{ns}	3,84***	83,22**	13,81 ^{ns}	0,08 ^{ns}	26,43 ^{ns}
Bloco	3	4428,16 ^{ns}	2,93**	56,11 ^{ns}	17,07 ^{ns}	0,50***	43,15 ^{ns}
Resíduo	27	8721,80	0,81	26,04	9,77	0,08	14,50
C.V. (%)		7,45	9,68	13,45	20,01	30,62	15,71
Média geral		1252,87	9,29	37,94	15,62	0,85	24,25

*PROD= produção por planta, SST= teor de sólidos solúveis totais; MSF= massa da matéria seca foliar; MSC= massa da matéria seca caulinar; MSR= massa da matéria seca radicular; RFRA= razão PROD/MSPA; LRE= lâmina relativa à evapotranspiração; F.V. = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; C.V. = Coeficiente de variação; *, ** e *** = significativo a 0,10, 0,05 e 0,01 respectivamente; ^{ns} = não significativo pelo teste F ($p \geq 0,10$).

Foram obtidas interações significativas para duas das seis variáveis analisadas, MSF ($p < 0,05$) e SST ($p < 0,01$), no entanto, conforme estabelecido na metodologia, foram abordados os desdobramentos dentro de cada fator, independentemente da existência ou não de significância na interação. Os resultados obtidos com a aplicação de silício são variáveis entre as culturas e alguns resultados dos desdobramentos podem ser mais importantes do ponto de vista prático.

Os dados de PROD foram ajustados em um modelo linear ($p < 0,05$) para a condição sem estresse hídrico (Figura 1A). Sob estresse hídrico (40% da ETc), a produção foi descrita por um modelo quadrático ($p < 0,10$) com ponto de máximo de 77,24 kg ha⁻¹ de silício (Figura 1A), resultando em uma produção máxima estimada de 1.280,36 g planta⁻¹, indicando que doses superiores a 77,24 kg ha⁻¹ de silício interferem negativamente na produção do meloeiro.

Figura 1. Influência da aplicação de Si em diferentes condições hídricas. A) Produção por planta de meloeiro (PROD); B) sólidos solúveis totais.



*, ** e *** = significativo a 0,10, 0,05 e 0,01 respectivamente; ^{ns} = não significativo pelo teste F ($p \geq 0,10$); R^2 = coeficiente de determinação.

Para os dados de SST (Figura 1B), na lâmina referente a 40% da ETc, ajustou-se um modelo quadrático ($p < 0,05$), com ponto de máximo de 92 kg ha⁻¹ de Si, e um valor máximo de 9,11 de °Brix. Para a lâmina de água referente a 100% da ETc, o modelo não foi validado, com os coeficientes não significativos ($p > 0,10$), sendo apresentada a média observada nessa lâmina (9,87 °Brix). Sendo assim, com base nos valores de PROD e SST têm-se um indicativo de que o silício pode ser utilizado com doses baixas para aumentar a resistência ao déficit hídrico.

Em condições de ambiente protegido, avaliando a cultura da abobrinha de moita, Ramos et al. (2013) estudaram a eficiência do silicato de potássio no desenvolvimento dessa cultura, constatando que a aplicação foliar não influenciou o crescimento da planta, verificando ainda que com a aplicação de dosagens altas (2,5 L ha⁻¹) houve prejuízos na produção de frutos.

Considerando que doses elevadas de silício, via foliar, prejudicaram a produção e desenvolvimento da cultura, deve-se atentar para o fornecimento de silício para o meloeiro via fertirrigação, principalmente quando não há déficit de irrigação, sendo que a aplicação de doses crescentes nessa condição resultou em poucas mudanças significativas nas variáveis analisadas,

prejudicando a produção e o crescimento do meloeiro (Tabela 1 e Figura 1).

No trabalho desenvolvido por Silva et al. (2013), a aplicação de silício na cultura do morango, na qual as adubações com Si foram aplicadas via solo ou foliar, contribuíram para o aumento da produção de frutos, com maior produção no tratamento via solo comparado ao tratamento via foliar. As doses também influenciaram nas variáveis de qualidade, como teor de antocianinas e acidez titulável, mas não influenciaram os sólidos solúveis.

De forma semelhante ao observado na cultura do melão sem estresse hídrico, Jayawardana, Weerahewa e Saparamudu, (2014) observaram que a aplicação de silício na cultura pimentão, utilizando silicato de potássio na dose de 75 mg L⁻¹ via foliar ou junto as raízes através de solução nutritiva, não alterou as características relacionadas ao teor dos sólidos solúveis totais, pH, acidez titulável e diâmetro dos frutos.

Para o SST, as doses de Si aplicadas via fertirrigação, foram significativas apenas na condição de estresse hídrico, e propriamente não constituem um efeito direto do elemento, mas de possíveis modificações ligadas à nutrição mineral e fisiologia das plantas (CANTUÁRIO et al., 2014), as quais são evidenciadas por

alterações na produção e qualidade dos frutos de melão.

Nessa cultura, alterações no crescimento, tais como maior número de folhas, resultam em maiores valores de sólidos solúveis totais, inferindo-se que os teores de sólidos solúveis podem ser influenciados pela partição de assimilados (QUEIROGA et al., 2008b), acreditando-se que a fertirrigação com silício pode alterar as variáveis de crescimento do melão, a

partição de assimilados e conseqüentemente a PROD e o teor de SST.

A análise de regressão para as variáveis de crescimento em resposta a fertirrigação silicatada em cada lâmina de água encontra-se na Tabela 2. A variável MSF apresentou significância para o fator dose nas duas condições hídricas, em que foi ajustado um modelo linear decrescente ($p < 0,01$) quando se repõe 100% da ETc e um modelo linear crescente ($p < 0,05$) quando a reposição da ETc é de 40%.

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas para as variáveis produtivas do melão cultivado sob fertirrigação silicatada (SiO_2) em duas condições de reposição hídrica (40 e 100% da ETc).

Variável	LRE (% da ETc)	Equações de regressão ajustadas	R ²
MSF (g planta ⁻¹)	100	-0,04 ^{***} Si + 45,44	0,89
	40	0,03 ^{**} Si + 32,22	0,97
MSC (g planta ⁻¹)	100	Média = 17,42 ^{ns}	ns
	40	0,0003 [*] Si ² - 0,05Si + 14,57	0,87
MSR (g planta ⁻¹)	100	Média = 0,92 ^{ns}	ns
	40	Média = 0,72 ^{ns}	ns
RFRA (g g ⁻¹)	100	Média = 22,58 ^{ns}	ns
	40	0,0005 ^{**} Si ² - 0,07Si + 26,11	0,90

MSF= massa da matéria seca foliar; MSC= massa da matéria seca caulinar; MSR= massa da matéria seca radicular; RFRA= razão PROD/MSPA; LRE= lâmina relativa à evapotranspiração.

^{*}, ^{**} e ^{***} = significativo a 0,10, 0,05 e 0,01 respectivamente; ^{ns} = não significativo pelo teste F ($p \geq 0,10$).

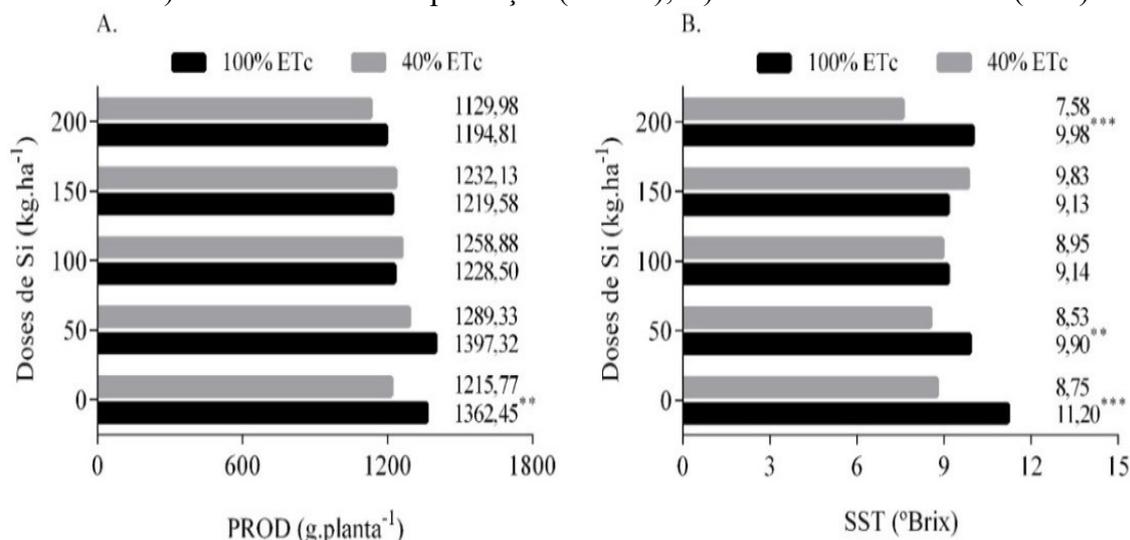
Para MSC e para RFRA foi possível o ajuste de modelos quadráticos apenas na LRE de 40%. Para MSC ($p < 0,10$), o valor mínimo estimado (11,93 g planta⁻¹) é obtido com a aplicação de 94 kg ha⁻¹ de Si e para a RFRA, estima-se o valor máximo (28,83 g g⁻¹) aplicando a dose de 73,7 kg ha⁻¹ de Si.

Não foi possível ajustar um modelo explicativo aos dados da massa da matéria seca radicular (MSR) das plantas de meloeiro, os quais são expostos como a média observada para cada condição hídrica

(0,92 e 0,72 g planta⁻¹ na LRE de 100 e 40% da ETc, respectivamente).

No desdobramento das lâminas dentro de cada dose de silício, observou-se diferenças significativas para a PROD apenas no tratamento controle (Figura 2A) e para SST as diferenças foram obtidas no controle e nas doses 50 e 200 kg ha⁻¹ de Si (Figura 2B). Pode-se verificar que o Si tem efeito benéfico na condição de estresse hídrico, pois as plantas que receberam aplicações de silício não diferiram entre 100 e 40% da ETc.

Figura 2. Características do meloeiro cultivado com diferentes doses de Si e condições hídricas. A) Valores médios de produção (PROD); B) sólidos solúveis totais (SST).



*, ** e *** = significativo a 0,10, 0,05 e 0,01 respectivamente; ns = não significativo pelo teste F ($p \geq 0,10$).

O valor médio da MSF na LRE de 100% difere e supera a LRE de 40% sem a adição de silício (0 kg ha^{-1} de Si) ($p < 0,01$) e na dose de 50 kg ha^{-1} ($p < 0,05$) (Figura 3A). Para as médias da MSC foram observadas diferenças entre as lâminas de água quando foram aplicados 0, 100 e 150 kg ha^{-1} de Si (Figura 3B). Nas doses de 0, 100 e 150 kg ha^{-1} , a LRE de 100% diferiu e superou significativamente a LRE de 40% a um nível de 5% de probabilidade. O valor da MSR diferiu estatisticamente apenas na dose de 100 kg ha^{-1} (Figura 3C), na qual o maior valor foi obtido na LRE de 100% ($p < 0,05$).

Conforme a Figura 3D, o valor médio da RFRA na LRE de 40% difere e supera a LRE de 100% da ETc, sem o fornecimento de silício (0 kg ha^{-1} de Si) ($p < 0,10$) e na dose de 100 kg ha^{-1} ($p < 0,01$). Diferenças obtidas entre as lâminas de água podem ser explicadas por possível desigualdade no fornecimento energético ao processo em cada condição hídrica.

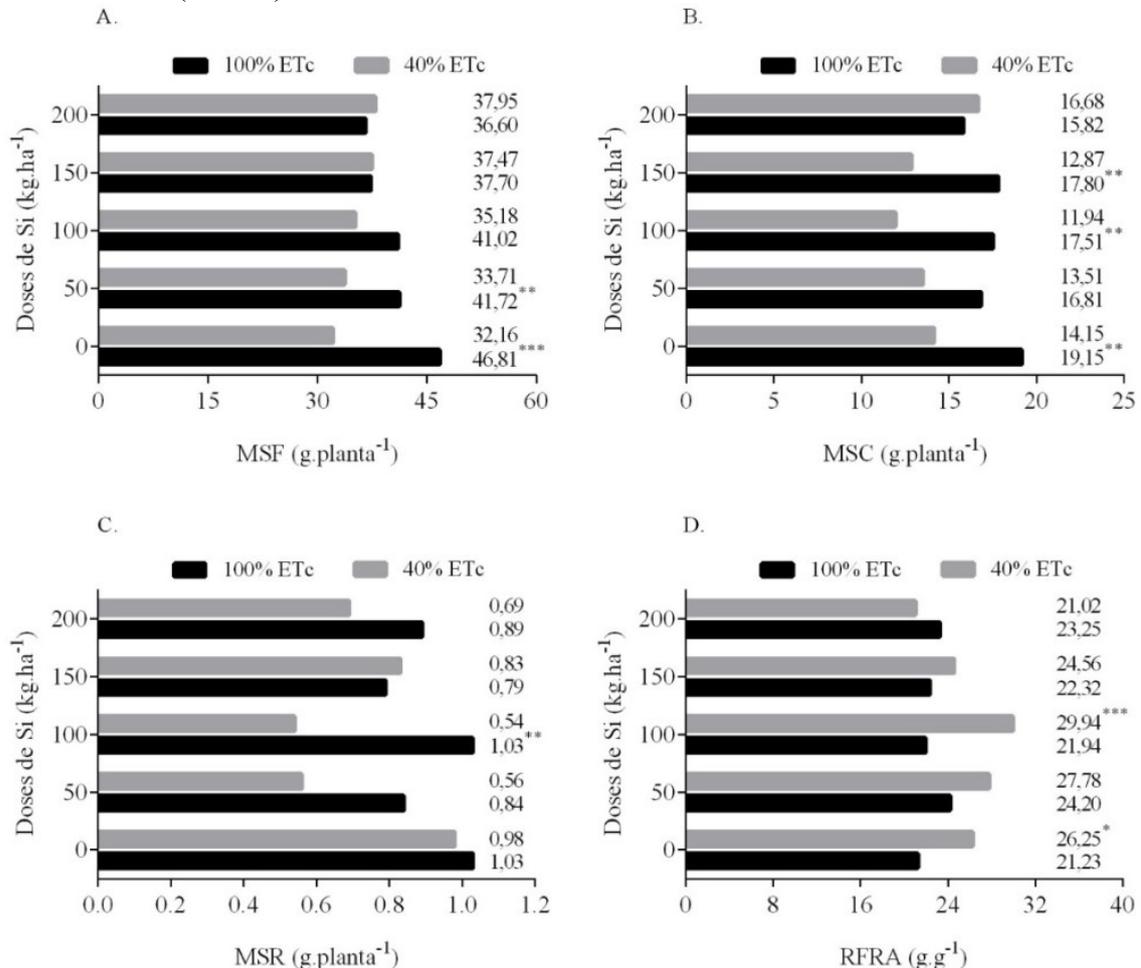
Com a reposição de 100% da ETc, a umidade do solo esteve em níveis adequados, não limitando o desenvolvimento vegetal, justificando a

obtenção de maiores médias para as variáveis. Apesar das possíveis limitações para a condição de déficit hídrico, o silício desencadeou alterações no crescimento do meloeiro nesta condição, especialmente na partição de assimilados.

Dada as interações entre as doses do nutriente e as lâminas de água aplicadas, é razoável supor que as variáveis de crescimento do meloeiro são afetadas de forma desigual, considerando os efeitos das doses de silício em cada uma das lâminas aplicadas.

Pelas análises de trilha foi verificado que as doses influenciam as variáveis de crescimento de forma distinta, o que poderia justificar algumas alterações ocorridas na produção e nos sólidos solúveis totais do meloeiro (Figura 2). Na lâmina de 100% o maior efeito direto sobre a produção, relaciona-se com MSF, seguida da MSC e da MSR (Tabela 3), com valores de correlação com a variável dependente na mesma ordem. Na LRE de 40%, o maior efeito direto sobre a produção é atribuído à MSC, seguidos da MSF e da MSR.

Figura 3. Desdobramento das reposições da ETc dentro de cada dose de silício aplicada via fertirrigação. A) Valores médios para as variáveis massa da matéria seca foliar (MSF); B) massa da matéria seca caulinar (MSC); C) massa da matéria seca radicular (MSR); D) razão (RFRA) produção por planta (PROD)/matéria seca total da parte aérea (MSPA).



*, ** e *** = significativo a 0,10, 0,05 e 0,01 respectivamente; ns = não significativo pelo teste F ($p \geq 0,10$).

Para os SST foi mantida a mesma ordem dos efeitos diretos obtida sobre a produção na LRE de 100%. Os efeitos diretos sobre os SST na LRE de 40% seguem a ordem $MSC > MSR > MSF$ (Tabela 4). Demonstra-se, assim, que as doses de silício ao alterarem as variáveis com maiores efeitos diretos, alteram também a produção e qualidade nas condições de reposição da ETc.

Considerando a LRE de 100%, a redução da MSF com o aumento das doses de Si (Tabela 2) é explicada pela deposição acentuada do elemento nas folhas do meloeiro, e durante esse processo, houve

interações entre o Si depositado e a parede celular (GUERRIERO; HAUSMAN; LEGAY, 2016), limitando a massa e a expansão foliar, e também a massa foliar, havendo pouco efeito para o caule e para a raiz. Assim, a massa seca foliar é a variável que mais influencia a produção e o teor de sólidos solúveis do melão sem déficit hídrico (Tabelas 3 e 4).

Os resultados do estudo desenvolvido por Duarte e Peil (2010), acerca do efeito das relações fonte: dreno sobre o crescimento vegetativo do meloeiro, indicaram não haver diferenças na distribuição da matéria seca entre caule e

folhas, apontando que a competição indiscriminada entre o dreno (fruto) e as partes vegetativas aéreas, isto é, caule e folhas, constituem compartimentos únicos de estocagem temporária de fotoassimilados.

Esse compartimento único seria suprido pela fotossíntese e o local onde os órgãos da planta retiram os fotoassimilados basilares necessários aos processos de crescimento e funcionamento.

Tabela 3. Efeitos diretos e indiretos dos componentes sobre a variável básica produção nas lâminas de reposição (40 e 100% da ETc).

Variável	Efeito	Reposição de água (% ETc)	
		40	100
MSF	Direto sobre PROD	-0,38	1,77
	Indireto via MSC	-0,19	-0,46
	Indireto via MSR	0,05	-0,57
	Total	0,53	0,73
MSC	Direto sobre PROD	-0,67	-0,60
	Indireto via MSF	-0,11	1,38
	Indireto via MSR	-0,06	-0,38
	Total	-0,84	0,39
MSR	Direto sobre PROD	-0,27	-0,83
	Indireto via MSF	0,07	1,20
	Indireto via MSC	-0,14	-0,27
	Total	0,34	0,08
	Coefficiente de Determinação	0,87	0,98
	Efeito da Variável residual	0,35	0,12

MSF= massa da matéria seca foliar; MSC= massa da matéria seca do caule; MSR= massa da matéria seca da raiz; PROD= produção por planta.

Sob déficit hídrico, a adição de silício pode ter alterado a relação fonte dreno nas plantas do meloeiro, havendo diferenças quanto ao fornecimento de assimilados pelas partes aéreas vegetativas (Figuras 3B e 3D), sendo o caule a parte vegetativa que mais contribuiu com o fornecimento de fotoassimilados ao dreno (fruto) e, portanto, na análise de trilha essa variável tem maior peso nos resultados de produção (-0,84) e SST (-0,80) na LRE de 40% (Tabelas 3 e 4).

Além da alteração da produção, qualitativamente os frutos também foram influenciados pela partição dos assimilados. Pelo fato de o fruto constituir o principal dreno, o sabor desse é dependente da síntese e translocação de fotoassimilados na parte aérea durante a fase de desenvolvimento (maturação), inferindo-se que os teores de

sólidos solúveis podem ser influenciados pela competição entre fonte e dreno (QUEIROGA et al., 2008a). Ademais, há a necessidade do aumento na disponibilidade dos carboidratos, reduzindo-se os drenos (número de frutos) ou modificando o aparato foliar, de modo que haja incremento nos açúcares armazenados no fruto, representado pelo aumento dos SST (LONG et al., 2004).

Confirma-se, com a análise de trilha, que o crescimento do melão foi distinto em cada LRE, modificando também a distribuição de assimilados entre os frutos e as demais partes vegetativas. As variáveis primárias MSF, MSC e MSR foram suficientes para explicar as variações ocorridas na produção e nos sólidos solúveis, evidenciado pelos elevados coeficientes de determinação nas análises.

Os coeficientes de determinação das análises de trilha variaram entre 0,59 e 0,98, sendo indicativo de efetividade das variáveis independentes na determinação das variáveis principais. Entretanto, o coeficiente de determinação para a trilha de

sólidos solúveis na LRE de 100% foi o mais baixo (0,59), indicando que outras variáveis podem influenciar os SST na condição sem déficit. Tendências semelhantes foram obtidas por Silva et al. (2016) na cultura do mamoeiro.

Tabela 4. Efeitos diretos e indiretos dos componentes primários sobre a variável básica sólidos solúveis totais nas lâminas de reposição (40 e 100% da ETc).

Variável	Efeito	Reposição de água (% ETc)	
		40	100
MSF	Direto sobre SST	0,35	1,16
	Indireto via MSC	-0,30	-0,31
	Indireto via MSR	-0,11	-0,12
	Total	-0,05	0,72
MSC	Direto sobre SST	-1,03	-0,39
	Indireto via MSF	0,10	0,90
	Indireto via MSR	0,11	-0,08
	Total	-0,80	0,42
MSR	Direto sobre SST	0,54	-0,18
	Indireto via MSF	-0,07	0,79
	Indireto via MSC	-0,22	-0,18
	Total	0,25	0,41
	Coefficiente de determinação	0,95	0,59
	Efeito da variável residual	0,21	0,63

MSF= massa da matéria seca foliar; MSC= massa da matéria seca do caule; MSR= massa da matéria seca da raiz; SST= sólidos solúveis totais.

Na interpretação da análise, percebe-se que o efeito direto geralmente possui o mesmo sinal apresentado pelo efeito total, todavia algumas variáveis não seguem essa premissa, a exemplo da MSF na condição de 40%, cujo efeito total é positivo, mas seu efeito direto é negativo sobre a produção (Tabela 3).

Variáveis que apresentam efeito direto em sentido contrário ao efeito total podem indicar ausência de causa e efeito, sugerindo que tal variável não é a principal determinante das alterações na variável básica, existindo outras que poderão

proporcionar maior efeito nas variáveis resposta (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Em síntese, o fornecimento de silício representa uma opção para prevenir possíveis reduções na produção e qualidade em cultivos que utilizem irrigação com déficit, com a vantagem de conciliar operações de irrigação e fertirrigação, resultando em economia no fornecimento de água e melhor distribuição desse nutriente aos cultivos protegidos, frente as aplicações comumente realizadas com outros métodos,

tais como aplicações de nutrientes via foliar e solo (SILVA et al., 2013).

Em adição, recomenda-se que na realização de outros estudos, avalie-se outras variáveis explicativas que complementem os resultados obtidos para as variáveis de crescimento, a exemplo das trocas gasosas (RAMOS et al., 2013), respaldando a aplicação de silício no meloeiro via água de irrigação.

6 CONCLUSÕES

O silício tem efeito benéfico na condição de estresse hídrico, sendo que as

plantas que receberam aplicações de silício não diferiram entre as lâminas com reposição de 100 e 40% da ETc.

Para o meloeiro, recomenda-se a dose de 50 kg ha⁻¹ para a aplicação via água de irrigação em ambiente protegido, utilizando irrigação deficitária com 40% da ETc.

A fertirrigação silicatada é recomendada para melhorar a partição de assimilados e manter a produção nas plantas de meloeiro sob irrigação deficitária.

Para a determinação dos valores de produção e teor de sólidos solúveis, as massas da matéria seca foliar e caulinar são as variáveis mais importantes na irrigação sem e com déficit hídrico, respectivamente.

7 REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J. R.; PEREIRA FILHO, J. V.; OLIVEIRA, V. M.; SOUSA, G. G.; GOES, G. F.; LEITE, K. N. Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado Piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, n. 4, p. 4200-4210, 2020.
- CANTUÁRIO, F. S.; LUZ, J. M. Q.; PEREIRA, A. I. A.; SALOMÃO, L. C.; REBOUÇAS, T. N. H. Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 32, n. 2, p. 215-219, 2014.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. v. 2.
- DUARTE, T. D. S.; PEIL, R. M. Relações fonte: dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 28, n. 3, p. 271-276, 2010.
- GUERRIERO, G.; HAUSMAN, J. F.; LEGAY, S. Silicon and the plant extracellular matrix. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2016.
- HACHMANN, T. L.; REZENDE, R.; PINTRO, P. T. M.; SAATH, R.; ANJO, F. A.; MENEZES, C. S. L. Yield, antioxidant activity and shelf-life of cauliflower inflorescences under drought stress and foliar spraying of selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, p. e017819, 2019.

HERNANDEZ-SANTANA, V.; FERNÁNDEZ, J. E.; CUEVAS, M. V.; PEREZ-MARTIN, A.; DIAZ-ESPERO, A. Photosynthetic limitations by water deficit: effect on fruit and olive oil yield, leaf area and trunk diameter and its potential use to control vegetative growth of super-high density olive orchards. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 184, n. 1, p. 9-18, 2017.

JAYAWARDANA, H. A. R. K.; WEERAHEWA, H. L. D.; SAPARAMADU, M. D. J. S. Effect of root or foliar application of soluble silicon on plant growth, fruit quality and anthracnose development of capsicum. **Tropical Agricultural Research**, Peradeniya, v. 26, n. 1, p. 74-81, 2014.

LONG, R. L.; WALSH, K. B.; ROGERS, G.; MIDMORE, D. Source-sink manipulation to increase melon (*Cucumis melo* L.) fruit biomass and soluble sugar content. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 55, n. 12, p. 1241-1251, 2004.

LOZANO, C. S.; REZENDE, R.; HACHMANN, T. L.; SANTOS, F. A. S.; LORENZONI, M. Z.; SOUZA, Á. H. C. Produtividade e qualidade de melão sob doses de silício e lâminas de irrigação em ambiente protegido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 140-146, 2018.

LUDWIG, F.; BEHLING, A.; SCHMITZ, J. A. K. Silício na produção e qualidade fitossanitária do tomate (*Lycopersicon esculentum*). **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 1, p. 60-66, 2015.

MELO, A. S.; DIAS, V. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; VIÉGAS, P. R. A. Physiology and yield of piel de sapo melon (*Cucumis melo* l.) under water deficit in semi-arid region, Brazil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 36, n. 4, p. 1251-1260, 2020.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, n. especial, p. 435-454, 2015.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.

PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 68-72, 2008.

QUEIROGA, R. C. F.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECOM, P. R. Partição de assimilados e índices fisiológicos de cultivares de melão do grupo cantalupensis influenciados por número e posição dos frutos na planta, em ambiente protegido. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, n. 6, p. 596-604, 2008a.

QUEIROGA, R. C. F.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECOM, P. R. Produtividade e qualidade de frutos de meloeiro variando número de frutos e de folhas por planta. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v. 26, n. 2, p. 209-215, 2008b.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, A. R. P.; SANTOS, R. L.; AMARO, A. C. E.; FUMES, L. A. A.; BOARO, C. S. F.; CARDOSO, A. I. I. Eficiência do silicato de potássio no controle do oídio e no desenvolvimento de abobrinha de moita. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 31, n. 3, p. 432-438, 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, C. A.; SCHMILDT, E. R.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R. S.; CATTANEO, L. F.; FERREIRA, J. P.; NASCIMENTO, A. L. Correlações fenotípicas e análise de trilha em caracteres morfoagronômicos de mamoeiro. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 10, n. 3, p. 217-227, 2016.

SILVA, M. C.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; FARIAS, L. N. Características produtivas e qualitativas de melão rendilhado adubado com nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 581-587, 2014.

SILVA, M. L. S.; RESENDE, J. T. V.; TREVIZAM, A. R.; FIGUEIREDO, A. S. T.; SCHWARZ, K. Influência do silício na produção e na qualidade de frutos do morangueiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3411-3424, 2013.

TAYYAB, M.; ISLAM, W.; ZHANG, H. Promising role of silicon to enhance drought resistance in wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 49, n. 22, p. 2932-2941, 2018.

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

TRANI, P. E. **Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido**. Campinas: IAC, 2014.