



Revista Agrária Acadêmica

[*Agrarian Academic Journal*](#)

Volume 2 – Número 6 – Nov/Dez (2019)



doi: 10.32406/v2n62019/57-69/agrariacad

Nutrição e crescimento inicial do tomateiro: interação ácido húmico-cálcio. Tomato nutrition and initial growth: acid-calcium interaction

Bruno Paulo Moschini^{1*} [ORCID](#), Carlos Alberto Silva²

^{1*}- Doutorando do Departamento de Ciência do Solo, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba/SP – Brasil. Rua Thomas Giampa, 74 – Jardim Medeiros, São Carlos/SP – Brasil. e-mail:

bruno_moschini@hotmail.com

²- Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras/MG – Brasil. e-mail: csilva@dcs.ufla.br

Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar a nutrição e o crescimento do tomateiro em função das concentrações de carbono-ácido húmico (C-AH) e de suas interações com fontes de cálcio (Ca). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, onde duas fontes de Ca: carbonato de cálcio (CaCO₃) e sulfato de cálcio (CaSO₄) foram combinadas com quatro concentrações de C-AH (5,10, 50 e 100 mg kg⁻¹ de solo), além de um tratamento controle, em três repetições. Foram avaliadas a massa seca (MS) da parte aérea e raízes, a disponibilidade de Ca no solo e a concentração de macro e micronutrientes na parte aérea. O tomateiro produziu mais MS quando utilizado o CaCO₃. O acúmulo e a concentração de nutrientes não foram afetados pela adição de C-AH; contudo, o estado nutricional do tomateiro é regulado pela fonte de Ca utilizada.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L., substâncias húmicas, matéria orgânica, carbonato de cálcio, sulfato de cálcio.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the nutrition and the growth of the tomato as a function of the concentrations of carbon-humic acid (C-HA) and its interactions with sources of calcium (Ca). The experimental design was a completely randomized design, in a 2x5 factorial scheme, where two sources of Ca: calcium carbonate (CaCO₃) and calcium sulfate (CaSO₄) were combined with four concentrations of C-HA (5,10, 50 and 100 mg kg⁻¹ of soil), in addition to a control treatment, in three replicates. The dry matter (DM) of shoot and roots, the availability of Ca in the soil and the concentration of macro and micronutrients in shoot were evaluated. The tomato plants produced more DM when the CaCO₃ was used. The accumulation and concentration of nutrients were not affected by the addition of C-HA; however, the nutritional state of the tomato is regulated by the source of Ca used.

Key words: *Solanum lycopersicum* L, humic substances, organic matter, calcium carbonate, calcium sulfate.

Introdução

As substâncias húmicas podem agir indiretamente sobre o meio de cultivo e, diretamente sobre o crescimento e a produtividade das culturas, podendo modificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, interferindo na produção de metabólitos e em diversos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas e no meio de crescimento, sendo, por isso, classificadas como bioestimulantes (HALPERN et al., 2015). Estudos conduzidos por Muscolo et al. (2013) evidenciaram que as substâncias húmicas podem causar efeitos semelhantes aos hormônios vegetais. Entre as frações das substâncias húmicas, os efeitos dos ácidos húmicos sobre as plantas são os mais relatados, por aumentarem o crescimento do sistema radicular, na medida em que estimulam a formação de raízes laterais, raízes adventícias, o alongamento celular e a formação de pelos radiculares, sendo esses efeitos dependentes da concentração do ácido húmico utilizado no meio de cultivo (MORA et al., 2012; KAZEMI, 2014; ROSE et al., 2014).

A utilização dos ácidos húmicos pode promover a regulação de enzimas importantes para o metabolismo vegetal, por exemplo, a H^+ -ATPase e a nitrato redutase, que exercem efeito na indução de síntese de hormônios vegetais para o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, aumento na velocidade de aquisição de nutrientes por meio do maior volume de solo explorado pelas raízes das plantas, como é evidenciado no estudo de Façanha et al. (2002) e na ampla revisão de Olaetxea et al. (2017). Assim, os ácidos húmicos podem interferir tanto nas características do solo, aumentando a CTC, formando complexos organo-metálicos, regulando a disponibilidade de nutrientes e melhorando os atributos físicos do solo, como nas características das plantas, ao estimular o crescimento vegetal, aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos colhidos, devido à ação que exercem nos sistemas enzimáticos e na regulação do crescimento através da permeabilidade da membrana das células das raízes (NARDI et al., 2002; CANELLAS et al., 2002; ROSE et al., 2014; ZANDONADI et al., 2014; OLAETXEA et al., 2017).

O efeito das concentrações de ácidos húmicos e de outras frações orgânicas sobre o crescimento e a nutrição vegetal é objeto de vários estudos (MUSCOLO et al., 2013; ROSE et al., 2014; ZANDONADI et al., 2014); porém, pouco se sabe sobre a interação do ácido húmico com as fontes de cálcio mais usualmente utilizadas na agricultura, notadamente aquelas que têm o carbonato e o sulfato como ânions acompanhantes. O Ca é um macronutriente secundário importante para a permeabilidade e estrutura da parede celular, alongação e divisão celular (principalmente das raízes) e translocação de carboidratos e nutrientes (WHITE, 2015). O carbonato de cálcio ($CaCO_3$), além de suprir cálcio, eleva o pH e neutraliza o alumínio tóxico (juntamente com os ácidos orgânicos provenientes da matéria orgânica do solo), afetando outros atributos e processos de transformação de nutrientes no solo e o crescimento e desenvolvimento das plantas. O sulfato de cálcio ($CaSO_4$) não possui a capacidade de alterar o pH, mas pode melhorar e condicionar as camadas de subsolo, tornando o ambiente mais propício ao crescimento de raízes, suprimindo cálcio às plantas e atenuando os efeitos do alumínio tóxico, que se ligam aos íons sulfato (SO_4^{2-}), diminuindo sua atividade química (RAIJ, 2011). Esses efeitos em solo e sobre as plantas explicam o uso difundido do $CaSO_4$ como condicionador do ambiente radicular em subsolo.

Os ácidos húmicos podem estimular o crescimento das raízes, podendo aumentar a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas plantas. No subsolo, a aplicação conjunta de $CaSO_4$ e AH pode ter implicações positivas para às plantas, por otimizar a absorção de nutrientes que estão presentes em menor quantidade no subsolo, estimular o crescimento radicular e fornecer C prontamente disponível às plantas, principalmente em solos tropicais que possuem matéria orgânica

estabilizada e baixos teores de C na solução do solo. De acordo com Mohamed (2012), a aplicação de 1,0 e 2,0 g kg⁻¹ de ácido húmico, associado ao CaSO₄, aumentou a massa seca e a absorção de nutrientes em plantas de milho.

As plantas de tomate podem ter maior desenvolvimento com a adição de CaCO₃ do que com o uso de CaSO₄ como condicionador de solo, já que a quantidade de cálcio fornecida será maior e o acréscimo de pH proporcionado pelo carbonato torna os AH mais ricos em cargas negativas, pela ionização de radicais carboxílicos (COOH⁻) e grupos fenólicos, podendo aumentar a bioatividade dessa fração húmica (MOHAMED, 2012). É importante evidenciar que esses resultados podem depender das características químicas originais do solo. Além disso, o efeito diferenciado que as duas fontes de cálcio têm sobre o pH do solo, pode haver disponibilidade diferenciada de cálcio no solo em função da interação e constante de estabilidade do cálcio, no complexo ácido húmico-cálcio formado, com efeitos sobre a nutrição das plantas.

Nesse contexto, o objetivo do estudo foi avaliar a nutrição e o crescimento inicial do tomateiro em função das concentrações de carbono-ácido húmico (C-AH) e de suas interações com o cálcio suprido via CaCO₃ ou CaSO₄ em amostras de solo e de subsolo de um Latossolo Vermelho de textura argilosa.

Material e métodos

O estudo foi conduzido no ano de 2015 em casa de vegetação no município de Lavras, Estado de Minas Gerais, Brasil (21°13'34''S, 44°58'45''W, 943 m de altitude). O clima do local é classificado como mesotérmico com estação seca de inverno e verão chuvoso (Cwb), segundo Köppen (1948). Foram utilizadas amostras de solo da camada de 0-10 e de 20-40 cm de um Latossolo Vermelho de textura argilosa (EMBRAPA, 2013), referente aos Ferralsols, segundo a base de referência mundial para recursos de solos (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015). A escolha das amostras de solo baseou-se em seus teores contrastantes de matéria orgânica do solo, uma vez que a disponibilidade do carbono no solo e em sua solução modula a resposta das plantas à adubação com material húmico (ROSE et al., 2014, OLAETXEA et al., 2017). Antes do plantio do tomate foi realizada caracterização das propriedades químicas e físicas do solo sob condições naturais, a partir da coleta de três amostras simples da camada 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 1). Após homogeneização das amostras simples, as amostras compostas de solo foram analisadas, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001).



Tabela 1. Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho de textura argilosa na camada 0-10 e 20-40 cm, sob condições naturais.

Camada	pH	MO	C	P _{melich-1}	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB
--- cm ---	H ₂ O	dag kg ⁻¹	%		mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----				
0-10	4,3	6,6	4,6	2,0	43,0	0,2	0,1	11,8	1,7	0,4
20-40	4,7	3,2	2,2	0,7	15,0	0,1	0,1	8,8	1,1	0,2
Camada	V	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Argila	Silte	Areia
--- cm ---	%	----- mg dm ⁻³ -----					----- % -----			
0-10	3,3	10,1	1,2	93,0	0,2	0,8	0,1	64	17	19
20-40	2,6	9,5	1,4	32,0	0,8	0,3	0,7	78	9	13

MO: matéria orgânica (colorimétrica); C: carbono elementar; P_{melich-1}: fósforo (método colorimétrico extraído com extrator melich-1); K: potássio (extração com extrator melich-1 e determinação em espectrofotômetro de emissão atômica); Ca e Mg: cálcio e magnésio (extração com extrator melich-1 e determinação em espectrofotômetro de absorção atômica); H+Al: acidez potencial (extraído com tampão SMP); Al: alumínio trocável (método titulométrico extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹); SB: soma de bases; V%: saturação por bases; Cu, Fe, Zn e Mn: cobre, ferro, zinco e manganês (extraído com DTPA); B: boro (extraído com água quente).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, compreendendo duas fontes de cálcio: o sulfato de cálcio (CaSO₄ p.a.) e o carbonato de cálcio (CaCO₃ p.a.), combinadas com quatro concentrações de C-AH (5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹ de C-AH), além de um tratamento controle (sem adição de material húmico), em três repetições. A concentração de CaSO₄ foi definida com base no teor de P-remanescente disponibilizado na Tabela 1, visando adicionar CaSO₄ ao solo equivalente a uma prática de gessagem, de modo que foi adicionado 0,8 g de CaSO₄ vaso⁻¹ nas amostras de solo da camada 20-40 cm. O CaCO₃ foi adicionado visando elevar a saturação de bases a 60%, adicionando-se 4,1 g de CaCO₃ vaso⁻¹ nas amostras de solo da camada de 0-10 cm (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999). As fontes de cálcio foram misturadas às amostras de solo que foram passadas em peneira com malha de 8 mm, para retirada de galhos e raízes. Para cada parcela experimental, 1,2 kg de solo foram incubados com as fontes de cálcio por aproximadamente 20 dias, sendo a umidade mantida próxima a 70% da capacidade de campo. Em sequência, os solos foram secos e passados em peneira com malha de 4 mm e distribuídos em vasos plásticos.

Sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) da cultivar Santa Clara foram propagadas em substrato comercial em bandeja de poliestireno com duzentas células. Após o período de germinação e tendo atingido tamanho de aproximadamente 10 cm, as mudas foram transferidas para os vasos plásticos juntamente com o material húmico. O C-AH utilizado foi extraído de Leonardita com solução de hidróxido de potássio (KOH) 0,5 mol L⁻¹, sendo o AH adicionado em estado sólido e misturado à massa de solo de cada vaso de cultivo após o período de incubação com as fontes de cálcio. O C-AH apresentava as seguintes características: pH_{água}: 9,7; CE: 10,2 mS cm⁻¹; C: 37%; N_{total}: 6 g kg⁻¹; P: 0,1 g kg⁻¹; K: 42,8 g kg⁻¹; Ca: 0,7 g kg⁻¹; Mg: 2,3 g kg⁻¹; S: 4,1 g kg⁻¹; B: 84,7 mg kg⁻¹; Cu: 5,9 mg kg⁻¹; Fe: 2560 mg kg⁻¹; Mn: 20,6 mg kg⁻¹ e Zn: 75,3 mg kg⁻¹. As concentrações de C-AH testadas foram definidas em relação ao teor do carbono presente no ácido húmico.

As adubações para o cultivo do tomateiro em vaso foram realizadas de acordo com Novais et al. (1991), considerando-se, também, a caracterização química inicial dos solos. A adubação com P foi realizada utilizando-se duas fontes do nutriente, sendo $31,76 \text{ mg kg}^{-1}$ de P suprido com fosfato de potássio (K_3PO_4) e o restante com fosfato de amônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), visando adicionar 400 mg kg^{-1} de P. A adubação com K foi realizada visando adicionar 300 mg kg^{-1} de K, sendo 100 mg kg^{-1} de K aplicadas no plantio, com a adição de $0,21 \text{ g vaso}^{-1}$ de K_3PO_4 , seguido de duas adubações de cobertura com cloreto de potássio (KCl), respectivamente, aos 10 e 20 dias após o plantio. O S foi adicionado ao solo por meio da aplicação de $0,24 \text{ g vaso}^{-1}$ de sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], com a finalidade de se adicionar 50 mg kg^{-1} de S. A adubação com N visou a adição de 300 mg kg^{-1} de N, sendo adicionado no plantio $250,89 \text{ mg kg}^{-1}$ de N, com a adição de $0,24 \text{ g vaso}^{-1}$ e $1,63 \text{ g vaso}^{-1}$ de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, respectivamente, seguido de duas adubações de cobertura com nitrato de amônio (NH_4NO_3), aos 10 e 20 dias após o plantio. As adubações com micronutrientes visaram a adição de 6 mg kg^{-1} de Zn, 5 mg kg^{-1} de Mn, 4 mg kg^{-1} de Fe, 2 mg kg^{-1} de Cu, utilizando-se as seguintes fontes: sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloreto de manganês ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), sulfato de ferro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), respectivamente.

Após 40 dias do transplantio das mudas, o solo das parcelas experimentais foi amostrado com auxílio de um trado para vaso para realização da análise química, visando avaliar a disponibilidade de cálcio no solo. Posteriormente, as plantas foram colhidas, lavadas em água deionizada e subdivididas em parte aérea (PA) e raízes (R). Todo o material foi acondicionado em saco de papel tipo Kraft e seco em estufa com ventilação forçada de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ até massa constante para a determinação da produção de massa seca, conforme descrito por Bryson & Mills (2015). O material vegetal seco foi triturado em moinho tipo Wiley, homogeneizado, subamostrado e submetido à determinação das concentrações de macro e micronutrientes (MALAVOLTA et al., 1997). O acúmulo de cálcio foi calculado relacionando-se a massa seca de cada parte da planta e tratamento com a respectiva concentração do nutriente no tecido vegetal do tomateiro.

Os resultados da disponibilidade de cálcio no solo, produção de massa seca, concentração e acúmulo de cálcio na parte aérea e demais concentrações de macro e micronutrientes em relação à camada de solo avaliada foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando-se o teste F ($p \leq 0,05$), sendo a significância interpretada por comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e, quando significativa para as concentrações de C-AH dos tratamentos, foram avaliadas por análise de regressão polinomial de primeiro e segundo grau. Para a realização da análise estatística, foi utilizado o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

Resultados e discussão

As concentrações de C-AH em função da adição de CaSO_4 e CaCO_3 , não afetaram a disponibilidade de cálcio nas camadas de solo avaliadas, cujos teores variaram apenas entre as fontes de cálcio utilizadas em cada camada de solo (Figura 1). Nas duas camadas de solo, a utilização do CaCO_3 promoveu, em média, $2,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na disponibilidade de cálcio no solo em relação ao CaSO_4 . Na camada superficial, a maior disponibilidade de cálcio pode estar associada a maior quantidade de matéria orgânica presente, promovendo elevado poder tampão no solo, o que determinou maior necessidade de calagem, com aplicação de maior quantidade de CaCO_3 . Quando adicionado o CaSO_4 , a disponibilidade de cálcio foi, em média, de $0,7$ e $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, respectivamente, representando uma diferença de 29% entre as camadas de solo.

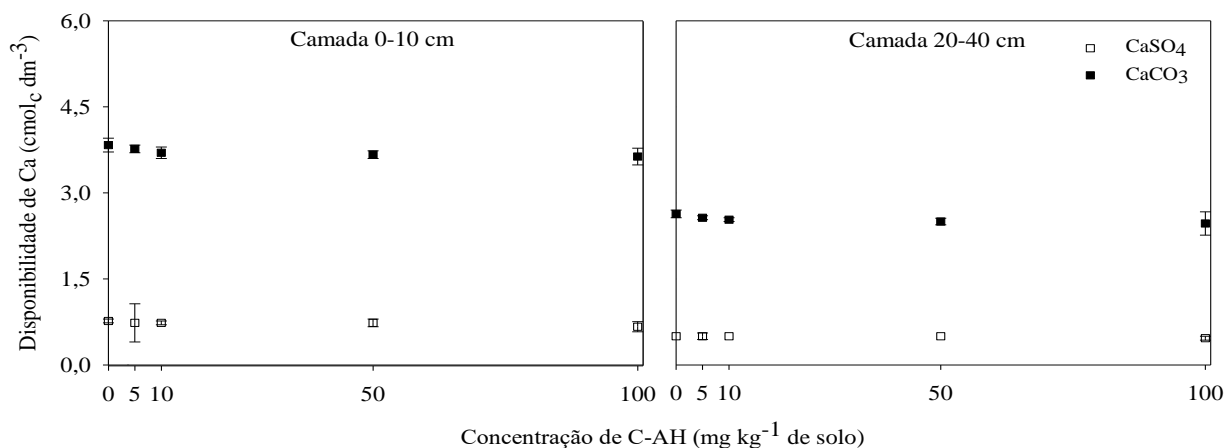


Figura 1. Disponibilidade de cálcio (Ca) no Latossolo Vermelho de textura argilosa nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, em função das concentrações de carbono-ácido húmico (C-AH) e o tratamento controle combinadas com sulfato de cálcio (CaSO₄) ou carbonato de cálcio (CaCO₃).

O pH do solo aumentou em ambas as camadas avaliadas, atingindo valores de 5,2 e 6,2 na camada de 0-10 cm e de 5,8 e 6,8 na camada de 20-40 cm, quando foram adicionados CaSO₄ e CaCO₃, respectivamente. O CaCO₃ pode afetar vários atributos e processos de transformação dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, o crescimento e desenvolvimento das plantas devido à capacidade de elevar o pH do solo e neutralizar o alumínio tóxico (RAIJ, 2011), juntamente com os ácidos orgânicos de baixa massa molar provenientes da matéria orgânica do solo. Dessa forma, de acordo com Hering & Morel (1988), é comum a formação de complexos ácido húmico-cálcio, mas, esses complexos podem ser pouco dependentes do pH do solo e não tão estáveis quanto os formados com outros nutrientes de maior afinidade por ligantes orgânicos. A título de hipótese pode ser que a disponibilidade de cálcio no solo esteja ligada à formação de complexos ácido húmico-cálcio, mas, é possível, também, que isso não represente uma limitação no suprimento desse nutriente às plantas, devido à natureza química, reatividade, baixa estabilidade, alta solubilidade e biodisponibilidade dos complexos do material húmico-cálcio formados (EVANGELOU, MARSI, 2001).

Quando o tomateiro foi cultivado na camada superficial houve maior produção de massa seca, em relação ao cultivo em amostras do subsolo (Figura 2). Houve diferença estatística e aumento linear da massa seca da parte aérea com o acréscimo da concentração de C-AH, quando o sulfato é o íon acompanhante do cálcio na camada de 0-10 cm. A maior produção de massa seca da parte aérea e raízes, bem como a ausência de interação estatística entre os tratamentos na camada de 0-10 cm, podem estar associadas ao alto teor de matéria orgânica do solo, uma vez que, pode ocorrer o aumento na CTC e a capacidade do solo em adsorver e suprir nutrientes às plantas. A maior presença de matéria orgânica pode implicar em maior disponibilidade de ácido húmico, de modo, que, o material húmico natural do solo pode ser suficiente para proporcionar maior crescimento das plantas, inibindo o efeito da adubação húmica sobre às plantas. Segundo Olaetxea et al. (2017), em solos com concentrações menores que 50 mg kg⁻¹ de C em solução, o papel das substâncias húmicas em aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e os microrganismos é limitado, sendo que as plantas podem ser pouco responsivas à adubação húmica.

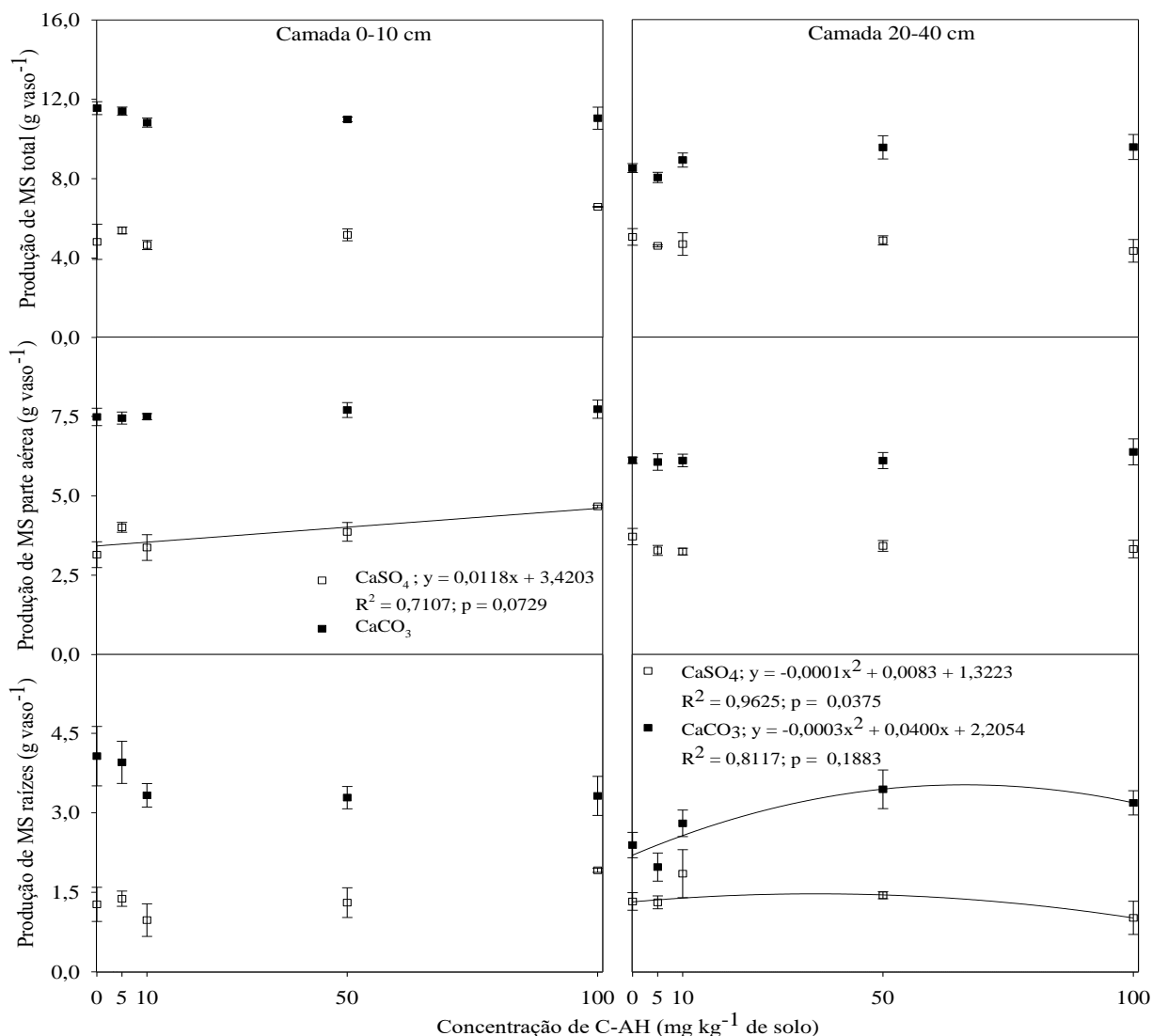


Figura 2. Produção de massa seca (MS) total, parte aérea e raízes do tomateiro cultivados em Latossolo Vermelho de textura argilosa nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, em função das concentrações de carbono-ácido húmico (C-AH) e o tratamento controle combinadas com sulfato de cálcio (CaSO₄) ou carbonato de cálcio (CaCO₃).

Assim, a baixa eficiência agrônômica das substâncias húmicas pode estar associada aos teores de carbono presentes na solução do solo (HARTZ, BOTTOMS, 2010). O teor de carbono na fase líquida do solo pode ser menor de 30 mg L⁻¹ em solos com baixos teores de matéria orgânica (CHEN, KATAN, 1980), mas, podem atingir níveis da ordem de 400 mg L⁻¹ em solos mais ricos em matéria orgânica (CHEN, SCHNITZER, 1978). É provável que as concentrações das frações húmicas e a disponibilidade de carbono na solução, devido a maior disponibilidade de matéria orgânica no Latossolo Vermelho de textura argilosa, principalmente na camada de 0-10 cm, sejam fatores responsáveis pela ausência de resposta das concentrações de C-AH sobre a produção de biomassa seca total do tomateiro.

A produção de massa seca de raízes respondeu de modo diferenciado, ou seja, não houve diferenças para os tratamentos na camada de 0-10 cm; entretanto, foi estimulada pelo aumento das concentrações de C-AH nas amostras de solo da camada de 20-40 cm. A máxima produção de massa seca de raízes (3,5 e 1,5 g vaso⁻¹) ocorreu para a concentração de 66,6 e 41,5 mg kg⁻¹ de C-AH para o

uso em solo de CaCO_3 e CaSO_4 , respectivamente. A partir da concentração ótima de C-AH mencionada anteriormente pode-se aumentar em cerca de 60% a massa seca de raízes quando o cálcio for suprido via carbonato, em comparação ao tratamento controle. Já o C-AH em concentração ótima combinada com o CaSO_4 pode propiciar aumento da massa seca de raízes na ordem de 13%. É possível que tenha ocorrido um efeito sinérgico entre o material húmico e as fontes de cálcio utilizadas sobre as raízes do tomateiro, quando o meio de cultivo apresentou baixo teor de matéria orgânica e o CaCO_3 foi utilizado como corretivo de acidez. Dessa forma, o uso combinado de CaCO_3 e uma concentração ótima de C-AH pôde melhorar o ambiente radicular, propiciando o uso mais eficiente da água e nutrientes nos vasos cultivados.

É possível que haja uma relação entre a massa seca de raízes e as concentrações de C-AH na camada de solo com baixo teor de matéria orgânica; contudo, são escassos ou inexistentes os trabalhos que avaliaram a relação do carbono disponível no solo como determinante na resposta da adubação húmica pelo tomateiro. Os dados obtidos nesse estudo são preliminares e demonstram que é preciso considerar o teor de matéria orgânica e o carbono naturalmente disponível no solo para antecipar e prever os possíveis efeitos que as concentrações de ácidos húmicos podem ter sobre o crescimento do tomateiro.

Em relação à adição de cálcio via sulfato quando combinada com as concentrações de C-AH, nas mesmas condições de solo descritas acima, tanto o material húmico como a fonte de cálcio utilizada podem ter desempenhado uma função de condicionador desse solo, mostrando uma sinergia entre os tratamentos; porém, em menor escala do que a observada para o CaCO_3 . O efeito da interação entre ácido húmico e fontes de cálcio na massa seca e no acúmulo de nutrientes em plantas de milho foi avaliado por Mohamed (2012), ao verificar que a utilização de 1,0 e 2,0 g kg^{-1} de AH e de CaSO_4 no meio de cultivo proporcionou maior acúmulo de massa seca, quando comparado a outras fontes de cálcio (nitrato de cálcio e cloreto de cálcio), evidenciando a sinergia dessa interação. Em um estudo realizado por Türkmen et al. (2004) avaliando a interação do ácido húmico com o cálcio na resistência às condições salinas em sementes e mudas de tomateiro, foram evidenciados efeitos positivos quando aplicado 1000 mg kg^{-1} de AH e de 100 a 200 mg kg^{-1} de cálcio.

A interação do C-AH com a adição do CaSO_4 e o CaCO_3 na produção de massa seca de raízes na camada de 20-40 cm mostra a capacidade dos ácidos húmicos em estimular vários processos fisiológicos que promovem o crescimento vegetal, especialmente os associados ao sistema radicular. Quando analisado as raízes do tomateiro cultivado em amostras de solo da camada de 20-40 cm, verificou-se que as concentrações de 50 mg kg^{-1} de C-AH promoveram sistema radicular mais ramificado, em relação aos outros tratamentos e ao tratamento controle. O maior desenvolvimento radicular para a concentração de C-AH anteriormente citada pode promover uma área de superfície radicular maior, ajudando as plantas a explorar maior volume de solo, facilitando a adaptação das plantas em ambientes de baixa fertilidade e com restrição hídrica (CANELLAS et al., 2002).

A concentração e o acúmulo de cálcio foram, respectivamente, em média, 18 e 30% maiores quando as plantas foram cultivadas na camada superficial e quando o cálcio foi adicionado via carbonato. Entretanto, não houve diferença estatística na concentração e no acúmulo de cálcio pelas plantas entre as camadas de solo em função das concentrações de C-AH e fontes de cálcio (Figura 3). Esses resultados respaldam a hipótese de que a possível formação de complexos ácido húmico-cálcio podem não representar uma limitação no suprimento do nutriente para as plantas, em acordo com os resultados obtidos no estudo de Hering & Morel (1988).

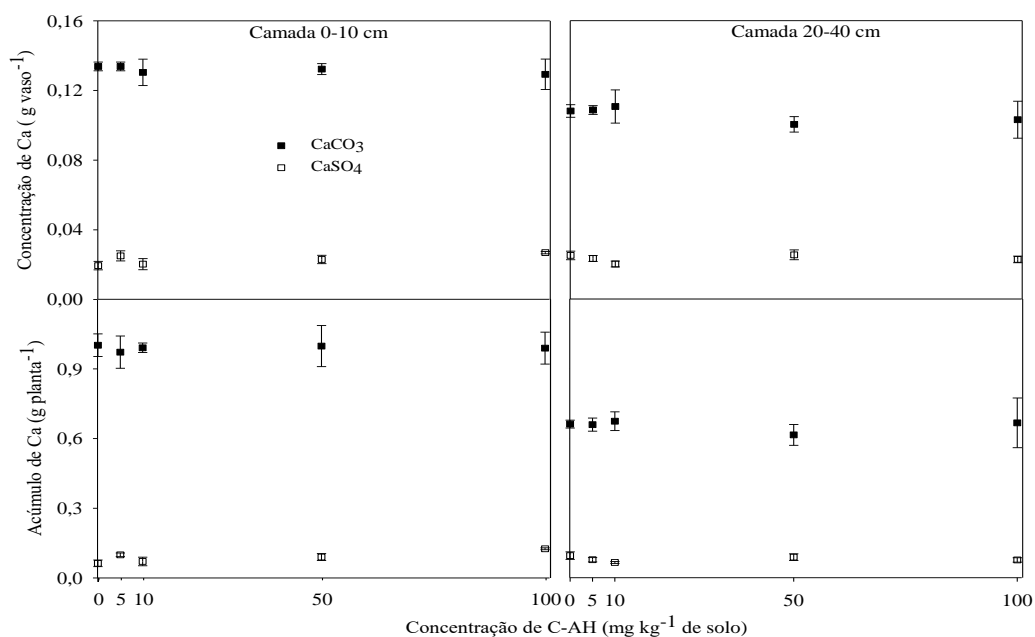


Figura 3. Concentração (g planta^{-1}) e acúmulo de cálcio (g planta^{-1}) na parte aérea do tomateiro cultivados em Latossolo Vermelho de textura argilosa nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, em função das concentrações de carbono-ácido húmico (C-AH) e o tratamento controle combinadas com sulfato de cálcio (CaSO_4) ou carbonato de cálcio (CaCO_3).

Avaliando a de significância do teste F, não houve interação entre as concentrações de C-AH com as fontes de Ca a ponto de regular a concentração de macro e micronutrientes na parte aérea do tomateiro, com exceção do N e do B. Quando analisado os fatores de variação de modo isolado, as fontes de Ca interferiram positivamente na nutrição do tomateiro cultivado em ambas as camadas de solo, à exceção do Mn e Zn (Tabela 2). Tendo em vista esses resultados, é difícil estabelecer a concentração ideal de AH para as mais diversas culturas, uma vez que as respostas das plantas são dependentes de vários fatores, notadamente das fontes de AH utilizadas, de sua composição química, condições do meio de cultivo, disponibilidade de C solúvel no solo, fatores que causam estresse às plantas, concentrações aplicadas e bioatividade das frações húmicas (ROSE et al., 2014, HALPERN et al., 2015, CONSELVAN et al., 2017, OLAETXEA et al., 2017).



Tabela 2. Significância do teste F entre as fontes de cálcio (CaSO_4 e CaCO_3) em função das concentrações de carbono-ácido húmico (C-AH) e o tratamento controle na concentração de macronutrientes (N, P, K, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) na parte aérea do tomateiro cultivados em Latossolo Vermelho de textura argilosa nas camadas de 0-10 e 20-40 cm.

Fonte de Variação	Concentração de macronutrientes					Concentração de micronutrientes				
	N	P	K	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- Valor de p -----										
Camada 0-10 cm										
Fonte de cálcio (Ca)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,706	<0,001
Conc. Carbono-ácido húmico (C-AH)	0,023	1,000	0,287	0,515	0,315	0,572	0,268	0,467	0,094	0,274
Ca x C-AH	0,005	0,172	0,114	0,271	0,813	<0,001	0,784	0,929	0,618	0,666
DMS	0,013	0,002	0,036	0,001	0,004	0,023	0,003	0,137	0,322	0,040
C.V. (%)	7	14	25	13	23	9	13	19	30	21
Camada 20-40 cm										
Fonte de cálcio (Ca)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,189	0,623
Conc. Carbono-ácido húmico (C-AH)	0,760	0,375	0,185	0,515	0,079	0,014	0,753	0,373	0,881	0,974
Ca x C-AH	0,995	0,783	0,272	0,515	0,114	0,087	0,314	0,374	0,290	0,070
DMS	0,011	0,003	0,028	0,001	0,002	0,020	0,005	0,345	0,245	0,047
C.V. (%)	9	23	22	16	13	11	16	52	52	31

DMS: diferença média significativa

C.V.: Coeficiente de variação

Ao final do período experimental e das avaliações realizadas foi possível observar que nem todos os objetivos propostos foram alcançados; sendo assim, melhores resultados podem ser alcançados com estudos futuros e metodologia reformulada.

Conclusão

As plantas de tomate produziram maior quantidade de massa seca quando utilizado o carbonato de cálcio como fonte de cálcio, sendo que as concentrações de carbono-ácido húmico não foram eficazes em aumentar a massa seca total do tomateiro.

A ação do carbono-ácido húmico sobre o tomateiro restringiu a massa seca de raízes cultivadas em subsolo, aumentando em 60% o crescimento de raízes quando o carbonato de cálcio é utilizado.

O acúmulo e a concentração de cálcio não foram afetados pela adição das concentrações de carbono-ácido húmico; contudo, o estado nutricional do tomateiro é regulado pela fonte de cálcio utilizada, com maior acúmulo nas plantas cultivadas na camada de solo mais rica em matéria orgânica e quando utilizado o carbonato.

As concentrações dos demais macro e micronutrientes na parte aérea do tomateiro não foram reguladas pelas concentrações de carbono-ácido húmico, tampouco pela interação do material húmico com as fontes de cálcio avaliadas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 303899/2015-8 e 461935/2014-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, PROEX/AUXPE 593/2018), por custearem as ações de pesquisa deste estudo e financiarem bolsas de pesquisa aos autores e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Referências Bibliográficas

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5^o aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999, p. 41-42.

BRYSON, G. M.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook IV: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. 4^a ed. Athens, Micro-Macro Publishing, 2015.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A. L.; FAÇANHA, A. R. Humic acids isolated from earth worm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATP_{ase} activity in maize roots. **Plant Physiology**, v. 130, n. 2, p. 1951-1957, 2002. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.007088>.

CHEN, Y.; KATAN, J. Effects of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. **Soil Science**, v. 130, n. 5, p. 271-277, 1980. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-198011000-00007>.

CHEN, Y.; SCHNITZER, M. The surface tension of aqueous solutions of soil humic substances. **Soil Science**, v. 125, n. 1, p. 7-15, 1978. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-197801000-00002>.

CONSELVAN, G. B.; PIZZEGHELLO, D.; FRANCIOSO, O.; DI FOGGIA, M.; NARDI, S.; CARLETTI, P. Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites. **Plant and Soil**, v. 420, p. 119-134, 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-017-3373-z>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3^a ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2013, 353p.

EVANGELOU, V. P.; MARSI, M. Composition and metal ion complexation behavior of humic fractions derived from corn tissue. **Plant and Soil**, v. 229, n. 1, p. 13-24, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1004862100925>.

FAÇANHA, A. A.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M. A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900014>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1036-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

HALPERN, M.; BAR-TAL, A.; OFEK, M.; MINZR, D.; MULLER, T.; YERMIYAHU, U. The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake. **Advances in Agronomy**, v. 130, p. 141-174, 2015. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>.

- HARTZ, T. K.; BOTTOMS, T. G. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. **Hortscience**, v. 45, n. 6, p. 906-910, 2010. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.906>.
- HERING, J. G.; MOREL, F. M. M. Humic acid complexation of calcium and copper. **Environmental Science Technology**, v. 22, n. 10, p. 1234-1237, 1988. <https://doi.org/10.1021/es00175a018>.
- IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014**. 1º ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2015, 203p.
- KAZEMI, M. Effect foliar application of humic acid and calcium chloride on tomato growth. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 3, n. 3, p. 41-46, 2014.
- KÖPPEN, W. **Climatology: a study of the climates of the earth**. Mexico City: Fondo de Cultura Economica, 1948, 233p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997, 319 p.
- MOHAMED, W. H. Effects of humic acid and calcium forms on dry weight and nutrient uptake of maize plant under saline condition. **Australian Journal of basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 8, p. 597-604, 2012.
- MORA, V.; BAIGORRI, R.; BACAICOA, E.; ZAMARREÑO, A. M.; GARCÍA-MINA, J. M. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. **Environmental and Experimental Botany**, v. 76, p. 24-32, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.10.001>
- MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; NARDI, S. Humic substance: relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. **Journal Geochemical Exploration**, v. 129, p. 1057-1063, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.012>.
- NARDI, S.; PIZZEGUELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1527-1536, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8).
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Eds.). **Métodos de pesquisa em fertilidade de solos**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991, p. 189-253.
- OLAETXEA, M.; DE HITTA, D.; GARCIA, C. A.; FUENTES, M.; BAIGORRI, R.; MORA, V.; GARNICA, M.; URRUTIA, O.; ERRO, J.; ZAMARREÑO, A. G.; BERBARA, R. L.; GARCIA-MINA, J. M. Hypothetical framework integrating the main mechanisms involved in the promoting action of rhizospheric humic substances on plant root- and shoot-growth. **Applied Soil Ecology**, v. 123, p. 521-537 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.007>.
- RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2011. 420 p.
- RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas (IAC), 2001, 285 p.
- ROSE, T.; PATTI, A. F.; LITTLE, K. R.; BROWN, A. L.; JACKSON, W. R.; CAVAGNARO, T. R. A meta-analysis and review of plant growth response to humic substances: practical implications for agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 124, p. 37-89, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>.
- TÜRKMEN, Ö.; DURSUN, A.; TURAN, M.; ERDİNÇ, Ç. Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. **Acta Agriculturae Scandinava, Section B, Soil and Plant Science**, v. 54, n. 3, p. 168-174, 2004.
- WHITE, P. J. Calcium. In: BARKER, A. V.; PILBEAN, D. J. (Eds.). **Handbook of Plant Nutrition**. 2ª ed. Boca Ration: CRC Press, 2015, p. 165-198.

ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000100003>.

Recebido em 13 de setembro de 2019

Aceito em 8 de novembro de 2019

Compartilhar

