



BRUNO PAULO MOSCHINI

**NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO
TOMATEIRO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO
DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COM B, FONTES
DE Ca E FORMAS DE N MINERAL.**

LAVRAS – MG

2015

BRUNO PAULO MOSCHINI

**NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATEIRO EM FUNÇÃO DA
INTERAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COM B, FONTES DE Ca E
FORMAS DE N MINERAL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Carlos Alberto Silva

LAVRAS – MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Moschini, Bruno Paulo.

Nutrição e crescimento do tomateiro em função da interação de substâncias húmicas com B, fontes de Ca e formas de N mineral / Bruno Paulo Moschini. – Lavras : UFLA, 2015.

112 p.

Dissertação (mestrado acadêmico)—Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Carlos Alberto Silva.

Bibliografia.

1. complexos organo-metálicos. 2. ligantes orgânicos. 3. ácido húmico. 4. ácido fúlvico. 5. acúmulo de nutrientes. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

BRUNO PAULO MOSCHINI

**NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATEIRO EM FUNÇÃO DA
INTERAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COM B, FONTES DE Ca E
FORMAS DE N MINERAL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 10 de julho de 2015.

Dr. Leônidas Carrijo Azevedo Melo UFLA

Dr. Daniel Basilio Zandonadi EMBRAPA

Dr. Carlos Alberto Silva

Orientador

LAVRAS – MG

2015

Aos meus pais, Paulo Sérgio Moschini e
Vilma Donata Bedendo Moschini, pelo
apoio constante e amor incondicional.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao programa de pós-graduação do Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade concebida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 308592/2011-5 e 461935/2014-7), pela concessão da bolsa e apoio à pesquisa, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento de parte das ações de pesquisa.

Ao Prof. Carlos Alberto Silva, pela orientação, dedicação e ensinamentos, que foram de grande relevância para o meu crescimento profissional e para a realização deste trabalho.

Aos professores Fátima Maria de Souza Moreira, Maria Ligia de Souza Silva e Marco Aurélio Carbone Carneiro, pela paciência e compreensão mediante contratempos. Ao professor José Maria de Lima e à Bethânia e Livia, pela ajuda nas determinações analíticas realizadas nesse trabalho.

Aos professores Leônidas Carrijo Azevedo Melo (UFLA), Daniel Basilio Zandonadi (EMBRAPA), Marihus Altoé Baldotto (UFV), Valdemar Faquin (UFLA) por aceitarem gentilmente o convite para participarem e serem integrantes da banca examinadora desse trabalho.

À minha família, pela paciência, amor e por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida. Em especial aos meus pais, por sempre mostrarem amor e paciência em relação ao meu nervosismo, estresse e reclamações.

Aos amigos Ana Rosália Calixto, Laís Moretti Tomé, Nathalia Oliveira, Lucas Botelho, Lorena Rodrigues, Camila Assis, Daniel Peruchi, Alessandra Miceli, Camila Gigante, Daniele Souza, Filipe Franco, Moises Martins, Nayara

Marucci, Camila Rosa, pela amizade, por todos os momentos e orientação com palavras de apoio, ajuda, incentivo ou ainda pela simples companhia.

Aos amigos do Programa de Pós em Ciência do Solo, Luciane Sales, Linnajara Ferreira, Marisângela Barbosa e Soraya Marx Bamberg, por proporcionarem momentos de descontração, companheirismo e aprendizado.

À equipe do Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo (LEMOS): Rimena Domingues, Sara Dantas e Henrique Maluf e, principalmente, à Laura Melo, pela ajuda nos trabalhos, paciência e dedicação para ensinar.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo: Damy, Dirce, Dulce, Regina, Cristina, Gean, Pezão, Roberto, Lívia, Bethânia, Geila, Gilson e Humberto pela ajuda.

E aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho e na minha vida.

Muito Obrigado!

“Os grandes feitos são conseguidos não pela força, mas pela perseverança”.

Samuel Johnson

RESUMO GERAL

As substâncias húmicas (SHs) interagem com boro (B), complexam o cálcio (Ca) e regulam a absorção e eficiência de uso de formas de nitrogênio (N) mineral. Como consequência, podem assegurar maior absorção de nutrientes, produção de raízes e massa seca (MS) e maior desenvolvimento e produtividade das culturas. Objetivou-se avaliar os efeitos da interação de concentrações de ácido húmico (AH) com a disponibilidade de B, fontes de Ca e o uso conjunto de AH e ácido fúlvico (AF) com formas de N mineral sobre a nutrição e o crescimento do tomateiro. No primeiro capítulo, adotou-se esquema fatorial duplo de 2 (disponibilidade de B no solo) x 5 (concentrações de C-AH), em três repetições. Foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho de textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, que foram incubadas com concentrações de 0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹ C-AH e com duas concentrações de B, sem adição, para manter o teor atual de B, e a que visou elevar o teor de B no solo a 2 mg kg⁻¹. Foram analisadas a MS da parte aérea (PA), das raízes (R) e total (PA+R), bem como a relação de MS da R/PA e o acúmulo de B na PA. A disponibilidade de B é um fator que modula a produção de MS e há efeito de concentrações de C-AH sobre MS do tomateiro quando a disponibilidade de B em solo é alta. No segundo capítulo, adotou-se esquema fatorial 2 (fontes de Ca) x 5 (concentrações de C-AH), em três repetições. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com amostras de Latossolo Vermelho de textura média, que foram coletadas nas camadas de 0-10 e 20-40 cm. Os tratamentos testados consistiram da combinação de CaCO₃ e CaSO₄ com as concentrações de 0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹ de C-AH. Após o solo ser incubado com os referidos tratamentos, e cultivo de mudas de tomate, foram analisadas a MS da PA, R e total (PA+R). O efeito das concentrações de C-AH é mais pronunciado na MS das raízes e há maior MS total quando se utiliza o CaCO₃ em vez do CaSO₄. No terceiro capítulo, adotou-se esquema fatorial 3 (proporções de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ de 70:30; 50:50 e 30:70) x 5 (concentrações de C-AH e de C-AF), em três repetições. Amostras de areia lavada foram incubadas com concentrações de 0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹ C-AH e de C-AF, com suprimento de nutrientes via solução nutritiva. Após a areia ser incubada com os referidos tratamentos, mudas de tomate foram transplantadas e, após 35 dias de cultivo, foram analisadas a MS da PA, R e total (PA+R) e a composição da solução do meio de cultivo. A solução foi retirada no início do cultivo, para posterior análise. O efeito das concentrações de C-AH e de C-AF e as proporções de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ diferem entre si, sendo verificado que a predominância de N-NO₃⁻, em relação ao N-NH₄⁺, assegura maiores produções de MS de tomateiro.

Palavras-chave: complexos organo-metálicos, ligantes orgânicos, ácido húmico, ácido fúlvico, acúmulo de nutrientes.

GENERAL ABSTRACT

Humic substances (HSs) interact with boron (B), complex calcium (Ca) and regulate the absorption and efficiency of use of mineral N forms, as a result, they can ensure greater nutrient uptake, dry matter (DM) production, root growth, and increased crop yield. This study was carried out to evaluate the effects of the interaction of increasing concentrations of humic acid (HA) with the availability of B in soil, Ca sources and the concomitant use of HA and fulvic acid (FA) concentrations with forms and proportions of mineral N on the tomato nutrition and growth. In the first chapter, it was adopted a double factorial of 2 (availability of B in soil) x 5 (C-HA concentrations), using three replications. Rhodic and clayey Oxisol samples used incubated with concentrations of 0, 5, 10, 50 and 100 mg kg⁻¹ of C-AH, in combination with two concentrations of B in soil: without addition or B application of increase the content in soil to 2 mg kg⁻¹. We analyzed the DM of aerial part (AP), root (R) and total (AP+R) and the DM ratio of R/AP and the B accumulation in the AP. The availability of B in soil modulates the DM and regulates the effect of C-HA concentrations on tomato, mainly when B is in high availability in soil. In the second chapter, it was adopted a factorial of 2 (Ca sources) x 5 (C-HA concentrations), in three replications. The experiment was conducted in greenhouse conditions, using samples a Rhodic samples with a medium texture, sampled at 0-10 and 20-40 cm soil depth, and the treatments consisted of the combination of CaCO₃ and CaSO₄ with concentrations of 0, 5, 10, 50 and 100 mg kg⁻¹ of C-HA. After soil samples incubation with the treatments, tomato seedlings were transplanted analyzed in regard to AP, R and total DM (AP+R). The effect of C-HA concentrations is more pronounced in the root DM than in the AP and there are higher total DM when CaCO₃ is applied in soil in comparison to CaSO₄. In the third chapter, it was adopted a factorial 3 N-NO₃⁻: N-NH₄⁺ ratios: 70:30, 50:50 and 30:70, respectively, x 5 C-HA and C-FA concentrations, in three replications. Washed sand samples were incubated with the concentrations of 0, 5, 10, 50 and 100 mg kg⁻¹ of C-HA and C-FA, with nutrient supplying via nutrition solution. After the sand was incubated with these treatments, tomato seedlings were transplanted and, after 35 days of cultivation, DM was analyzed for AP, R and total (AP+R) and the chemical composition of the growth medium was analyzed. The sand solution was sampled at the beginning of the crop transplanting. The effect of concentrations of C-HA and C-FA and proportions of N-NO₃⁻, NH₄⁺ and N differ from each other. Prevalence of N-NO₃⁻ over N-NH₄⁺ implied in higher tomato DM than concentrations of HSs and other mineral N form proportions.

Keywords: organic-metallic complex, organic ligands, humic acid, fulvic acid, nutrient accumulation.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
SEGUNDA PARTE.....	22
2. CAPÍTULO 1 – NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATEIRO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ÁCIDO HÚMICO-BORO EM SOLOS CONTRASTANTES.....	23
2.1 RESUMO.....	23
2.2 ABSTRACT.....	24
2.3 INTRODUÇÃO.....	25
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
2.4.1 Amostras do solo.....	27
2.4.2 Determinações analíticas.....	27
2.4.3 Adubação corretiva.....	29
2.4.4 Condução do estudo e tratamentos.....	31
2.4.5 Análise foliar e avaliação de crescimento das plantas.....	34
2.4.6 Análise estatística.....	35
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
2.5.1 Interação ácido húmico-boro no solo.....	36
2.5.2 Produção de biomassa.....	37
2.5.3 Acúmulo de boro pelo tomateiro.....	44
2.6 CONCLUSÕES.....	47
2.7 AGRADECIMENTOS.....	47
2.8 REFERÊNCIAS.....	48

3. CAPÍTULO 2 – NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATEIRO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ÁCIDO HÚMICO-FONTES DE CÁLCIO.....	53
3.1 RESUMO.....	53
3.2 ABSTRACT.....	54
3.3 INTRODUÇÃO.....	55
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
3.6 CONCLUSÕES.....	74
3.7 AGRADECIMENTOS.....	74
3.8 REFERÊNCIAS.....	75
4. CAPÍTULO 3 - NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATEIRO: EFEITO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E FORMAS DE N MINERAL.....	80
4.1 RESUMO.....	80
4.2 ABSTRACT.....	81
4.3 INTRODUÇÃO.....	82
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	86
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
4.5.1 Atributos da solução do meio de cultivo.....	90
4.5.2 Produção de biomassa.....	97
4.6 CONCLUSÕES.....	103
4.7 AGRADECIMENTOS.....	104
4.8 REFERÊNCIAS.....	104
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110

PRIMEIRA PARTE

1.INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas (SHs) regulam o crescimento e desenvolvimento das plantas, interferindo em processos metabólicos e fisiológicos e na absorção e eficiência de uso de nutrientes pelas plantas (CHEN & AVAID, 1990; NARDI et al., 2002; ZANDONADI et al., 2014). Os ácidos húmicos (AHs) são frações húmicas de maior massa molar que os ácidos fúlvicos (AFs) e ambas as frações húmicas podem ser extraídas de diferentes fontes orgânicas, como lodo de esgoto, compostos orgânicos, Leonardita, turfas, entre outros. As SHs agem diretamente sobre as plantas, por estimularem diretamente vários processos fisiológicos e metabólicos e, indiretamente, por regularem várias características do solo (CHEN & AVAID, 1990; STEVENSON, 1994; NARDI et al., 2002).

Os AHs interferem no metabolismo vegetal, por afetarem as características do solo (aumento da capacidade de troca catiônica, formação de complexos organo-metálicos, aumento da absorção de nutrientes e melhoria da estrutura do solo), ou diretamente, por aumentarem a produtividade e qualidade dos produtos colhidos e estimular vários processos fisiológicos e bioquímicos que promovem a absorção de nutrientes e o crescimento vegetal (NARDI et al., 2002; CANELLAS et al., 2008; AGUIAR et al., 2009).

Os efeitos mais relatados dos AHs nas plantas estão relacionados com o maior crescimento do sistema radicular, na medida em que estimulam a formação de raízes laterais, raízes adventícias, alongamento celular e formação de pelos radiculares (BALDOTTO et al., 2011; JINDO et al., 2012; MORA et al., 2012), sendo esses efeitos dependentes da concentração de AH (KAZEMI, 2014). Façanha et al. (2002) relataram um possível mecanismo de ação para o estímulo e desenvolvimento do sistema radicular, que é o estímulo à maior atividade das H^+ -ATPases das membranas plasmáticas como um dos principais alvos moleculares envolvidos na ação dos AHs sobre o crescimento das plantas; essa enzima é o principal sistema de transporte ativo de H^+ da membrana

plasmática e exerce forte efeito sobre a regulação do pH do apoplasto; a acidificação do apoplasto é condição necessária para regular a plasticidade da parede celular, determinando maior expansão da célula vegetal (RAYLE & CLELAND, 1992).

O efeito dos AHs sobre as plantas são variáveis e dependem da espécie, do órgão e idade da planta, das substâncias húmicas utilizadas, da concentração, do grau de purificação do material e das condições que foram aplicadas e manejadas (SILVA et al., 1999; AGUIAR et al., 2009; LIMA et al. 2011; ROSE et al., 2014). As ações da aplicação de AH e de outras frações húmicas sobre o crescimento e a nutrição vegetal têm sido amplamente relatadas (PIRES et al., 2009; JANNIN et al., 2012; SARWAR et al., 2012; AMAN & RAB, 2013). Entretanto, poucos são os estudos em que se utilizam solos com variações em propriedades-chave à resposta ao uso de SHs pelas plantas, como é o caso da MO, havendo assim mais estudos voltados com uso de meios estéreis de cultivo ou com soluções hidropônicas (ZANDONADI et al., 2014). No Brasil, trabalhos que investigaram a interação de concentrações de SHs com a disponibilidade de B, fontes de Ca e formas de N mineral e seus efeitos na nutrição e crescimento do tomateiro, ainda são incipientes, sendo a maioria dos estudos realizados em solução nutritiva (LIMA et al., 2011; SILVA et al. 2011). Sabidamente, o Ca e B têm fluxo ascendente na planta e sua aquisição e eficiência de uso é crucial para a produção do tomateiro, tendo em vista que é preciso que o dreno fruto tenha todo o seu requerimento nutricional em Ca e B atendido (PLESE et al., 1998), e as SHs podem otimizar esse suprimento dos nutrientes (DAVID et al., 1994).

As substâncias húmicas apresentam efeito sobre a absorção de nutrientes pelas plantas, principalmente devido às interações destes compostos com os sítios de absorção da membrana celular (CHEN & AVAID, 1990; NARDI et al., 2002). Essa evidência abre uma nova perspectiva em relação ao efeito de substâncias húmicas sobre as culturas, mostrando que é possível uma ação direta

destes compostos sobre os mecanismos fisiológicos da planta (LEE & BARTLETT, 1976; MARSCHNER et al., 1986, ZANDONADI et al., 2014). Vale ressaltar que os solos têm teores de MO e composição química diferenciadas das frações orgânicas neles presentes, e isso pode determinar o padrão de resposta ou efeito das concentrações de AH. Assim, em solos ricos em MO, a presença de frações húmicas nativas poderia anular o efeito das SHs adicionadas pelo uso de produtos comerciais.

É possível antever que a textura do solo e o teor de MO, mais a disponibilidade de B, são importantes atributos que regulam o crescimento do tomateiro. Nesse contexto, a título de hipótese, a aplicação de C-AH exerce efeito mais pronunciado nas raízes do que na parte aérea, por esse órgão da planta estar mais exposto ao efeito do AH aplicado no solo. É possível antecipar que as repostas às SHs dependam também da massa molar da fração húmica, de modo que se antecipa maior bioatividade do AF em relação ao AH. O CaCO_3 , além de suprir Ca, eleva o pH e neutraliza o alumínio tóxico, afetando outros atributos do solo e da planta. O CaSO_4 condiciona o solo, supre Ca e elimina o alumínio tóxico, que se liga aos íons sulfatos, além disso estimula o crescimento de raízes. No subsolo, a aplicação conjunta de CaSO_4 e de AH pode resultar em interação positiva para as plantas; o AH pode otimizar o uso dos nutrientes que é baixo nessas camadas inferiores, mas é mais provável que a planta cresça mais em superfície do que no subsolo, com o uso de CaCO_3 em vez CaSO_4 . Pode-se antecipar que a formação de complexos organo-Ca no solo, tanto com o uso de CaCO_3 , quanto de CaSO_4 pode assegurar ao tomate maior absorção de Ca nas raízes e maior suprimento e acúmulo do nutriente na parte aérea. Além da quantidade de N disponível, um fator que pode alterar o crescimento das plantas é a proporção de N-NO_3^- e N-NH_4^+ presente no solo. O AH pode interagir com as formas de N mineral, principalmente com o N-NO_3^- , de forma sinérgica, de modo que a prevalência do N-NO_3^- em relação ao N-NH_4^+ , com uso simultâneo

tanto de AF quanto de AH, pode assegurar maior biomassa do tomateiro e maior acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea. Assim, todas essas hipóteses são relevantes para serem testadas em condições de solos do Brasil, como base para se criar as premissas que qualifiquem as SHs comerciais como produtos de alto valor agrônômico para uso nas lavouras.

Objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de SHs (AH e AF) e de suas interações com a disponibilidade de B, fontes de Ca e proporções de formas de N mineral sobre a nutrição e o crescimento do tomateiro (*Solanum Lycopersicum*), cultivado em casa de vegetação, com solos de diferentes texturas, teores de MO e em areia lavada, com suprimento de nutrientes via solução nutritiva. Com essa perspectiva, são objetivos específicos deste estudo avaliar:

- 1) O efeito de concentrações de C-AH, em solos com disponibilidade baixa e adequada de B, sobre a nutrição e o crescimento do tomateiro;
- 2) A influência de concentrações de C-AH e de sua interação com fontes de Ca (CaSO_4 e CaCO_3) sobre a nutrição e produção de biomassa do tomateiro;
- 3) A interação de concentrações de C-AH e de C-AF com proporções de N-NO_3^- e de N-NH_4^+ sobre a composição da solução do solo, acúmulo de nutrientes e crescimento do tomateiro.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, N.O.; CANELLAS, L.P.; DOBBSS, L.B.; ZANDONADI, D.B.; OLIVARES, F.L., FAÇANHA, A.R Distribuição de massa molecular de ácidos húmicos e promoção do crescimento radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1613-23, nov./dez. 2009.

AMAN, S. & RAB, A. Response of tomato to nitrogen levels with or without humic acid. **Sarhad Journal of Agriculture**, Peshawar, v.29, n.2, p.181-186,2013.

BALDOTTO, M.A.; ROSA, R.C.C.; CANELLAS, L.P.; RANGEL, T.P.; SALOMÃO, M.S.M.B.; REZENDE, C.E. Capacidade de oxidação como índice de estabilidade da matéria orgânica de sedimentos de acordo com gradiente fluvial-estuarino do Rio Paraíba do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v.34, n.6, p.973-978, 2011.

CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBSS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELOSO, A.C.X.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P., editores. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2^a.ed. Porto Alegre: Metrópole; 2008. p.45-53.

CHEN, Y. & AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In: McCARTHY, P., editor. **Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings**. Chicago: CAB; 1990. p.161-87.

DAVID, P.P.; NELSON, P.V.; SANDERS, D.C. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.17, n.1, p.173-184. 1994.

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**, Brasília, v.37, n.9, p.1301-1310, set. 2002.

JANNIN, L.; ARKOUN, M.; OURRY, A.; LAÎNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; SAN FRANCISCO, S.; BAIGORRI, R.; CRUZ, F.; HOUDUSSEF, F.; GUARCIA-MINA, J.M; YVIN, JC.; ETIENNE, P. Microarray analysis of humic acid effects on *Brassica napus* growth:

Involvement of N, C and S metabolisms. **Plant and soil**, Crawley, v.359, n.1-2, p.297-319, oct. 2012.

JINDO, K.; MARTIM, A.S.; NAVARRO, E.C.; PÉREZ-ALFOCCA, F.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; CANELLAS, L.P. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. **Plant and Soil**, Crawley, v.353, n.1-2, p.209-220. 2012.

KAZEMI, M. Effect foliar application of humic acid and calcium chloride on tomato growth. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, India, v.3, n.3, p.41-46, 2014.

LEE, Y.S. & BARLETT, R.J. Stimulation of plant growth by humic substances. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 876-879. 1976.

LIMA, A.A.; ALVARENGA, M.A.R.; RODRIGUES, L.; CARVALHO, J.G. Leaf nutrient content and yield of tomato grown in different substrates and doses of humic acids. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p.63-9, jan./mar. 2011.

MARSCHENER, H.; ROMHELD, V.; KISSEL, M. Different strategies of higher plants in mobilization and uptake of iron. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.9, n.3-7, p.695-714. 1986.

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.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.1527-36. 2002.

PIRES, C.R.F.; LIMA, L.C.O.; VILAS BOAS, E.V.B.; ALVES, R.R. Qualidade textural de tomates cultivados em substratos orgânicos submetidos à aplicação de substâncias húmicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1467-1472, nov. 2009.

PLESE, L.P.M.; TIRITAN, C.S.; YASSUDA, E.I.; PROCHNOW, L.I.; CORRENTE, J.E.; MELLO, S.C. Efeitos das aplicações de cálcio e boro na ocorrência de podridão apical e produção de tomate em estufa. **Scientia agricola**, Piracicaba, v.55, n.1, p.144-148, jan./abr. 1998

RAYLE, D.L. & CLELAND, R.E. The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well. **Plant Physiology**, v.99, n.4, p.1271-1274, 1992.

ROSE, M.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.

SARWAR, M.; AKHTAR, M.E.; HYDER, S.I.; KHAN, M.Z. Effect of bio stimulant (humic acid) on yield, phosphorus, potassium and boron use efficiency in peas. **Persian Gulf Crop Protection**, Dezful, v.1, n.4, p.11-16, mar. 2012.

SILVA, A.C.; CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; DOBBSS, L.B.; AGUIAR, N.O.; FRADE, D.O.R.; REZENDE, C.E.; PERES, L.E.P. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1609-1617. 2011.

SILVA, R.M.; JABLONSKI, A.; SIEDWERDT, L.; SLVEIRA JUNIOR, P. Crescimento da parte aérea e do sistema radicular do milho cultivado em solução nutritiva adicionada de substâncias húmicas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.5, n.2, p.101-10, mai./ago. 1999.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2 ed. John Wiley & Sons, Nova Iorque, 1994.

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**, Brasília, v.32,n.1, p.14-20, jan./mar. 2014.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

*Artigos nas normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS) e da Revista Ciência Rural.

2. CAPÍTULO 1 - NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATEIRO EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ÁCIDO HÚMICO-BORO EM SOLOS CONTRASTANTES ⁽¹⁾

Bruno Paulo Moschini ^{(2)*}, Carlos Alberto Silva ⁽³⁾

2.1 RESUMO

O ácido húmico (AH) interage com o boro (B), afetando a sua disponibilidade e absorção pelo tomateiro. O efeito dessa interação depende do solo, principalmente do seu teor de matéria orgânica (MO) e pH, que regulam a intensidade da interação ácido húmico-boro. Objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) e de suas interações com o B sobre a nutrição, crescimento da parte aérea e raízes do tomateiro cultivado em amostras de Latossolo Vermelho de textura argilosa e Latossolo Vermelho Amarelo de textura média. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo 2x5, compreendendo duas concentrações de B, sem adição, para manter o teor atual de B, e a que visou elevar o teor de B no solo a 2 mg kg⁻¹ no solo, combinadas com cinco concentrações de C-AH (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹), em três repetições. Foram analisadas a massa seca (MS) da parte aérea (PA), das raízes (R) e total (PA+R), bem como a relação de massas da R/PA do tomateiro. A textura e o teor de MO são fatores que modulam a produção de MS e o efeito das concentrações de C-AH sobre o tomateiro. Independentemente do solo avaliado, na ausência de adição de boro,

⁽¹⁾ Trabalho apresentado como parte das exigências do curso mestrado do programa de pós-graduação em ciência do solo da Universidade Federal de Lavras.

⁽²⁾ Mestrando em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 - Lavras - MG, E-mail: bruno_moschini@hotmail.com.

⁽³⁾ Bolsista do CNPq e Professor associado do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 - Lavras - MG, E-mail: csilva@dcs.ufla.br.

há menor crescimento e o acréscimo na concentração de C-AH reduz a produção de biomassa. Com a adição e aumento do B no solo, há acréscimo na MS, principalmente de raízes, à medida que aumentam-se as concentrações de C-AH.

Palavras-chave: complexos organo-metálicos, matéria orgânica, sistema radicular; acúmulo de nutrientes, adsorção.

2.2 ABSTRACT: TOMATO NUTRITION AND GROWTH AS RELATED TO THE HUMIC ACID-BORON INTERACTION IN CONTRASTING SOILS

The humic acid (HA) interacts with boron, affecting its availability and uptake by tomato plants. The effect of this interaction depends on the soil, and especially relies on its content of organic matter (OM), which regulates the intensity of humic acid-boron interaction. The objective of this study was to evaluate the effect of humic acid-C rates (C-HA) and their interaction with the availability of boron on the nutrition, shoot and root growth of tomato plants grown in samples of a clayey and medium texture Oxisols. The experimental design was a completely randomized double, in a 2x5 factorial scheme, comprising two levels of available B, without addition, to maintain the current level of available B in soil, and with the addition of B aiming to increase its level in soil to 2 mg kg⁻¹, combined with five concentrations of C-AH (0, 5, 10, 50 and 100 mg kg⁻¹ of soil), in three replicates. Shoot (S) and root (R), and total (S+R) dry masses (DM) of tomato were analyzed as well as the R/S tomato biomass ratio. Soil texture and OM content are factors that modulate the dry matter production and the effect of C-HA concentrations on tomato growth. Regardless of the evaluated soil, in the absence of boron addition, there is less growth and an increase in C-HA rate reduces the production of tomato biomass. Addition of

boron in soils increase tomato dry matter, mainly of the roots, as the concentrations of C-HA are increased.

keywords: *organic-metallic complexes, organic matter, root system; nutrient accumulation, adsorption.*

2.3 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de B para as plantas depende de sua concentração na solução do solo e dos processos associados à precipitação, lixiviação e interação do nutriente com os coloides orgânicos e minerais do solo (Goldberg, 1997). No solo, há adsorção de B aos óxidos de ferro e de alumínio, à MO e às suas frações húmicas, de modo que adsorção do nutriente aumenta com o acréscimo do pH e com a quantidade e tipo de MO presente no solo (Goldberg, 1985). Nos solos, a maior parte do B disponível no solo está ligada à fração orgânica, que retém o nutriente em ligações de alta energia (Rosolem e Bís caro, 2007). Com o aumento do teor de MO, há maior capacidade do solo em adsorver B, mostrando que as frações orgânicas constituem-se em sítios de retenção do elemento químico (Azevedo et al., 2001).

Em relação à interação ácido húmico-boro, Lemarchand et al. (2005) relataram que os íons H^+ ligados às estruturas dos AHs em solos ácidos (pH < 6,5) retém grande quantidade de B. No entanto, o papel do AH na retenção de B nos solos parece ser altamente dependente do tipo de solo envolvido. Assim é provável que a contribuição do AH para a adsorção de B seja menor quando solos ácidos estão envolvidos (Gu e Lowe, 1990). Em solos com pH na faixa de 7,0, com baixos teores de MO (< 5 %), a contribuição do AH para a adsorção de B provavelmente é menor, especialmente quando significativas quantidades de argila e sesquióxidos estão presentes (Mezuman e Keren, 1981). Por

consequência, segundo Evans (1987), somente em solos com altos teores de MO e pH elevado (faixa alcalina), o papel do AH pode ser dominante, com maior adsorção de B pelos óxidos e pela MO. Assim, o pH do solo, que pode ser alterado pelas concentrações de C-AH – natureza alcalina predominantemente – pode ter um efeito positivo ou antagônico da fração húmica sobre a dinâmica e disponibilidade do B no solo.

O uso de AH via foliar, segundo Yildirim (2007), aumenta o crescimento e a produtividade do tomateiro. Há efeito também dos AHs sobre a nutrição das plantas, de modo que a aplicação de AH resulta em incrementos nos teores e conteúdo de macro e micronutrientes. O efeito do AH sobre a disponibilidade de macro e micronutrientes no solo e no crescimento vegetal de mudas de tomate e berinjela foi avaliado por Dursun et al. (2002), que utilizaram concentrações de 50, 100, 150 e 200 mL L⁻¹ de AH em solução hidropônica. Esses autores verificaram que a aplicação do AH elevou o número, largura e comprimento das folhas; comprimento, largura, massa fresca e massa seca de caules; comprimento, massa fresca e massa seca de raízes de ambas as espécies e promoveu aumentos significativos nos teores de nitrogênio e cálcio. A utilização de humato comercial, proveniente de Leonardita, aplicado via líquida em substrato, utilizando concentrações de 20-80 L ha⁻¹ promoveu o aumento no teor de ferro, cobre e zinco nas folhas de tomate e redução nos teores de manganês e boro (Lima et al., 2011).

As ações da aplicação de AH e de outras frações orgânicas sobre o crescimento e a nutrição vegetal têm sido amplamente relatadas (Pires et al., 2009; Jannin et al., 2012; Sarwar et al., 2012; Aman e Rab, 2013). A textura do solo e o teor de MO, mais a disponibilidade de B, são importantes atributos que regulam o crescimento do tomateiro. Nesse contexto, a título de hipótese, é possível antever que a aplicação de C-AH exerça efeito mais pronunciado nas raízes do que na parte aérea, por esse órgão da planta estar mais exposto ao

efeito do AH aplicado no solo. Já as respostas para a parte aérea dependem de diversas variáveis, tais como a espécie vegetal, a variedade da planta, a origem e os grupos funcionais presentes no AH e sua reatividade e interação com o B. No Brasil, trabalhos que investigaram a interação de concentrações de AH com o B, e seus efeitos na nutrição e crescimento do tomateiro, ainda são incipientes, sendo a maioria dos estudos realizados em solução nutritiva (Lima et al., 2011; Baldotto e Baldotto, 2014). Objetivou-se avaliar a nutrição e crescimento do tomateiro em função das concentrações de C-AH e de suas interações com o B em solos contrastantes quanto à textura e teor de MO.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Amostras do solo

O tomateiro foi cultivado em dois solos com características contrastantes e com ampla faixa na variação dos teores de argila, MO e outros atributos químicos, sendo elencados para estudo o Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (LVA) e Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV) (Embrapa, 2006), que foram coletados no estado de Minas Gerais, nos municípios de Itumirim e Lavras, respectivamente. Logo após a coleta, os solos foram acondicionados em sacos plásticos e separados conforme o ponto de amostragem, devidamente identificados e processados no Laboratório de Estudos em Matéria Orgânica (LEMOS) do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os solos foram secos ao ar, destorroados, homogeneizados e peneirados em peneira com malha de 2 mm de diâmetro.

2.4.2 Determinações analíticas

Antes das aplicações dos tratamentos, foram realizadas as análises dos atributos de fertilidade do solo, bem como foi determinada a textura dos solos, com a finalidade de caracterizá-los, visando também definir a necessidade de calagem e a adubação adequada para cultivo do tomateiro. A análise textural foi feita segundo método de Bouyoucos (Embrapa, 1997). Foram avaliados também o pH em água, CTC a pH 7,0, CTC efetiva e os teores disponíveis de K, P, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu, B, além de outros atributos de fertilidade do solo, como saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), fósforo remanescente (P-rem), carbono elementar (C %) e matéria orgânica (MO). Dados pertinentes às características das amostras de solos utilizadas no cultivo estão apresentados no **Quadro 1**.

Quadro 1 - Características químicas e textura das amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (LVA) e Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV), sob condições naturais.

Atributos	LVA	LV
pH em água	5,1	4,3
C (%)	0,6	4,6
K (mg dm ⁻³)	43	43
P (mg dm ⁻³)	0,1	2
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,2
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,1
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	1,7
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,6	11,8
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,3	0,4
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	0,4	2,1
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	2	12,2
V (%)	17	3
m (%)	28	81
MO (dag kg ⁻¹)	0,7	6,6
B (mg dm ⁻³)	0,1	0,1
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,2	0,8
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	11,4	93,3
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,8	7,5
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,6	1,2
S-sulfato (mg dm ⁻³)	16,3	10,1
Argila (dag kg ⁻¹)	27	71
Silte (dag kg ⁻¹)	5	13
Areia (dag kg ⁻¹)	68	16

C: Carbono Total; Al: Alumínio trocável; H+Al: Acidez Potencial; SB: Soma de Bases; V: Saturação por bases; m: Saturação por Alumínio; M.O.: Matéria orgânica.

2.4.3 Adubação corretiva

As adubações de correção do solo indicadas para ambiente controlado foram realizadas de acordo com Novais et al. (1991), a partir da caracterização química inicial (**Quadro 1**) dos solos. Com base na análise química inicial do solo, foram aplicados o carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3), respectivamente, na proporção de 3:1, visando elevar a saturação por bases a 65 %. Após a mistura com o corretivo de acidez, os solos foram incubados por 20 dias, mantendo-se, durante esse período, a umidade próxima de 70 % da capacidade de campo. As adubações com N, P, K, S e micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn e B) foram realizadas após a incubação do solo com CaCO_3 e MgCO_3 .

A adubação com P foi realizada utilizando-se duas fontes do nutriente, sendo 13 % do P suprido com fosfato de potássio (K_3PO_4) e 87 % com fosfato de amônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), visando adicionar 200 mg kg^{-1} de P no LVA e 400 mg kg^{-1} de P no LV. A adubação com K foi realizada em ambos os solos visando adicionar 300 mg kg^{-1} de K, sendo adicionados no plantio 100 mg kg^{-1} , com a adição de $0,21 \text{ g vaso}^{-1}$ de fosfato de potássio (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 [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], visando adicionar 50 mg kg^{-1} de S. A adubação com N visou a adição de 300 mg kg^{-1} de N, sendo adicionados no plantio $164,92 \text{ mg kg}^{-1}$ de N no LVA e $246,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de N no LV, com a adição de $0,99 \text{ g vaso}^{-1}$ e $1,61 \text{ g vaso}^{-1}$ de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, respectivamente, e $0,24 \text{ g vaso}^{-1}$ de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 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 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), respectivamente.

2.4.4 Condução do estudo e tratamentos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo (DCS) na UFPA, município de Lavras – MG, localizado nas coordenadas geográficas de 21°14'30" de latitude Sul e 45°00'10" de longitude Oeste (Brasil, 1992). O clima é caracterizado por ter temperatura e precipitação média de 20,4 °C e 1.460 mm, respectivamente, podendo ser classificado como tropical cwa ou mesotérmico com verão chuvoso e inverso seco (Dantas et al., 2007). Foram avaliados os efeitos de concentrações de C-AH e suas interações com concentrações de B em solos com diferentes características sobre a nutrição e biomassa da parte aérea e das raízes do tomateiro, no período de agosto a outubro de 2014. O C-AH utilizado continha 37 % de C e foi extraído de Leonardita australiana, com o uso de solução de hidróxido de potássio (KOH). Dados das características físico-químicas do C-AH encontram-se no **Quadro 2**.

Quadro 2 - Características químicas e físico-químicas do ácido húmico extraído de Leonardita em função de emprego de solução de KOH.

Atributos	C-AH
pH em água	9,7
CE (mS cm ⁻¹)	10,2
C (%)	37,2
N (g kg ⁻¹)	6,0
P (g kg ⁻¹)	0,1
K (g kg ⁻¹)	42,8
Ca (g kg ⁻¹)	0,7
Mg (g kg ⁻¹)	2,3
S (g kg ⁻¹)	4,1
B (mg kg ⁻¹)	84,7
Cu (mg kg ⁻¹)	5,9
Fe (mg kg ⁻¹)	2560
Mn (mg kg ⁻¹)	20,3
Zn (mg kg ⁻¹)	75,3

CE: Condutividade Elétrica; N: Nitrogênio total.

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 vasos plásticos, mantendo-se duas plantas por vaso, que foi preenchido com 1,2 kg de solo cada, totalizando 72 kg de solo para a condução do experimento, na medida em que foram utilizados 60 vasos de cultivo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo 2x5, compreendendo duas concentrações de B: sem adição do nutriente, para manter o teor atual de B disponível nos solos, e a adubação com o nutriente que visou elevar o teor de B a 2 mg kg⁻¹ no solo, combinadas com cinco concentrações de C-AH (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹ de

solo), em três repetições. O material húmico foi adicionado em estado sólido e misturado à massa de solo de cada vaso de cultivo.

Como fonte de B, foi utilizado o ácido bórico (H_3BO_3) p.a., sendo adicionado em cada vaso 0,013g de H_3BO_3 , quando pertinente (tratamento com adição de B). Os resultados das análises químicas das amostras dos solos coletadas após incubação com o corretivo de acidez e aplicação dos tratamentos de C-AH e B, no início do cultivo do tomateiro, são apresentados no **Quadro 3**. Para avaliar as variações na disponibilidade de B no solo foi utilizado o método de extração em água quente; aproximadamente 20 g de solo foram misturadas a 0,5 g de carvão ativado. A seguir, foram adicionados 40 mL de água; essas soluções foram aquecidas em micro-ondas com potência máxima. Após o resfriamento, as amostras foram filtradas e receberam 1,0 mL da solução de $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e o teor de B foi determinado (Abreu et al., 1994).

Quadro 3 - Características químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (LVA) e Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV) após a aplicação dos tratamentos e adição C-AH e boro (B), no início do cultivo do tomateiro. Os dados apresentados representam a média dos atributos para as concentrações de C-AH, tendo em vista que o material húmico não exerceu influência sobre os atributos mostrados a seguir.

Atributos	Solo			
	-----LV-----		-----LVA-----	
	Sem B	Com B	Sem B	Com B
pH em água	6,1	6,2	7,1	7,1
K (mg dm ⁻³)	178	206	164	170
P (mg dm ⁻³)	148	251	126	148
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,8	4,3	0,9	0,7
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,5	1,5	0,3	0,3
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,1	0	0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4	4,1	1,8	1,9
SB (cmol _c dm ⁻³)	6,8	6,3	1,6	1,4
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	6,9	6,4	1,6	1,4
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,8	10,5	3,4	3,3
V (%)	63,2	60,6	46,7	43,6
m (%)	1,4	1,2	0	0
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	13,2	28,5	10,5	16,5
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	76,4	61,8	11,1	11,2
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	22,3	29,2	7,2	9,7
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	3,5	3,7	3,2	4,8

2.4.5 Análise foliar e avaliação de crescimento de plantas

As plantas foram tutoradas com o auxílio de fitilhos e mantidas verticalmente, devido ao seu hábito de crescimento ramificado. A irrigação foi feita diariamente e ajustada de acordo com o estágio de desenvolvimento da

cultura e das condições climáticas com água deionizada. Após 30 dias de cultivo, as plantas foram colhidas, lavadas em água destilada e subdivididas em parte aérea (PA) e raízes (R), posteriormente, foram acondicionadas em sacos de papel do tipo *Kraft* e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, a 65-70 °C, até peso constante, conforme descrito por Jones Junior et al. (1991). Foi analisada a MS da PA e das R e total (PA+R) do tomateiro, bem como a relação R/PA. As determinações dos pesos de MS foram efetuadas a partir do material seco, com o auxílio de uma balança de precisão e o resultado expresso em gramas de biomassa por vaso (g vaso^{-1}).

Após a determinação dos pesos de MS, foi realizada a moagem do material vegetal em moinho Willey com peneira de 20 mesh. As amostras moídas foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados, para análise dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn e B nos tecidos vegetais, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). As determinações de nutrientes em tecido do tomateiro foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA.

2.4.6 Análise estatística

Os efeitos dos diferentes tratamentos sobre os atributos analisados foram verificados a partir da análise de variância e, quando significativos, foram submetidos à análise de regressão, em função de testes feitos para o efeito de concentrações de C-AH e de suas interações, com a adição ou não de B, para cada solo em particular, ao nível de 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional SISVAR (Ferreira, 2011).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Interação ácido húmico-boro no solo

As concentrações de C-AH regularam os teores de B disponíveis em solo (**Figura 1**). Nos dois solos, o aumento da concentração de C-AH diminui a disponibilidade de B, quando há inclusão de B na adubação. Com o acréscimo na concentração de C-AH, há redução nos teores de B de cerca de 1,9 para 1,2 mg kg⁻¹, portanto, queda nos teores do nutriente de cerca de 40 %. A extração de B do solo é feita com água quente e um dos motivos que pode explicar a redução da disponibilidade de B no solo pode ser a natureza do complexo ácido húmico-boro formado e a sua solubilidade em água. De qualquer forma, é preciso investigar se a redução do B em solo, pela sua provável complexação ao AH adicionado, implica em menor absorção do nutriente pelo tomateiro, e se a magnitude desse possível efeito negativo é maior no solo com menor teor de argila, onde a interação negativa de ácido húmico-boro é mais pronunciada.

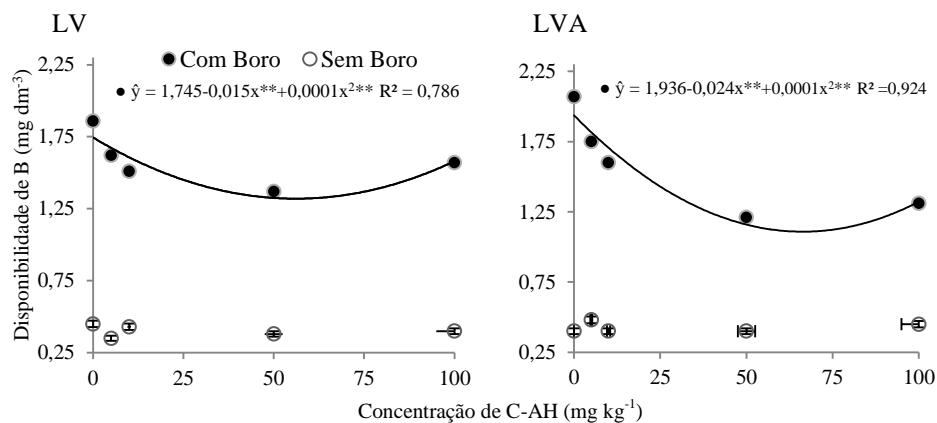


Figura 1 - Disponibilidade de boro (B) no Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV) e no Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (LVA), em função da combinação de concentrações de C-AH com a adição ou não de boro.

2.5.2 Produção de biomassa

A produção de MS no LV é afetada pela adição ou não de B e pelas concentrações de C-AH (**Figura 2**). Há efeito da interação das concentrações de C-AH e B sobre a relação R/PA, de modo que todos esses resultados indicam que a biomassa do tomateiro, em função da disponibilidade de B no solo, responde de modo diferente às concentrações de C-AH. Quando há maior disponibilidade de B em solo, o aumento das concentrações de C-AH acresce a produção de MS total e, principalmente, a da parte aérea do tomateiro, no LV. A produção das MS de raízes responde de modo diferenciado, ou seja, reduz-se com o aumento da concentração de C-AH, mas volta a crescer, quando o C-AH adicionado ao solo é maior que 50 mg kg^{-1} , quando há maior disponibilidade de B no solo. Por meio da equação de regressão ($\hat{y} = 1,895 + 0,025x^{**} - 0,0003x^2^{**}$ $R^2 = 0,92$), estimou-se a produção máxima de MS de raízes ($2,45 \text{ g vaso}^{-1}$) no tratamento sem adição de B, sendo essa obtida quando foram utilizados $41,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de C-AH.

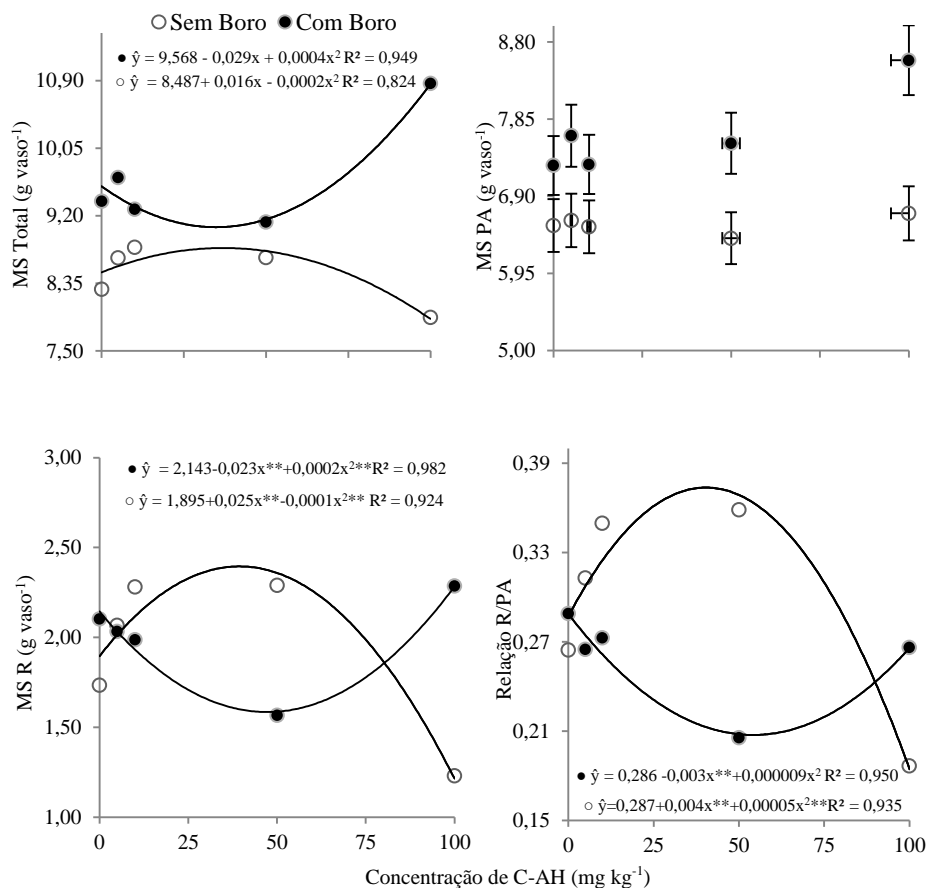


Figura 2 - Acúmulo de massa seca (MS) total, parte aérea (PA), raízes (R) e relação R/PA do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV), em função da combinação de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com a adição ou não de boro (B).

A relação de biomassas da R/PA é um atributo muito plástico e responsivo aos tratamentos que afetam a raiz. Assim, é bastante provável que, quando as condições de crescimento de raízes em solo são ótimas, é comum que a relação R/PA seja mínima, pois as plantas gastam menos fotoassimilados para desenvolver raízes e absorver nutrientes e água, direcionando os produtos da fotossíntese para o crescimento da parte aérea e, em sequência, para produzir

frutos. Assim, a MS de raízes não determina a sua funcionalidade, ao contrário, em situações onde há deficiências múltiplas de nutrientes em solo, é comum que a planta direcione fotoassimilados para as raízes, para assegurar as quantidades necessárias de nutrientes a atenderem as suas funções fisiológicas e bioquímicas (Paiva e oliveira, 2006).

Na ausência de B, o crescimento do tomateiro é menor no LV, para todas as concentrações de C-AH, em comparação às amostras do LV onde há mais B disponível no solo. Existe uma concentração ótima de C-AH para o máximo crescimento da planta (MS total), que é metade ($33,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de C-AH) da concentração ótima verificada para plantas crescidas em solo com mais B disponível. Esse crescimento máximo da planta se explica mais pelo aumento na produção de MS de raízes do que pelo acréscimo na produção de MS da parte aérea do tomateiro. A maior ou menor disponibilidade de B em solo determina, assim, efeitos diferenciados das concentrações de C-AH sobre o crescimento do tomateiro.

Independentemente da fonte de MO e de substância húmica utilizada, geralmente, observa-se que concentrações mais baixas de AH estimulam o crescimento das plantas, ao passo que concentrações maiores diminuem o crescimento das culturas (Baldotto e Baldotto, 2014). De acordo com Chen et al. (2004), as maiores respostas de crescimento das plantas é observada entre as concentrações de $5-40 \text{ mg kg}^{-1}$ de SHs, com um máximo crescimento a cerca de 20 mg kg^{-1} de SHs, seguido por um aumento mais gradual de crescimento de $40-200 \text{ mg kg}^{-1}$ SHs. Chen e Aviad (1990) compilaram resultados envolvendo o desenvolvimento vegetal em relação à aplicação de SHs e concluíram que AH e AF podem estimular o crescimento de diferentes plantas, quando aplicados via foliar, em concentrações de $50-300 \text{ mg L}^{-1}$, ou quando aplicados em soluções de nutrientes, em concentrações de $25-300 \text{ mg L}^{-1}$. Os autores ainda afirmam que o

estímulo ao crescimento, geralmente, correlaciona-se às respostas das raízes, independentemente do modo de aplicação.

Atiyeh et al. (2002) analisaram a influência dos AH derivados de vermicompostos no crescimento e na biomassa de plantas e verificaram que concentrações na faixa de 500-1.000 mg kg⁻¹ de AH diminuíram significativamente o crescimento das plantas. Ayuso et al. (1996) utilizaram diversos materiais orgânicos para avaliar o efeito no crescimento e absorção de nutrientes em cevada e constataram que concentrações de 2 e 5 mg L⁻¹ de AH favoreceram o crescimento da parte aérea e o desenvolvimento ideal das raízes e atribuíram a queda no rendimento da cevada às concentrações mais elevadas de SHs (100 mg L⁻¹ de AH).

O maior acúmulo de MS de raízes nos tratamentos com B e sua interação com as concentrações de C-AH mostra a capacidade dos AHs em estimular diretamente vários processos fisiológicos que promovem o crescimento vegetal, especialmente do sistema radicular, sendo que os efeitos dessa substância no crescimento das plantas podem estar relacionados com efeitos diretos e/ou efeitos indiretos, por atuarem no meio de crescimento (Nardi et al., 2002, Mora et al., 2012). Além disso, verificou-se que as menores concentrações de C-AH promoveram raízes altamente ramificadas, resultando em elevada área de superfície radicular. O maior desenvolvimento e crescimento do sistema radicular aumentam as condições da planta em explorar maior volume de solo, facilitando a adaptação em ambientes de baixa fertilidade e com restrições de disponibilidade de água (Canellas et al., 2002; Canellas et al., 2008).

O crescimento do sistema radicular de plântulas de tomate, em função do uso de substâncias isoladas de turfeiras, foi observado por Silva et al. (2011). Dentre os materiais húmicos amostrados (substâncias húmicas alcalino solúveis, ácidos húmicos e fúlvicos), o AH apresentou maior bioatividade, ou seja, apresentou maior capacidade de indução de formação de raízes, devido à sua natureza

química, atuando como um tipo de auxina exógena; a presença de AH também induziu a rota de sinalização da auxina nas plântulas de tomate (Mora et al., 2012; Zandonadi et al., 2013). Silva et al. (2011) ainda afirmam que esse efeito sugere uma ação do tipo hormonal regulatória, pois pequenas concentrações de AH são capazes de promover um desbalanço hormonal e a indução de pelos no ápice da raiz e que concentrações mais elevadas exercem papel de auxinas típicas (hormônio vegetal).

No LVA, o acúmulo de MS da parte aérea e total diminuiu nos tratamentos sem adição de B, em função do aumento das concentrações de C-AH (**Figura 3**). Em relação à MS de raízes e à relação R/PA, foram verificados decréscimos com o aumento da concentração de C-AH. Por meio da equação de regressão ($\hat{y} = 0,901555 + 0,003730x - 0,000042x^2$ $R^2 = 0,93$), estimou-se a produção máxima de MS de raízes ($0,98 \text{ g vaso}^{-1}$), sendo essa obtida utilizando-se 44 mg kg^{-1} de C-AH. Nos tratamentos com adição de B, foi verificada interação da MS da parte aérea e total, enquanto que, para a MS de raízes e relação R/PA, o acúmulo de MS decresceu com o aumento das concentrações de C-AH. No LV, com 71 % de argila, a maior produção de MS total se deu nos tratamentos com a presença de B. Isso se explica, possivelmente, devido à textura muito argilosa desse solo e, provavelmente, pela maior presença de MO e capacidade do solo em reter nutrientes. A maior presença de MO no solo implica em maior disponibilidade de AH, de modo que o material húmico natural do solo pode ser suficiente para exercer os efeitos benéficos que a adição de AH comercial ao solo poderia proporcionar sobre as plantas. Assim, é provável que a disponibilidade de MO no solo, sua natureza química, concentração de frações húmicas e a disponibilidade de C na solução regulem os efeitos de AHs adicionados ao solo por insumos agrícolas.

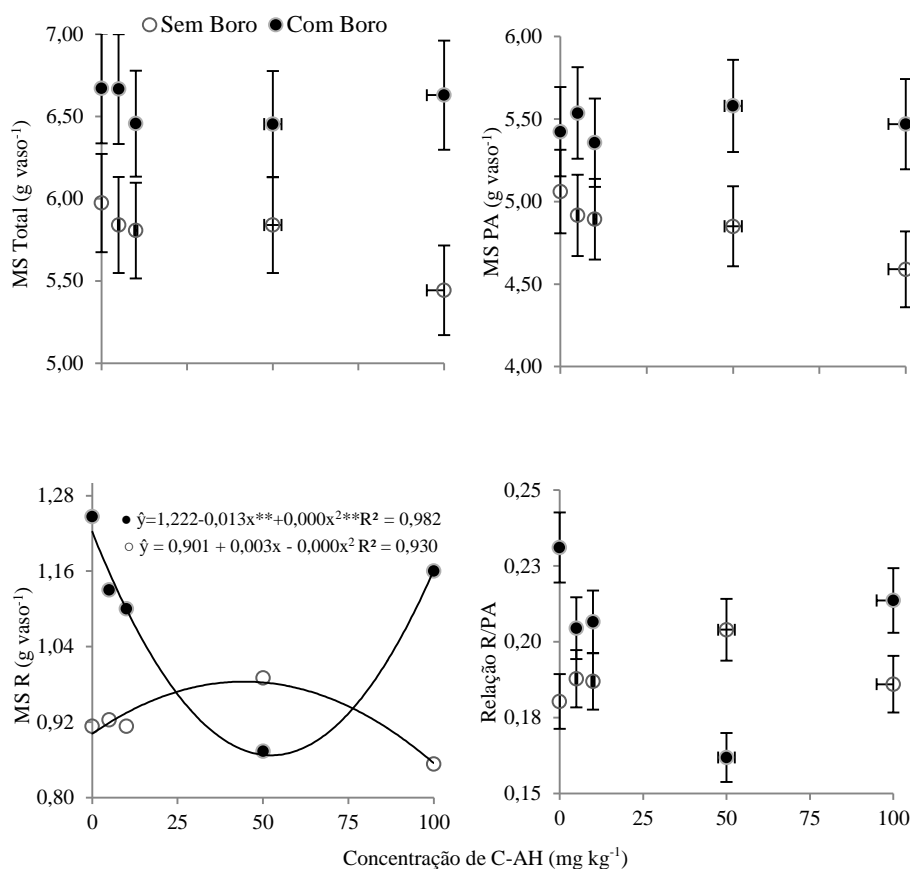


Figura 3 - Acúmulo de massa seca (MS) total, da parte aérea (PA) e de raízes (R) e relação R/PA do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (LVA), em função da combinação de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com a adição ou não de boro (B).

Após a aplicação do corretivo de acidez, verificou-se o aumento nos valores de pH, que atingiu valores de 6,2 e 7,1 no LV e LVA, respectivamente (**Quadro 3**). Segundo Evans (1987), em solos com pH elevado, a acidez pode ter efeito dominante em relação ao papel desempenhado pelo AH sobre a química do B. Em relação à influência do AH sobre a dinâmica e disponibilidade de B, provavelmente, a adsorção de B seja maior nos solos alcalinos do que nos solos

ácidos. Com base nessas premissas, observaram-se maiores respostas de raízes ao C-AH, quando essas foram cultivadas no LVA, em função do uso conjunto de concentrações C-AH e de B. Essa diferença de valores de pH entre os dois solos pode ter determinado os efeitos diferenciados das concentrações de C-AH sobre o tomateiro. É bastante provável que o maior valor de pH no LVA tenha causado a redução na disponibilidade de B, pela maior adsorção do nutriente em ambiente alcalino. Sob essas condições, a adição de C-AH pode ter imobilizado o B também, em formas complexas e menos disponíveis para as plantas. Assim, do ponto de vista agrônomico, o uso de C-AH em solo e seu efeito potencializador sobre o crescimento das plantas só se manifesta nos locais onde a disponibilidade de B é plena. Em condições de escassez do nutriente em solo e de pH maior que os níveis recomendados para cultivo de tomate, o uso de C-AH parece não ser recomendável.

Por tudo que foi dito anteriormente, o papel do AH em relação ao efeito sobre o B no solo parece ser dependente do tipo de solo e de suas condições de fertilidade. Gu e Lowe (1990), estudando a adsorção de B nos AHs, utilizaram três tipos diferentes de solo, dos quais, foram isolados e extraídos amostras distintas de AHs com características contrastantes, e verificaram que a adsorção de B pelo AH foi altamente dependente do pH, mostrando que a adsorção é significativamente maior em pH 8,8 do que em pH 6,7. Segundo esses autores, a quantidade de B adsorvido é geralmente aumentada com o aumento da concentração de B na solução de equilíbrio. A adsorção de B foi baixa e pouco afetada pelo pH abaixo de 6,5; acima desse valor, a adsorção de B aumentou acentuadamente com o a elevação do pH, até cerca de 9,5 (Evans, 1987; Gu e Lowe, 1990). Essas observações são condizentes com os resultados obtidos por Huetl (1976), que verificou que a quantidade de B adsorvido por um solo orgânico aumentou muito lentamente até cerca de pH 6,0, mas elevou-se significativamente com aumentos sucessivos do pH. Este padrão da adsorção do

B em função do pH também foi semelhante aos observados por Goldberg e Glaubig (1985), para minerais de argila, sesquióxidos e entre solos. Mais uma vez, os dados da literatura suportam as diferenças de produção de MS do tomateiro notada para os tratamentos e solos investigados.

Em condição de maior pH, pode haver mais Ca no solo, que poderia se complexar aos sítios de adsorção dos AHs. A suposição é a de que o Ca^{2+} tem uma maior afinidade do que o ácido bórico para reagir com os grupos carboxílicos dos AHs (Lemarchand et al., 2005), o que poderia resultar em maior parte dos grupos carboxílicos dos AHs sendo ocupados por Ca^{2+} , ou haveria menos sítios de adsorção disponíveis do AH para a complexação de B (Azevedo et al., 2001; Lemarchand et al., 2005). Embora haja falta de informação sobre a estabilidade da constante de complexação do ácido húmico-boro e ácido húmico-cálcio, para permitir uma comparação direta, o H^+ -húmus retém muito mais o B do que o Ca (Evans, 1987; Azevedo et al., 2001, Lemarchand et al., 2005). Tendo em vista esses resultados, é difícil estabelecer a concentração ideal de AH para a maioria das culturas, uma vez que as respostas das plantas são dependentes do meio de cultivo testado, do modo de aplicação dos AHs, bem como das espécies e fontes de substâncias húmicas avaliadas (Silva et al., 1999; Aguiar et al., 2009; Pinheiro et al., 2010; Lima et al., 2011). Além disso, o solo e suas características prevalentes durante o cultivo, também, afetam o efeito das SHs, como foi verificado neste estudo.

2.5.3 Acúmulo de boro pelo tomateiro

No LV, o acúmulo de B foi maior em relação ao notado para o LVA (**Figura 4**), o que pode estar associado às características intrínsecas a composição química desse solo; sendo que o aumento das concentrações de C-AH, com ou sem a adição de B, não afetou maiores acúmulos deste nutriente na planta. No

LVA, por meio da equação de regressão ($\hat{y} = 0,477684 + 0,002106x - 0,000031x^2$ $R^2 = 0,98$) estimou-se o máximo acúmulo de B na planta ($0,51 \text{ mg vaso}^{-1}$), sendo este obtido utilizando-se $33,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de C-AH nos tratamentos com a adição de B. Para o tratamento sem a adição de B, a equação de regressão ($\hat{y} = 0,350989 + 0,001867x - 0,000022x^2$ $R^2 = 0,78$) mostrou que o acúmulo máximo obtido ($0,39 \text{ mg vaso}^{-1}$) foi alcançado com $42,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de C-AH; a partir dessa concentração de C-AH, o acúmulo de B foi reduzido, sendo esse mesmo padrão observado em ambos os tratamentos. A redução do teor de B com concentrações crescentes de AH ocorreu devido, provavelmente, à formação de complexos mais solúveis do B com o AH (Lima et al., 2011). Outra hipótese a respeito do acúmulo e disponibilidade e, por conseguinte, da absorção de B está relacionada com o método de extração, uma vez que o B é extraído com o auxílio de água, de modo que esse solvente pode não ter extraído todo o B do complexo húmico-boro. Com isso, é importante verificar outros métodos de extração de B que poderiam quantificar melhor sua disponibilidade, quando há no solo maior presença de B complexado a ligantes orgânicos.

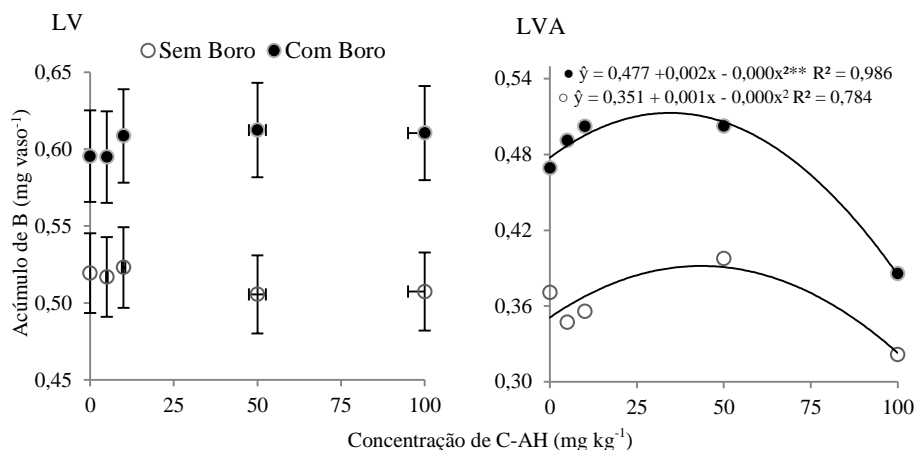


Figura 4 - Acúmulo de boro (B) na massa seca da parte aérea do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV) e Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (LVA) em função das concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com a adição ou não de boro.

Nesse estudo, a combinação de concentrações de C-AH e B não interferiram nas quantidades acumuladas de macro e micronutrientes no tomateiro, à exceção do B, que é menos absorvido quando se há deficiência do nutriente no solo, independentemente da concentração de C-AH utilizada, e no LVA, a despeito de haver mais ou menos B disponível.

Em geral, a aplicação de AH resulta em incrementos nos teores e conteúdo de macro e micronutrientes por plantas. Pinheiro et al. (2010), por exemplo, observaram que a aplicação de material húmico comercial rico em AH, em solução nutritiva, proporcionou os maiores acúmulos de B nas plantas nas concentrações de 10 e 30 mg L⁻¹, sendo isso, possivelmente, explicado pela maior adição de B por meio deste material. Avaliando a concentração foliar de nutrientes e a produtividade do tomateiro sob efeito de diferentes substratos e concentrações de AHs, Lima et al. (2011) verificaram que a aplicação de AH apresentou respostas sobre os teores foliares de micronutrientes, havendo efeito significativo do AH no teor de B nas folhas do tomateiro, onde as concentrações crescentes de AH diminuíram o acúmulo desse nutriente, assim como observado nesse presente estudo, para o LVA. Sarwar et al. (2012) avaliaram o efeito bioestimulante de AHs em peras e a aplicação no solo de 50 mg kg⁻¹ de AH juntamente com 50 % da dose de fertilizante recomendada para a cultura apresentou o maior teor de B disponível (0,55 mg kg⁻¹); esse valor é próximo ao observado no LV com adição de B, quando comparado com o tratamento que recebeu 100% da dose de fertilizante recomendada sem adição de AH atingindo valores de acúmulo de B próximo a 0,38 mg kg⁻¹. As diferenças entre os teores foliares de nutrientes dependem da época de plantio, da idade da planta ou órgão amostrado, da cultivar, da interação entre nutrientes e das condições climáticas (Carvalho et al., 2004). Aiken et al. (1985) relatam que um dos principais benefícios dos AH em sistemas agrícolas é a sua capacidade de formar

complexos metálicos com micronutrientes, embora isso não ocorra na mesma medida para muitos agentes quelantes sintéticos. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que o maior acúmulo de B deve-se à absorção e/ou transferência mais eficiente desse elemento na forma de complexo organometálico de baixa massa molar para as folhas e raízes. Porém, acima de concentrações de 50 mg kg^{-1} de C-AH há redução de B na planta, muito possivelmente devido à baixa disponibilidade do nutriente no solo.

2.6 CONCLUSÕES

A textura, matéria orgânica do solo e a disponibilidade de B são fatores que modulam a produção de massa seca e o efeito de concentrações de C-AH sobre o tomateiro.

Na ausência de adição de B, há menor crescimento do tomateiro e o acréscimo da concentração de C-AH reduz ainda mais a produção de biomassa da cultura, notadamente quando são aplicadas concentrações de C-AH superiores a 50 mg kg^{-1} .

A adição de B e, por conseguinte, o aumento da disponibilidade do nutriente no solo propiciam aumentos na produção de matéria seca, principalmente de raízes do tomateiro, à medida que são elevadas as concentrações de C-AH.

O pH é outro fator que regula a ação do C-AH sobre as plantas, tendo em vista que, com o pH do LVA em torno de 7, e com a menor disponibilidade de B neste solo, o uso de AH reduz a biomassa do tomateiro, com efeitos negativos mais pronunciados sobre MS da parte aérea do que sobre a de raízes.

2.7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 308592/2011-5 e 461935/2014-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por custearem as ações de pesquisa deste estudo e financiarem bolsas de pesquisa aos autores e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

2.8 REFERÊNCIAS

- Abreu CA; Abreu MF; Van Raij B; Bataglia OC; Andrade JC . Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP OES determination. *Communic Soil Sci Plant Analysis*. 1994; 25:3321-33.
- Aiken GR, Mcknight DM, Wershaw RL, MacCarthy P. An introduction to humic substances in soil, sediment and water. In: Aiken GR, Mcknight DM, Wershaw RL, editors. *Humic substances in soil sediment and water: Geochemistry, isolation and characterization*. New York: John Wiley & Sons; 1985.
- Aman S e Rab A. Response of tomato to nitrogen levels with or without humic acid. *Sarhad J Agric*. 2013; 29:181-6.
- Atiyeh RM, Lee S, Edwards CA, Arancon NQ, Metzger JD. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biol Technol*. 2002; 84:7-14.
- Ayuso M, Hernandez T, Garcia C, Pascual JA. Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. *Biol Technol*. 1996; 57:251-7.
- Azevedo WR, Faquin V, Fernandes LA. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. *Pesq Agropec Bras*. 2001; 36:957-64.
- Baldotto MA. e Baldotto LEB. Ácidos Húmicos. *R Ceres*. 2014; 61:856-81.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia. Normais climatológicas: 1961-1990. Brasília: SNI/INME; 1992.
- Canellas LP, Mendonça ES, Dobbss, LB, Baldotto MA, Velloso ACX, Amaral Sobrinho NMB. Reações da matéria orgânica. In: Santos GA, Silva LS, Canellas LP, editores. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª.ed. Porto Alegre: Metrópole; 2008. p.45-53.
- Canellas LP, Olivares FL, Façanha ALO, Façanha FL. Humic acids isolated from earth worm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H^+ -ATP_{ase} activity in maize roots. *Plant Physiol.* 2002; 130:1951-7.
- Carvalho JG, Bastos ARR, Alvarenga MAR. Fertirrigação. In: Alvarenga MAR, editor. Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: Editora UFLA; 2004. p.63-120.
- Chen Y, De Nobili M, Aviad T. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. In: Magdoff F e Weil RR, editors. *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2004
- Chen Y e Aviad T. Effects of humic substances on plant growth. In: McCarthy P, editor. *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings*. Chicago: CAB; 1990. p.161-87.
- Dantas AAA, Carvalho LG, Ferreira E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ci Agrotec.* 2007; 31:1862-6.
- Dursun A, Güvenç I, Turan M. Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro e micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobot.* 2002; 56:81-8.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª.ed. Rio de Janeiro: 1997.

- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª.ed. Rio de Janeiro: 2006.
- Evans LJ. Retention of boron by agricultural soil from Ontario. *Can J Soil Sci.* 1987; 67:33-42.
- Ferreira, DF. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Ci Agrotec.* 2011; 35:1036-42.
- Goldberg S e Glaubig RA. Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. *Soil Sci Soc Am J.* 1985; 49:1374-9.
- Goldberg S. Chemistry and mineralogy of born in soils. In: Gupta, UC, editor. Boron and its role in crop production. Boca Raton: CRC Press; 1997.p.3-44.
- Gu B e Lowe LE. Studies on Adsorption of boron non humic acids. *Can J Soil Sci.* 1990; 70:305-11.
- Huettl PJV. The pH-dependent sorption of boron by soil organic matter. [M. Sc. Thesis], Madison: University of Wisconsin; 1976.
- Jannin L, Arkoun M, Ourry A, Laîné P, Goux D, Garnica M, Fuentes M, San Francisco S, Baiogorri R, Cruz F, Houdussef F, Guarcia-Mina JM, Yvin JC, Etienne P. Microarray analysis of humic acid effects on Brassica napus growth: Involvement of N, C and S metabolisms. *Plant Soil.* 2012; 359:297-319.
- Jones Junior JB, Wolf B, Mills HA. Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens, Micro Macro Publishing. 1991.
- Lemarchand E, Schott J, Gaillardt J. Boron isotopic fractionation related to boron sorption on humic acid and the structure of surface complexes formed. *Geochimi Cosmochim Acta.* 2005; 69:3519-33.

- Lima AA, Alvarenga MAR, Rodrigues L, Carvalho JG. Leaf nutrient content and yield of tomato grown in different substrates and doses of humic acids. *Hortic Bras.* 2011; 29:63-9.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2^a. ed. Piracicaba: POTAFOS; 1997.
- Mezuman U e Keren R. Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1981; 45:722-6.
- Mora V, Baigorri R, Bacaicoa E, Zamarreño AM, García-Mina JM. 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. *Environ Exper Botany.* 2012; 76:24-32.
- Nardi S, Pizzeghello D, Muscolo A, Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol Biochem.* 2002; 34:1527-36.
- Novais RF, Neves JCL, Barros NF. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD, Lourenço S, editores. Método de pesquisa em fertilidade de solos. Brasília: Embrapa-SEA; 1991. p.189-253.
- Paiva, R e Oliveira LM. Fisiologia e Produção Vegetal. In: Paiva R e Oliveira LM. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal, ed. Lavras: Editora UFLA. 2006.
- Pinheiro GL, Silva CA, Furtini Neto AE. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentração de C-ácido húmico. *R Bras Ci Solo.* 2010; 34:1217-29.
- Pires CRF, Lima LCO, Vilas Boas EVB, Alves RR. Qualidade textural de tomates cultivados em substratos orgânicos submetidos à aplicação de substâncias húmicas. *Pesq Agropec Bras.* 2009; 44:1467-72.
- Rosolem CA e Bíscaro T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesq Agropec Bras.* 2007; 42:143-8.

- Sarwar M, Akhtar ME, Hyder SI, Khan MZ. Effect of biostimulant (humic acid) on yield, phosphorus, potassium and boron use efficiency in peas. *Persian Gulf Crop Protection*. 2012; 1:11-6.
- Silva AC, Canellas LP, Olivares FL, Dobbss LB, Aguiar NO, Frade DAR, Rezende CE, Peres LEP. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. *R Bras Ci Solo*. 2011; 35:1609-17.
- Silva RM, Jablonski A, Siedwerdt L, Silveira Junior P. Crescimento da parte aérea e do sistema radicular do milho cultivado em solução nutritiva adicionada de substâncias húmicas. *R Bras Agroci*. 1999; 5:101-10.
- Yildirim E. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. *Acta Agric Scand, Sect B, Soil Plant Sci*. 2007; 57:182-6.
- Zandonadi DB, Santos MP, Busato J, Peres L, Façanha AR. Plant physiology as affected by humified organic matter. *Theor Experim Plant Physiology*. 2013; 25:12-25.

Obs: Versão preliminar do artigo submetido a Revista Brasileira de Ciência do Solo, considerando que o conselho editorial poderá sugerir alterações.

3. CAPÍTULO 2 - Nutrição e crescimento do tomateiro em função da interação concentração de ácido húmico-fontes de cálcio

Tomato nutrition and growth as a function of the interaction humic acid rate-calcium sources

Bruno Paulo Moschini ^{(1)*}, Carlos Alberto Silva ⁽¹⁾

3.1 RESUMO

O ácido húmico (AH) interage com o cálcio (Ca), afetando a sua disponibilidade e absorção pelo tomateiro. O efeito dessa interação depende da fonte de Ca e da capacidade de o AH modificar o solo, criando condições para maior absorção de nutrientes e crescimento das plantas. Objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) e de suas interações com fontes de Ca sobre a nutrição, crescimento da parte aérea e de raízes do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, compreendendo duas fontes de cálcio (CaCO₃ e CaSO₄), combinadas com cinco concentrações de C-AH (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹), em três repetições. Foram analisadas a massa seca (MS) da parte aérea (PA), de raízes (R) e total (PA+R) e acúmulo de macro e micronutrientes na PA. A produção de MS é mais afetada pela fonte de Ca do que pela concentração de C-AH e, independentemente da concentração de C-AH, o tomateiro cresce mais em superfície do que no subsolo, quando o Ca é suprido via CaCO₃ do que CaSO₄. Em subsolo, a não

⁽¹⁾ Departamento de Ciência do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 37, CEP 37200-000 - Lavras-MG. E-mail: bruno_moschini@hotmail.com. *Corresponding author.

correção da acidez implica em menor crescimento do tomateiro. O C-AH exerce pouca influência sobre a absorção de nutrientes, contudo, a escolha da fonte de Ca constitui-se em fator-chave na regulação do acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea do tomateiro.

Palavras-chave: complexos húmicos-Ca, matéria orgânica, crescimento de raízes, micronutrientes.

3.2 ABSTRACT

Humic acid (HA) interacts with calcium (Ca), affecting its availability in soil and uptake by tomato plants. The effect of this interaction depends on the Ca source and HA rate ability to modify the soil, creating conditions to a greater uptake of nutrients and tomato growth. This study was carried out to evaluate the effect of humic acid C-concentrations (C-HA) and their interactions with Ca sources on nutrition, shoot and root growth of tomato plants cultivated in surface and subsoil samples of a clayey Oxisol. The experimental design was a completely randomized, in a factorial 2x5, comprising two sources of calcium (CaCO_3 and CaSO_4), combined with the following C-AH concentrations: 0, 5, 10, 50 and 100 mg kg^{-1} , in three replicates. Dry mass (DM) production of shoot (AP), roots (R) and total (AP+R) was measured. Macro and micronutrient accumulation in tomato shoot was also calculated. Tomato DM is more affected by the Ca source than the C-humic acid concentration. Regardless the C-HA concentration, tomato growth is higher when plants are grown in surface in comparison to subsoil, with CaCO_3 as Ca source than with CaSO_4 . Absence of acidity correction in the subsoil samples caused the lowest tomato DM production. Humic acid rates have little influence on nutrient uptake, but the

right choice of Ca source is a key factor regulating macro and micronutrient accumulation in the tomato shoot.

Key words: complexes humic-Ca, organic matter, root growth, micronutrient.

3.3 INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (CHEN & AVAID, 1990; NARDI et al., 2002). Os AHs afetam as plantas, indiretamente, por interferir nas características do solo (aumento da CTC, formação de complexos organo-metálicos, regula a disponibilidade de nutrientes e melhora a estrutura do solo), ou diretamente, por aumentar a produtividade e qualidade dos produtos colhidos, por estimular vários processos fisiológicos e bioquímicos que promovem a absorção de nutrientes e o crescimento vegetal (NARDI et al., 2002; CANELLAS et al., 2008; AGUIAR et al., 2009; ZANDONADI et al., 2014).

Os efeitos mais relatados dos AHs nas plantas estão relacionados com o maior crescimento do sistema radicular, na medida em que estimulam a formação de raízes, raízes adventícias, alongamento celular e formação de pelos radiculares laterais (BALDOTTO et al., 2011; JINDO et al., 2012; MORA et al., 2012), sendo esses efeitos dependentes da concentração de AH (KAZEMI, 2014). A utilização de SHs promove a regulação de enzimas importantes para o metabolismo vegetal, como por exemplo, a PP-ATPase e a nitrato redutase, que exerce efeito sobre a indução de hormônios vegetais para as plantas, o desenvolvimento radicular e foliar e aumento da absorção de nutrientes e ainda induzem mudanças nas plantas similares às provocadas por hormônios de crescimento vegetal. (ALBUZIO et al., 1989; CANELLAS et al., 2002; MORA et al., 2010; ZANDONADI et al., 2013).

O efeito de AH comercial proveniente de Leonardita em mudas de tomate foi avaliado por DAVID et al. (1994), que utilizaram concentrações de 0, 640, 1280, e 2560 mg L⁻¹ de AH em sistema hidropônico, e notaram aumento dos teores Ca na parte aérea e nas raízes em função do uso de AH. DURSUN et al. (2002) utilizaram concentrações de 50, 100, 150 e 200 mL L⁻¹ de AH em solução hidropônica, para avaliar a disponibilidade de macro e micronutrientes no solo e o crescimento vegetal de mudas de tomate e berinjela. Segundo os autores, a aplicação do AH promoveu maior crescimento e incremento de raízes de ambas as espécies e aumentaram significativamente os teores de Ca na parte aérea e raízes. TÜRKMEN et al. (2004) avaliaram o efeito da aplicação de concentrações de Ca e AH sobre o crescimento e teores de nutrientes em tomate e observaram que os teores de Ca na parte aérea e raízes foram significativamente influenciados pela aplicação de Ca e de AH, sendo os maiores efeitos verificados quando se utilizou 100 mg kg⁻¹ de AH e 100 mg kg⁻¹ de óxido de cálcio.

O efeito de concentrações de AH e de outras frações orgânicas sobre o crescimento e a nutrição vegetal têm sido amplamente relatadas, mas pouco se sabe sobre a interação do AH com fontes de Ca. O CaCO₃, além de suprir Ca, eleva o pH e neutraliza o alumínio tóxico, afetando outros atributos do solo e da planta. O CaSO₄ não altera o pH do solo, mas o condiciona, tornando o ambiente de solo mais propício ao crescimento de raízes, pois supre Ca e atenua os efeitos negativos do alumínio tóxico, que se liga aos íons sulfatos, formando substâncias de baixa solubilidade (SILVA et al., 1997; SILVA et al., 1998). Esses efeitos em solo e sobre as plantas explicam o uso difundido do CaSO₄ como condicionador do ambiente radicular em subsolo. Sabidamente, o AH estimula o crescimento das raízes, interferindo na disponibilidade de nutrientes, o que pode elevar a absorção de nutrientes pelas plantas. No subsolo, a aplicação conjunta de CaSO₄ e de AH pode ter implicações positivas para as plantas, já

que o AH pode otimizar a absorção de nutrientes, em geral, em menor disponibilidade no subsolo, como atestam os resultados obtidos por MOHAMED (2012), estudo em que foi verificado que a aplicação de AH (1,0 e 2,0 g kg⁻¹) em conjunto com CaSO₄ aumentou a MS e a absorção de N, P, K, Fe e Zn por plantas de milho.

Assim, é possível antever que a formação de complexos organo-Ca no solo, tanto com o uso de CaCO₃, quanto de CaSO₄, pode assegurar ao tomate maior absorção de Ca nas raízes e maior suprimento do nutriente para a parte aérea. Como hipótese secundária, antecipa-se que as plantas crescerão mais com o uso de CaCO₃ do que com CaSO₄, já que o acréscimo de pH proporcionado pelo corretivo torna os AHs mais ricos em cargas negativas, pela ionização do radical carboxílico (COOH⁻) e grupos fenólicos (MOHAMED, 2012), o que pode aumentar a bioatividade da fração húmica. Além disso, o fato de o subsolo conter menos MO do que a camada superficial determinará menor produção de MS do tomateiro nessa camada e menor ação do AH, independentemente da fonte de Ca utilizada, de modo que essas são as hipóteses e justificativas para a realização deste estudo. Objetivou-se avaliar a nutrição e crescimento do tomateiro em função de concentrações de C-AH em uso conjunto com duas fontes de cálcio (CaCO₃ e CaSO₄), com o cultivo de plantas em camada superficial e de subsolo de Latossolo Vermelho de textura argilosa.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Lavras – MG. Foram utilizadas amostras da camada superficial (0-10 cm) e subsolo (20-40 cm) de um Latossolo Vermelho de textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Foram realizadas as análises dos atributos de fertilidade do solo, bem como foi determinada a textura dos solos, com a finalidade de caracterizá-los, visando

também definir a necessidade de calagem e a adubação adequada para cultivo do tomateiro. A análise textural foi feita segundo método de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997). Foram avaliados também o pH em água, CTC a pH 7,0, CTC efetiva e os teores disponíveis de K, P, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu, B, além de outros atributos de fertilidade do solo, como saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), fósforo remanescente (P-rem), carbono elementar (C %) e matéria orgânica (MO). Dados pertinentes às características das amostras de solos (sob condição natural) utilizadas no cultivo do tomateiro estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Características químicas e textura das amostras de Latossolo Vermelho de textura argilosa, sob condições naturais.

Atributo	Camada do solo (cm)	
	0-10	20-40
pH em água	4,3	4,7
C (%)	4,6	2,2
K (mg dm ⁻³)	43	15
P (mg dm ⁻³)	2	0,7
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,1
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,1
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,7	1,1
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	11,8	8,8
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,4	0,2
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	2,1	1,3
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	12,2	9
V (%)	3,3	2,6
m (%)	81,1	82
MO (dag kg ⁻¹)	6,6	3,1
B (mg dm ⁻³)	0,1	0,7
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,8	0,3
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	93	32
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	7,5	1,2
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	1,2	1,4
S-sulfato (mg dm ⁻³)	10,1	9,4

C: Carbono Total; Al: Alumínio trocável; H+Al: Acidez Potencial; SB: Soma de Bases; V: Saturação por bases; m: Saturação por Alumínio.

As amostras de solo foram passadas em peneira com malha de 8 mm, para retirada de galhos e raízes. Para cada parcela experimental, 1,2 kg de solo foi incubado com as fontes de Ca 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.

O AH utilizado foi extraído de Leonardita australiana, extraído com solução de hidróxido de potássio (KOH), o qual apresentava as seguintes características: pH em 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 AH testadas foram definidas em relação ao teor de C presente no AH-Leonardita Australiana.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, de modo que os tratamentos englobaram duas fontes de Ca (CaSO₄ e CaCO₃ p.a.) combinadas com cinco concentrações de C-AH (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹), em três repetições. O material húmico foi adicionado em estado sólido e misturado à massa de solo de cada vaso de cultivo. A concentração de CaSO₄ foi definida com base no teor de P-remanescente, visando adicionar ao solo CaSO₄ equivalente a uma prática de gessagem, de modo que foi adicionado 0,5 e 0,7 g de CaSO₄ por kg de solo, na camada de 0-10 e 20-40 cm, respectivamente; O CaCO₃ foi adicionado ao solo visando elevar a saturação por bases a 60% (ALVAREZ V. & RIBEIRO, 1999); assim, adicionaram-se 3,47 e 2,59 g de CaCO₃ por kg de solo na camada de 0-10 e 20-40 cm, respectivamente.

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 vasos plásticos, mantendo-se duas plantas por vaso, onde se acondicionou 1,2 kg de solo, sendo o estudo composto por 60 parcelas experimentais.

As adubações com N, P, K, S e micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn e B) foram realizadas após a incubação do solo com as duas fontes de Ca e C-AH, pelo período de 15 dias. 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 e 1 mg kg^{-1} de B, 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 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e ácido bórico (H_3BO_3), respectivamente. Foram, ainda, realizadas duas adubações de cobertura, com a adição de 100 mg kg^{-1} de N e de K, no 10º e 20º dias após o plantio. A irrigação foi feita diariamente e a reposição de água foi ajustada de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura e das condições climáticas. Nesse manejo, utilizou-se água deionizada, visando manter a água do solo próximo de 70% da capacidade máxima de retenção pelo solo. Os resultados das análises químicas das amostras dos solos coletadas após incubação com os tratamentos de C-AH e Ca, no início do cultivo do tomateiro, são apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Características químicas do Latossolo Vermelho de textura argilosa após a aplicação das fontes de cálcio (CaCO_3 e CaSO_4) e adição C-AH, no início do cultivo do tomateiro. Os dados apresentados representam a média dos atributos para as concentrações de C-AH, tendo em vista que o material húmico não exerceu influência sobre os atributos mostrados a seguir.

Atributo	Camada do solo			
	----- 0-20 cm -----		----- 20-40 cm -----	
	CaSO_4	CaCO_3	CaSO_4	CaCO_3
pH em água	5,2	6,2	5,8	6,8
K (mg dm^{-3})	259	242	220	205
P (mg dm^{-3})	336	234	189	303
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,7	3,6	0,5	2,5
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,3	1,1	0,2	0,7
Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,3	0,1	0,1	0,1
H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	9,7	4,3	6,1	3,2
SB ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	1,8	5,4	1,3	3,8
CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	2,2	5,5	1,4	3,9
CTC a pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	11,6	9,7	7,4	7
V (%)	15,6	55,4	17,4	54,4
m (%)	18	1,9	11,3	2,5
B (mg dm^{-3})	0,9	0,7	0,7	0,6
Zn^{2+} (mg dm^{-3})	20,6	18	18	18,2
Fe^{2+} (mg dm^{-3})	90	76,4	49,7	54
Mn^{2+} (mg dm^{-3})	18,7	23,2	11,8	14,9
Cu^{2+} (mg dm^{-3})	3,5	2,7	4,2	3,6

Após 30 dias de cultivo, as plantas foram colhidas, lavadas em água destilada e subdivididas em parte aérea (PA) e raízes (R); posteriormente, foram acondicionadas em sacos de papel do tipo *Kraft* e colocadas em estufa com

circulação forçada de ar, a 65-70 °C, até peso constante, conforme descrito por JONES JUNIOR et al. (1991). Foi analisada a MS da PA, das R e total (PA+R) do tomateiro. Após a determinação dos pesos de MS, foi realizada a moagem do material vegetal em moinho Willey com peneira de 20 mesh. As amostras moídas foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados, para análise posterior dos teores de nutrientes nos tecidos vegetais, conforme metodologia descrita por MALAVOLTA et al. (1997). O acúmulo de nutrientes na parte aérea foi calculado relacionando-se a MS da parte aérea de cada tratamento com a respectiva concentração do nutriente nesse tecido vegetal do tomateiro. São apresentados neste estudo os acúmulos de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu e B) em função dos tratamentos testados.

Os efeitos dos diferentes tratamentos sobre os atributos analisados foram verificados a partir da análise de variância e, quando foram observadas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, foram submetidos à análise de regressão, associando, para cada fonte de Ca, as concentrações de C-AH com o atributo de solo e de planta avaliados, para cada camada de solo em particular. Adotou-se o nível de significância de 5 % de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Ca disponível no solo em função das concentrações crescentes de C-AH são apresentados na **Figura 1**. Os teores de Ca disponibilizados variam em função da fonte do nutriente e da camada de solo avaliada. Com a utilização do CaCO_3 e de C-AH, a disponibilidade de Ca, na camada superficial, em média, foi 30 % maior em relação à determinada em

subsolo, o que pode estar associado ao teor de MO, maior poder tampão e maior necessidade de calagem requerida para a superfície, em relação ao subsolo. Com o uso de CaSO_4 , não houve grandes diferenças na disponibilidade de Ca, para ambas camadas amostradas, mas os teores de Ca são menores do que os verificados quando a fonte é o carbonato, devido a quantidade que foi aplicada. Em relação às concentrações de C-AH, não foi verificada interação com o CaSO_4 . Os teores de Ca^{2+} são levemente reduzidos à medida que se eleva o C-AH, quando a fonte é o CaCO_3 , tanto na superfície quanto em subsolo. É comum a formação de complexos húmicos-Ca nos solos, mas esses complexos são pouco dependentes do pH e não são tão estáveis quanto os formados com nutrientes de maior afinidade por ligantes orgânicos, como o Cu (HERING & MOREL, 1988). Por isso, é bastante provável que a redução nos níveis de Ca trocável provocada pela adição de C-AH e CaCO_3 esteja ligada à formação de complexos organo-Ca, mas é possível também que isso não represente limitação no suprimento de Ca às plantas, muito possivelmente, devido à natureza, reatividade, estabilidade e solubilidade dos complexos formados por ligantes orgânicos da fração húmica com o nutriente.

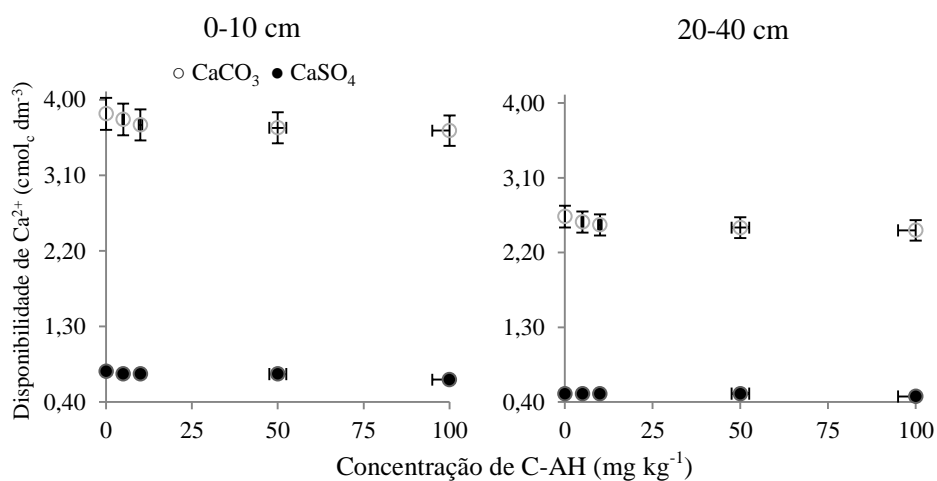


Figura 1 - Disponibilidade de cálcio (Ca) no Latossolo Vermelho de textura argilosa, nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, em função da combinação de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com CaCO_3 ou CaSO_4 .

Há maior produção de MS total, da parte aérea e de raízes, independentemente da fonte de Ca utilizada, com o cultivo no solo da camada superficial, em relação à de subsolo. Os dados de produção de MS total (**Figura 2A**) e da parte aérea (**Figura 2C**), em função das concentrações de C-AH, não se ajustaram a modelos matemáticos, tanto com o uso de CaCO_3 quanto com o de CaSO_4 , para a camada de 0-10 cm. A MS de raízes produzida com a adição de CaSO_4 , em função do aumento das concentrações de C-AH, ajustou-se à modelo quadrático (**Figura 2F**). Foi notado efeito das concentrações de C-AH sobre a MS de raízes, quando a fonte de Ca foi o CaCO_3 e CaSO_4 , de modo que foi possível concluir que ocorreu sinergia entre o Ca e o C-AH sobre as raízes na camada de subsolo, mais para o CaCO_3 do que para o CaSO_4 .

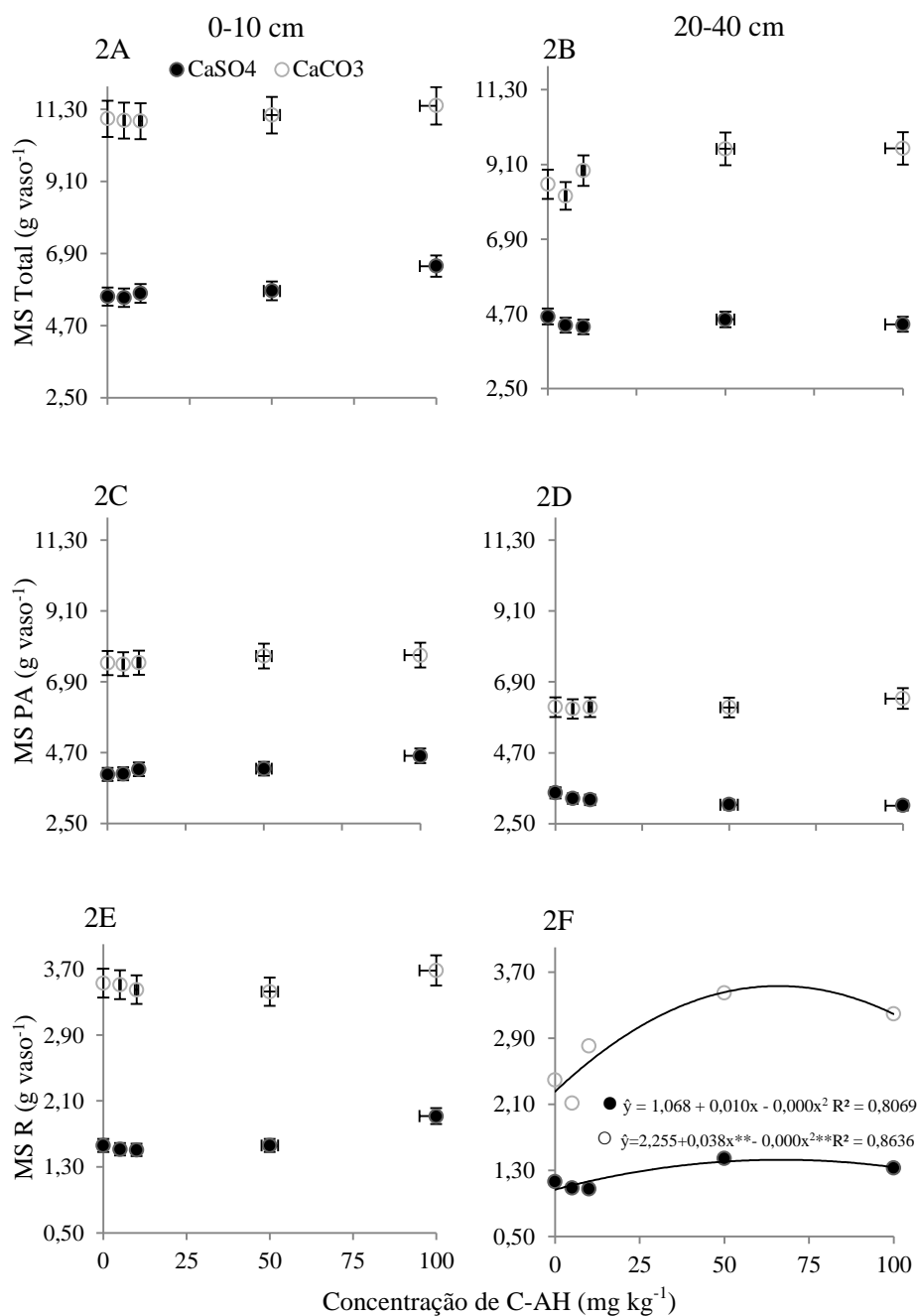


Figura 2 - Massa seca (MS) total (2A, 2B), da parte aérea (PA) (2C, 2D) e de raízes (R) (2E, 2F) do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho de textura argilosa, nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, em função da combinação de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com CaCO₃ ou CaSO₄.

No subsolo, a produção de MS total (**Figura 2B**) e de parte aérea (**Figura 2D**) não são modificadas, à medida em que há acréscimo nas concentrações de C-AH. Em geral, o acréscimo da produção de MS é pouco influenciado pelas concentrações de C-AH, mas, independentemente do C-AH, há mais produção de MS do tomateiro quando a fonte de Ca é o CaCO_3 em comparação ao CaSO_4 , e quando se cultiva no solo superficial, em relação ao de subsolo. Com o uso de CaSO_4 , foi notado padrão de maior efeito do C-AH sobre a produção de MS das raízes, em razão do aumento das concentrações, ou seja, parece que o C-AH cria um ambiente radicular mais propício para o tomateiro, a despeito de que o CaSO_4 desempenha a mesma função como condicionador do solo, ou, por outro lado, há uma sinergia entre o material húmico e o CaSO_4 , porém em menor escala do que a observada para o CaCO_3 e AH. Avaliando o efeito de AHs e de formas de Ca sobre a MS e sobre o acúmulo de nutrientes em plantas de milho, MOHAMED (2012), demonstrou que a utilização de CaSO_4 em conjunto com a aplicação de 1 g kg^{-1} de AH propiciou maior acúmulo de MS, quando comparado com a adição de nitrato de cálcio e cloreto de cálcio, mostrando um efeito da interação positiva entre CaSO_4 e AH.

O crescimento do tomateiro foi maior com o cultivo de amostras superficiais do Latossolo, o que pode estar associado aos maiores teores de MO nessa camada de solo (**Tabela 1**). A maior disponibilidade de C no solo parece intensificar os efeitos benéficos da correção da acidez e do aumento do pH, interferindo positivamente na disponibilidade e uso de nutrientes pelo tomateiro, ou pode criar condições em solo ótimas para o maior crescimento das plantas. Há uma maior interação do C-AH com o CaCO_3 , mostrando que essa sinergia, determina mais MS de raízes no subsolo, quando se corrige a acidez do que quando se utiliza o CaSO_4 . Assim, no subsolo, com o aumento das concentrações de C-AH, para concentrações acima da ótima (66 mg kg^{-1} de C-

AH), há redução do crescimento das plantas (**Figura 2F**), o que está de acordo com os trabalhos desenvolvidos por BALDOTTO & BALDOTTO (2014).

O acúmulo MS das raízes e seu maior crescimento, em relação à MS da parte aérea (relação R/PA), com adição de CaSO_4 e concentrações de C-AH, mostram a capacidade dos AHs em estimular diretamente vários processos fisiológicos que promovem o crescimento vegetal, especialmente do sistema radicular, sendo que os efeitos dessa substância no crescimento das plantas podem estar relacionados com efeitos diretos e/ou efeitos indiretos (NARDI et al., 2002, MORA et al., 2012). Os resultados mostram que as menores concentrações de C-AH promoveram raízes altamente ramificadas, o que pode ter resultando em elevada área de superfície radicular, que propicia às plantas maior volume de solo explorado. Isso tudo propicia adaptação mais fácil em ambientes de baixa fertilidade e com restrições de disponibilidade de água (CANELLAS et al., 2002; CANELLAS et al., 2008).

O crescimento do sistema radicular de plântulas de tomate, em função do uso de substâncias húmicas isoladas de turfeiras, foi observado por SILVA et al. (2011). Dentre os materiais húmicos testados (substâncias húmicas alcalino solúveis, ácidos húmicos e fúlvicos), o AH apresentou maior bioatividade, ou seja, apresentou maior capacidade de interagir positivamente com a planta, resultando em estímulo do desenvolvimento vegetal, por induzir a formação de raízes, devido à sua natureza química, atuando como um tipo de auxina exógena. ZANDONADI et al. (2013) afirmam que esse efeito sugere uma ação do tipo hormonal regulatória, pois pequenas concentrações de AH são capazes de promover um desbalanço hormonal, com indução de pelos no ápice das raízes; segundo os autores, concentrações mais elevadas exercem o papel de auxinas (hormônio vegetal).

Avaliando diferentes concentrações de Ca com o uso de AH na germinação de sementes, crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de

tomate em condições salinas, TÜRKMEN et al. (2004) concluíram que o uso conjunto de AH e Ca aplicados em meios de crescimento, aumentou de forma linear o tamanho das raízes do tomateiro, com máximo crescimento (3,63 cm) para a concentração de 2.000 mg kg⁻¹ de AH. Essa concentração observada na literatura para o bom desenvolvimento radicular do tomate diverge da observada nesse estudo, já que, com a aplicação de CaCO₃ em subsolo, tem-se uma concentração ótima de 66 mg kg⁻¹ de C-AH, para produção máxima de MS de raízes de 3,53 g vaso⁻¹. Com o uso de CaSO₄, a máxima biomassa de raízes foi de apenas 1,43 g vaso⁻¹, com a mesma concentração ótima observada para o carbonato, ou seja, em média, o CaCO₃ é cerca de 60 % mais eficiente do que o CaSO₄ em determinar o crescimento de raízes, possivelmente, devido a seus efeitos diferenciados em solo e seu maior suprimento de Ca.

O acúmulo de Ca na parte aérea do tomateiro foi ligeiramente maior para plantas cultivadas na camada superficial, quando comparada com o subsolo, com a adição de CaCO₃, tendo uma amplitude de 25 % a mais de acúmulo de Ca. As concentrações de C-AH não interferiram no acúmulo de Ca na planta. Na presença de CaSO₄, o mesmo padrão de acúmulo foi observado para ambas as camadas de solo cultivadas, sem efeito das concentrações C-AH no Ca acumulado na parte aérea do tomateiro (**Figura 3**).

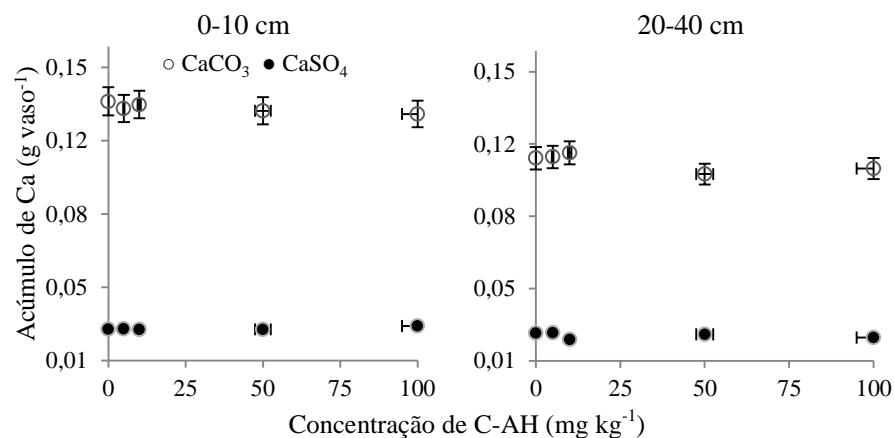


Figura 3 - Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca da parte aérea do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV) nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, em função da combinação de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com CaCO₃ ou CaSO₄.

Muitos pesquisadores têm reportado resultados contrastantes a respeito do efeito de SHs na nutrição mineral de plantas (CHEN & AVAID, 1990.). Isso se aplica a este estudo, uma vez que os resultados obtidos divergem dos encontrados na literatura para a cultura do tomateiro. Isso decorre do fato de que ambas as fontes de Ca utilizadas causaram acúmulo de nutrientes diferenciados para CaCO₃ e CaSO₄. Após a aplicação do CaCO₃ e das concentrações de C-AH, a disponibilidade de nutrientes em superfície foi maior do que a determinada em subsolo. Há diferenças de acúmulo apenas entre o N e o K, para as duas fontes de Ca e camadas de cultivo; para os teores de P, Ca, Mg e S, não foi notado efeito dos tratamentos sobre o acúmulo desses nutrientes. Com a aplicação de CaSO₄, há menor acúmulo de macronutrientes, quando comparado com o uso de CaCO₃. Em relação às concentrações de C-AH, não foi verificada interação entre o material húmico com o CaSO₄ e CaCO₃, quando se avaliou o acúmulo de nutrientes na parte aérea do tomateiro (**Figura 4**).

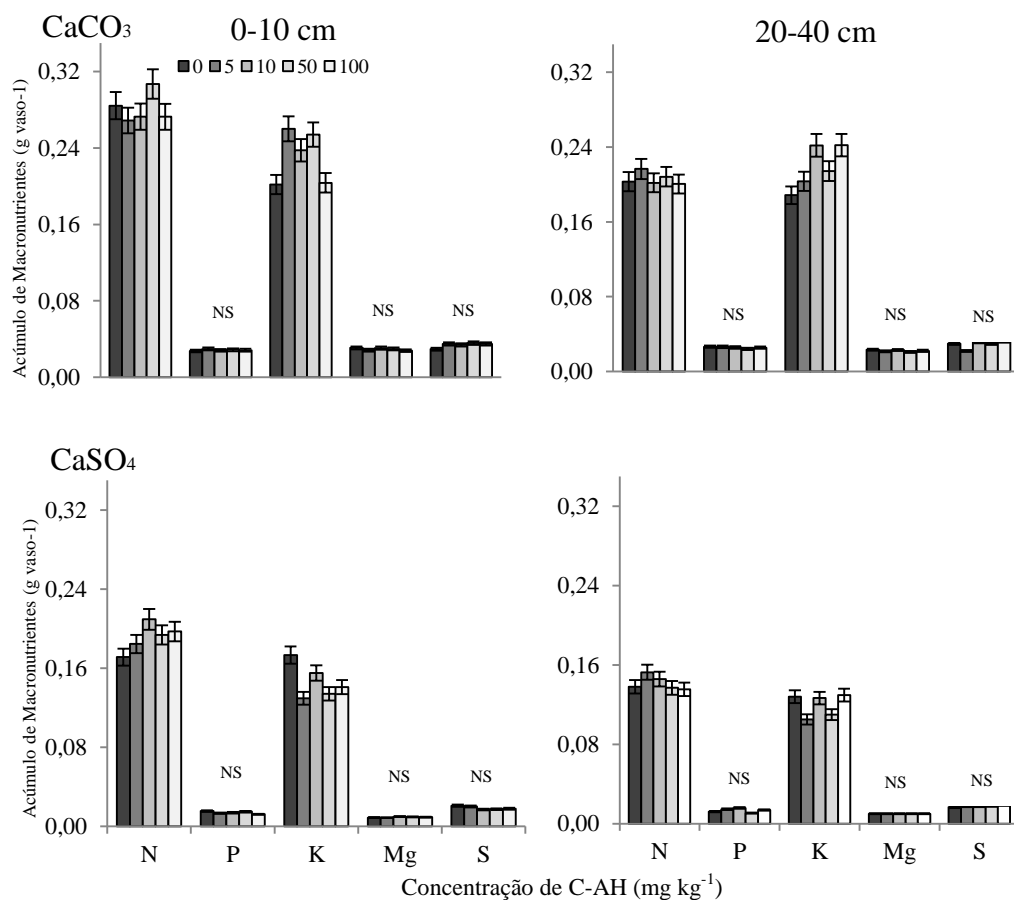


Figura 4 – Acúmulo de macronutrientes - nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na massa seca da parte aérea do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV), nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, em função da combinação de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com CaCO_3 ou CaSO_4 .

NS: Não significativo.

Os efeitos dos AH no acúmulo de nutrientes e no crescimento de mudas de tomate foram avaliados em solução nutritiva por DAVID et al. (1994), onde adicionaram na solução concentrações de 0, 640, 1280, ou 2560 mg L^{-1} de AH. A adição de 1.280 mg L^{-1} produziu aumentos significativos no acúmulo de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn na parte aérea, assim como um aumento no acúmulo

de N, Ca, Fe, Zn e Cu nas raízes. Esses resultados são diferentes dos observados neste estudo, dado que, neste estudo, ao contrário das fontes de Ca, as concentrações de C-AH tiveram pouca influência sobre o acúmulo de macronutrientes na parte aérea do tomateiro. A ordem decrescente de acúmulo de nutrientes pelo tomateiro é a seguinte: $N > K > Ca > Mg > P = S$.

Ambas as fontes de Ca utilizadas influenciaram no acúmulo de micronutrientes (**Figura 5**). O maior acúmulo foi verificado quando se aplica o $CaCO_3$, com cultivo do tomateiro na camada superficial, em comparação ao uso de $CaSO_4$ e do cultivo no subsolo. As concentrações de C-AH aumentam o acúmulo de Fe na camada superficial, quando se utiliza o $CaCO_3$, mas pouco interferem no acúmulo de outros micronutrientes. A ordem decrescente, em geral, de acúmulo de micronutrientes pelo tomateiro é a seguinte: $Mn > Fe > B > Zn > Cu$. Independentemente da camada de solo avaliada, as plantas sempre acumulam mais micronutrientes quando a fonte de Ca é o carbonato. Assim, é preciso considerar o fato que a aquisição de micronutrientes é um fator a ser considerado para se aumentar a eficiência agrônômica do $CaSO_4$, de modo que é necessário conceber estratégias que assegurem maior aquisição de B, Fe e Zn às plantas quando o $CaSO_4$ é a fonte de Ca para o tomateiro.

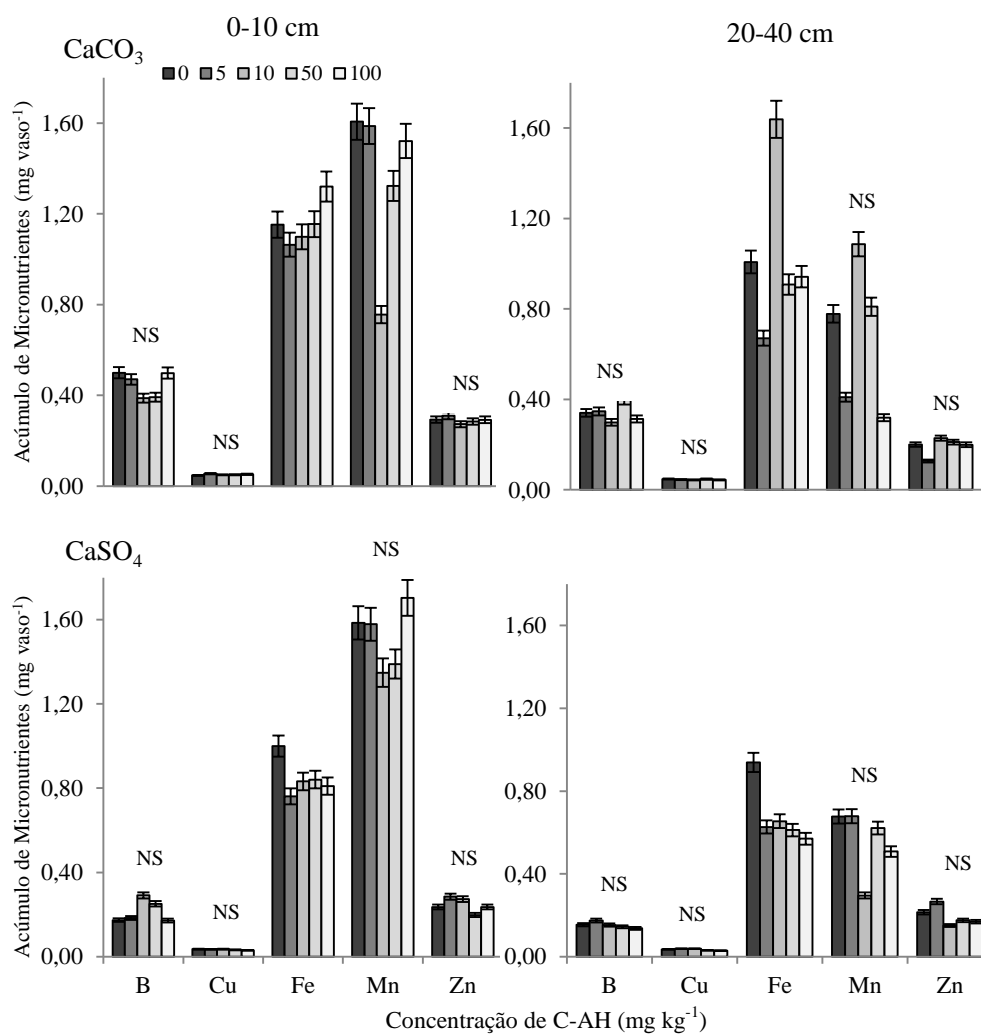


Figura 5 – Acúmulo de micronutrientes - boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na massa seca da parte aérea do tomateiro cultivado em Latossolo Vermelho de textura argilosa (LV), nas camadas 0-10 e 20-40 cm, em função da combinação de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) com CaCO_3 ou CaSO_4 .
 NS: Não significativo.

Tendo em vista esses resultados, é difícil estabelecer a concentração ideal de AH para as culturas, uma vez que as respostas das plantas são dependentes do meio de cultivo testado, do modo de aplicação dos AHs, bem

como das espécies e fontes de substâncias húmicas avaliadas (AGUIAR et al., 2009; PINHEIRO et al., 2010; LIMA et al., 2011). Nesse estudo, o uso de C-AH, em diferentes concentrações, pouco afetou o crescimento e nutrição do tomate, mas a escolha correta da fonte de Ca é fator determinante para o maior crescimento das plantas.

3.6 CONCLUSÕES

Independentemente da concentração de C-AH testada, o tomateiro cresce e produz mais MS quando o Ca é suprido via CaCO_3 e quando as plantas são cultivadas na camada superficial, em relação às de subsolo.

O efeito das concentrações de C-AH em subsolo é mais pronunciado, principalmente sobre as raízes, quando a fonte de Ca é o CaCO_3 , mas, mesmo assim, se produz menos biomassa em comparação ao cultivo do tomate na camada superficial onde há mais matéria orgânica.

O carbonato interage com o C-AH em subsolo, determinando maior produção de massa seca de raízes, com concentração ótima em torno de 65 mg kg^{-1} de C-AH.

Em geral, o acúmulo de nutrientes é pouco regulado pelas concentrações de C-AH, mas a fonte de Ca e a camada de solo de cultivo são fatores que regulam o acúmulo de nutrientes na parte aérea do tomateiro.

3.7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 308592/2011-5 e 461935/2014-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por custearem as ações de pesquisa deste estudo e financiarem bolsas de pesquisa aos autores, e à

Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por custear parte das ações de pesquisa.

3.8 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, N.O.; CANELLAS, L.P.; DOBBSS, L.B.; ZANDONADI, D. B.; OLIVARES, F.L., FAÇANHA, A.R. Distribuição de massa molecular de ácidos húmicos e promoção do crescimento radicular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.6, p.1613-1623, 2009.
- ALBUZIO, A.; NARDI, S.; GULLI, A. Plant growth regulator activity of small molecular size humic fractions. *Science of the Total Environmental*, v. 81-82, p.671-674, 1989.
- ALVAREZ V., V.H. e RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º aproximação. Viçosa-MG: CFSEMG. 1999. p.41-42.
- BALDOTTO, M.A. & BALDOTTO, L.E.B. Ácidos Húmicos. *Revista Ceres*, v.61, p.856-881, 2014.
- BALDOTTO, M.A.; ROSA, R.C.C.; CANELLAS, L.P.; RANGEL, T.P.; SALOMÃO, M.S.M.B.; REZENDE, C.E. Capacidade de oxidação como índice de estabilidade da matéria orgânica de sedimentos de acordo com gradiente fluvial-estuarino do Rio Paraíba do Sul. *Química Nova*, v.34, n.6, p.973-978, 2011.
- CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBSS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre-PR: Metrópole. 2008. p.45-53.

- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A.L.; FAÇANHA, F.L. 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.
- CHEN, Y. & AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In: MACCARTHY, P., ed. *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings*. Chicago, CAB. 1990. p.161-187.
- DAVID, P.P.; NELSON, P.V.; SANDERS, D.C. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, n.1, p.173-184, 1994.
- DURSUN, A.; GÜVENÇ, I.; TURAN, M. Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro e micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agrobotanica*, v.56, n.2, p.81-88, 2002.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro 2006. 306p.
- FAÇANHA, A.A.; FAÇANHA, A.L.O.; OLIVARES, F.L.; GURIDI F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, 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.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Ciência e agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1036-1042, 2011.
- HERING, JG & MOREL, FMM. Humic acid complexation of calcium and copper. *Environmental Science Technology*, v.22, p.1234-7, 1988.
- JINDO, K.; MARTIM, A.S.; NAVARRO, E.C.; ALFOCCA, F.P.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; CANELLAS, L.P. Root growth promotion

- by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant Soil*, v.35, p.209-220, 2012.
- JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. *Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Athens, Micro Macro Publishing. 1991. 213p.
- KAZEMI, M. Effect foliar application of humic acid and calcium chloride on tomato growth. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, v.3, p.41-46, 2014.
- LIMA, A.A. de; ALVARENGA, M.A.R.; RODRIGUES, L.; CARVALHO, J.G. Leaf nutrient content and yield of tomato grown in different substrates and doses of humic acids. *Horticultura Brasileira*, v.29, n.1, p.63-69, 2011.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba-SP: POTAFOS. 1997. 319p.
- 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.; BACAIACOA, E., ZAMARREÑO, A.M.; AGUIERRE, E.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; GARCÍA-MINA, J.M. Action of humic acid promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. *Journal of Plant Physiology*, v.167, n.8, p.633-642, 2009.
- 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.

- NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology & Biochemistry*, v.34, p.1527-1536, 2002.
- PINHEIRO, G.L.; SILVA, C.A.; FURTINI NETO, A.E. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentração de C-Ácido Húmico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.4, p.1217-1229, 2010.
- SILVA, AC; CANELLAS, LP; OLIVARES, FL; DOBBSS, LB; AGUIAR, NO; FRADE, DAR; REZENDE, CE; PERES, LEP. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1609-17, 2011.
- SILVA, A.J.; SAMPAIO, R.A.; COSTA, L.M.; FONTES, L.E.F. Efeito do calcário e gesso na dispersão e microagregação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Agropecuária Técnica*, v.19, p.30-36, 1998.
- SILVA, N.M.; RAIJ, B.V.; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C.; KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. *Bragantia*, v.56, n.2, p.389-401, 1997.
- 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.
- ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; BUSATO, J.; PERES, L.; FAÇANHA, AR. Plant physiology as affected by humified organic matter. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v.25, p.12-25, 2013.
- ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; MEDICI, L.O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. *Horticultura Brasília*, v.32, n.1, p.14-20, 2014.

Obs: Versão preliminar do artigo submetido a Revista Ciência Rural, considerando que o conselho editorial poderá sugerir alterações.

4. CAPÍTULO 3 - NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DO TOMATEIRO: EFEITO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E FORMAS DE N MINERAL

Bruno Paulo Moschini, Carlos Alberto Silva

4.1 RESUMO

As substâncias húmicas (SHs) podem interagir com as formas de N-nitrato (N-NO_3^-) e N-amônio (N-NH_4^+), afetando a disponibilidade e absorção de N pelo tomateiro. O efeito dessa interação depende, principalmente, das proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ no meio de cultivo, e do efeito que as SHs têm sobre processos do solo e da planta que regulam as proporções e a aquisição das duas formas de N mineral. Objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de C-ácido húmico (C-AH) e C-ácido fúlvico (C-AF) e suas interações com proporções de N mineral sobre a nutrição, crescimento da parte aérea e raízes do tomateiro cultivado com solução nutritiva em amostras de areia lavada. Os tratamentos consistiram da combinação de três proporções de N (210 mg L^{-1}) de mineral, que foi suprido nas formas de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , nas proporções de 30:70; 50:50 e 70:30, respectivamente, que foram combinadas com cinco concentrações de C-AH e de C-AF (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg^{-1}), em três repetições. Foram analisadas a massa seca (MS) da parte aérea (PA), das raízes (R) e total (PA+R), bem como a relação de massas da R/PA do tomateiro. No início do cultivo, a solução do meio de cultivo foi retirada, filtrada e armazenada em tubos plásticos, para posterior análise do pH, condutividade elétrica (CE) e teores de nutrientes por espectroscopia de emissão atômica por plasma induzido e cromatografia iônica. A CE elétrica aumenta linearmente com a adição de SHs, e que o pH aumenta, também, mas com efeitos distintos quanto a fonte de material húmico. Há maior produção de MS quando o N-NO_3^- predomina em

relação ao $N-NH_4^+$. Foi verificada efeito positivo do C-AF e a disponibilidade de Ca^{2+} , P e S e entre o C-AH com os teores de K^+ na solução do meio de cultivo.

Palavras chaves: ácido húmico, ácido fúlvico, nitrato, amônio, solução nutritiva.

4.2 ABSTRACT

Humic substances (HSs) can interact with the N-nitrate ($N-NO_3^-$) and N-ammonium ($N-NH_4^+$) forms, affecting the N availability and uptake by tomato plants. The effect of this interaction depends on the proportions of $N-NO_3^-$ and ammonium $N-NH_4^+$ in the growth medium, and the effect that the HSs have on soil and plant processes which regulate the proportions of two N mineral forms. The objective was to evaluate the effect of C-humic acid (C-HA) and C-fulvic acid (C-FA) concentrations and their interactions with mineral N mineral forms proportions on the nutrition, shoot and root growth of tomato plants cultivated in a sand growth medium and nourished by nutrition solution. The treatments consisted of the combination of three proportions of N (210 mg L^{-1}) in the form of $N-NO_3^-$ and $N-NH_4^+$ (30:70; 50:50 and 70:30), combined with five concentrations of C-HA and C-FA (0, 5, 10, 50 and 100 mg kg^{-1}), in three replications. Dry matter (DM) of shoots (AP), roots and total (AP+R), and the dry mass ratio of R/AP tomato were analyzed. At the beginning of cultivation, the solution of the growth medium was sampled and analyzed for nutrient contents, pH, electrical conductivity (EC), in atomic emission spectroscopy induced by plasma and ion chromatography. Electrical conductivity increased linearly with the addition of HSs; pH values were also increased, but the magnitude of the effects differed between the two HSs fractions. Tomato biomass is higher when $N-NO_3^-$ prevails in relation to $N-NH_4^+$, compared to another N mineral proportions. Increase in C-FA affected positively the availability of

Ca²⁺, P and S. The supply of C-HA increased K⁺ contents in the solution of the growth medium.

Key words: *humic acid, fulvic acid, nitrate, ammonium, nutrient solution.*

4.3 INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas (SHs) regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (CHEN & AVAID, 1990; NARDI et al., 2002). Num esquema simplificado de classificação, as SHs, podem ser separadas em humina, ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), dependendo de suas solubilidades em soluções ácidas ou alcalinas (AIKEN et al., 1985). O AH difere do AF em relação à massa molar, acidez total, presença de grupamentos carboxílicos e fenólicos (STEVENSON, 1994) e bioatividade (PINTON et al., 1998), muito embora tanto frações húmicas de alta e baixa massa molar possam influenciar do mesmo modo o crescimento e fisiologia das plantas (ZANDONADI et al., 2013). Tratam-se, assim, de frações húmicas que apresentam estruturas complexas, com ampla variação na massa molar e diferenças quanto à composição química elementar (ORTEGA & FERNÁNDEZ, 2007) e, por isso, podem regular de modo diferenciado a nutrição e o crescimento do tomateiro. Assim, os radicais carboxílicos (-COO⁻) e fenólicos presentes nas macromoléculas dos AH e AF podem agir como agentes quelantes para cátions, especialmente, aqueles envolvidos na absorção e metabolismo das plantas; podem também apresentar propriedades bioestimuladoras (CHEN & AVAID, 1990; STEVENSON, 1994). Os AFs englobam moléculas de menor massa molar, em comparação aos AH, podendo ser facilmente assimilado pelas raízes, o que o pode aumentar a bioatividade dessa fração húmica (SIRBU et al., 2009). O termo bioatividade pressupõe

maior capacidade de as frações húmicas interagirem positivamente com a planta, resultando em estímulo ao desenvolvimento vegetal (ZANDONADI et al., 2013). Efeitos dos AFs sobre as plantas incluem o aumento da resistência à seca e maior absorção de nutrientes, estabilização do pH do solo e redução da lixiviação de fertilizantes (AIKEN et al., 1985); os efeitos mais relatados dos AH sobre as plantas são associados ao maior crescimento do sistema radicular, já que estimulam a formação de raízes laterais, raízes adventícias, o alongamento da célula e a formação de pelos radiculares (BALDOTTO et al., 2011; JINDO et al., 2012; MORA et al., 2012), sendo esses efeitos dependentes da concentração de AH (ADANI et al., 1998; ORTEGA & FERNÁNDEZ, 2007; KAZEMI, 2014).

O crescimento das plantas é regulado pela quantidade de N disponível e pelas formas de N mineral presentes no meio de cultivo. Há plantas adaptadas a solos mais ácidos que preferem o N-NH_4^+ , em detrimento do N-NO_3^- , como é o caso do eucalipto (PANUCCIO et al., 2001), mas há culturas com baixa tolerância à acidez e que preferem o N-NO_3^- em relação ao N-NH_4^+ , mas nenhuma cultura tolera o suprimento exclusivo de qualquer uma das formas de N (CRUZ et al., 2006; LI et al., 2013). Assim, as proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ presentes no meio de cultivo podem regular a nutrição, crescimento e a produtividade de diferentes espécies vegetais (PANUCCIO et al., 2001; LI et al., 2013; CANELLAS & OLIVARES, 2014). A preferência por absorver uma ou outra forma de N está relacionada à espécie vegetal, à evolução e seleção ecológica das espécies vegetais e as condições em solo que modulam a taxa de nitrificação, importante processo do solo que permite que o N-NH_4^+ seja oxidado a N-NO_3^- (LI et al., 2013). Em adição à influência sobre o crescimento, a relação $\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$, também, pode provocar alterações nas plantas, como mostram os dados de Cruz et al. (2006), uma vez que nesse estudo o cultivo da mandioca apenas com N-NO_3^- ou N-NH_4^+ restringiu a produção de MS, sendo o

N-NH_4^+ mais prejudicial do que o N-NO_3^- . Visando avaliar o efeito das diferentes proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ sobre o girassol, em solução nutritiva, Silva et al. (2010), concluíram que a aplicação de N-NH_4^+ reduziu significativamente o pH da solução nutritiva e que o uso exclusivo da forma amoniacal causou menores produções de MS e que o suprimento de N na forma nítrica permitiu maior crescimento do girassol.

A adição de 5 kg ha^{-1} de AH, segundo Aman & Rab (2013), resultou em maior sobrevivência e altura das plantas, comprimento das folhas, peso dos frutos e produtividade do tomateiro; a dose de 125 kg ha^{-1} de N propiciou alto rendimento e produtividade. Os autores concluíram que a aplicação de N e AH em conjunto afetou positivamente o desenvolvimento e crescimento do tomateiro. Pertuit Jr et al. (2001), ao avaliarem a influência da adição de concentrações de Leonardita (material húmico rico em AH e AF), com diferentes níveis de adubação para o tomateiro, concluíram que não houve resposta do tomateiro quando a Leonardita foi aplicada sem a adição de fertilizantes. Porém, o material húmico estimulou o crescimento das plantas, quando combinada com fontes de nutrientes, e que concentrações acima de 0,5 % de Leonardita reduzem o crescimento e as respostas das plantas à adubação húmica. Suh et al. (2014), ao estudar o efeito da aplicação foliar de AF sobre o crescimento da planta e a qualidade do fruto do tomate, verificou que a concentração de $0,8 \text{ g L}^{-1}$ de AF elevou a altura da planta e aumentou o peso de massa fresca e seca, enquanto que a concentração de $1,6 \text{ g L}^{-1}$ reduziu os atributos fitotécnicos mencionados. Há redução do crescimento das plantas quando altas concentrações de material húmico estão presentes no meio de cultivo, o que está de acordo com os dados obtidos por Baldotto & Baldotto (2014).

A adição de SHs de baixa massa molar pode estimular a atividade hormonal das plantas e, conseqüentemente, a absorção de nitrato (PICCOLO et

al., 1992). O efeito das SHs na absorção e assimilação de nitrato em mudas de cevada foi estudado por Albuzio et al (1986), que verificaram maior atividade das enzimas nitrato redutase, glutamato desidrogenase e glutamina sintetase, resultado da maior síntese de aminoácidos e do metabolismo do N nas plantas, o que promoveu maior absorção e assimilação de nitrato. Para espécies de pinus, o uso de fração húmica de alta massa molar propiciou maior aproveitamento de N-NH_4^+ , mas não interferiu na absorção do N-NO_3^- (PANUCCIO et al., 2001).

Os efeitos de concentrações de AH e AF e de outras frações orgânicas sobre o crescimento e a nutrição de plantas têm sido amplamente relatadas, mas pouco se sabe sobre a interação do AH e AF com as formas de N mineral. As formas de N-NO_3^- e N-NH_4^+ podem afetar aspectos ligados à fisiologia e bioquímica, bem como regular a absorção e o acúmulo de nutrientes nas plantas (CANELLAS & OLIVARES, 2014). Quando se adiciona SHs no meio de cultivo, pode haver mudanças na atividade da H^+ -ATPases que, associadas ao N-NO_3^- , estimulam o crescimento do sistema radicular (PINTON et al., 1999). A aplicação de N-NO_3^- permite maior acúmulo de sacarose e ácidos orgânicos nas plantas, enquanto que o N-NH_4^+ reduz a concentração dessas substâncias (MORA et al., 2010; LI et al., 2013). As SHs afetam ainda a taxa de nitrificação (TAN & LOPEZ-FALCON, 1987), por isso, podem controlar o balanço das formas de N mineral no solo. Sabidamente, o AH e o AF estimulam o crescimento das raízes, interferindo na disponibilidade e na absorção de nutrientes pelas plantas. A aplicação conjunta de N mineral e de AH e AF pode ter implicações positivas para as plantas, já que o uso conjunto de SHs e de combinações ótimas de N-NO_3^- e N-NH_4^+ pode fazer com que o N seja utilizado de modo mais eficiente. Pode-se antecipar que o suprimento de N com predomínio de N-NO_3^- sobre N-NH_4^+ , simultaneamente à aplicação de SHs, pode assegurar ao tomateiro maior absorção de N pelas raízes e maior suprimento do nutriente para a parte aérea. Como hipótese secundária, espera-se

que a resposta do tomateiro ao AF seja maior do que a do AH, devido à maior bioatividade da primeira fração húmica, sendo essas as hipóteses e justificativas para a realização do estudo. Assim, objetivou-se avaliar o acúmulo de nutrientes e o crescimento do tomateiro em função de concentrações de C-AH e C-AF combinadas com o fornecimento de diferentes proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , com o cultivo de plantas em areia lavada e fornecimento de nutrientes às plantas via solução nutritiva.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as análises foram realizadas no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica (LEMOS), ambos localizados no Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG. Foram utilizadas amostras de rocha arenosa oriundas de horizonte C de Cambissolo, com as seguintes características: pH em água: 8,8; K: 10 mg dm^{-3} ; P: $2,3 \text{ mg dm}^{-3}$; Ca: $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al: $0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; t: $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V: 61,6 %; m: 0 %; MO: $0,04 \text{ dag kg}^{-1}$; Zn: 1 mg dm^{-3} ; Fe: $15,9 \text{ mg dm}^{-3}$; Mn: $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$; Cu: $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$; B: $0,07 \text{ mg dm}^{-3}$ e S-sulfato: $6,2 \text{ mg dm}^{-3}$. As frações texturais presentes no substrato arenoso são as que se segue: 4 dag kg^{-1} de argila; 4 dag kg^{-1} de silte e 92 dag kg^{-1} de areia.

Para cada parcela experimental, 1,7 kg de substrato arenoso foi incubado com o C-AH e C-AF em combinação com diferentes proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , por aproximadamente 24 horas, sendo a umidade mantida próxima a 80% da capacidade de campo. Em sequência, foi retirada a solução do meio de cultivo, sendo os extratos líquidos identificados e armazenados em câmara fria, para posterior análise do pH, condutividade elétrica (CE) e teores de

macronutrientes por espectroscopia de emissão atômica por plasma induzido e cromatografia iônica (nitrato).

O AH, extraído de Leonardita australiana por meio do uso de solução de hidróxido de potássio (KOH), apresentava as seguintes características: pH em água: 9,7; CE: 10,2 dS m⁻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 AH testadas foram definidas em relação ao teor de C presente no AH-Leonardita. O AF, também extraído de Leonardita australiana, apresentava as seguintes características: C: 42 %; N-total: 1,8 g kg⁻¹; P: 0,1 g kg⁻¹; K: 1,6 g kg⁻¹; Ca: 42,8 g kg⁻¹; Mg: 0,6 g kg⁻¹; S: 360,5 g kg⁻¹; Cu: 1,1 mg kg⁻¹; Fe: 43,9 mg kg⁻¹; Mn: 39,3 mg kg⁻¹; Zn: 2,9 mg kg⁻¹; B: 17,1 mg kg⁻¹. As concentrações de AF testadas foram definidas em relação ao teor de C presente nessa fração húmica.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x5, de modo que os tratamentos englobaram três proporções de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺, respectivamente, 70:30, 50:50 e 30:70, combinadas com cinco concentrações de C-AH e de C-AF (0, 5, 10, 50 e 100 mg kg⁻¹) de forma distintas e individual, em três repetições. O material húmico foi adicionado em estado sólido e misturado à massa de areia de cada vaso de cultivo. As proporções de N mineral foram definidas com base na solução nutritiva adaptada de Hoagland e Arnon (1950), que foi adicionada à areia visando atingir 70 % de sua capacidade de campo, com adição de cerca de 320 mL de solução nutritiva por vaso de cultivo. A solução nutritiva apresentava a seguinte composição química: pH; 6,0; CE: 1,8 dS m⁻¹; N-total: 210 mg L⁻¹; P: 31 mg L⁻¹; K: 235 mg L⁻¹; Ca: 160 mg L⁻¹; Mg: 34 mg L⁻¹; S: 64 mg L⁻¹; Fe-EDTA: 2,5 mg L⁻¹; Cu: 0,1 mg L⁻¹; Zn: 0,1 mg L⁻¹; Mn: 0,5 mg L⁻¹; B: 0,5 mg L⁻¹ e Mo: 0,01 mg L⁻¹; assim, em razão dos tratamentos, foram modificadas as proporções de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ na solução de Hoagland e Arnon (1950). Dados pertinentes às

características das soluções nutritivas utilizadas no cultivo do tomateiro estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentração de nutrientes e fontes p.a. utilizadas na preparação da solução nutritiva adaptada de Hoagland e Arnon (1950), em função das proporções de N-mineral testadas (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺).

Fontes de Nutrientes	Fórmula Química	Massa Molar	Proporção de N-NO ₃ ⁻ :N-NH ₄ ⁺		
			30 : 70	50 : 50	70 : 30
		----- mg -----	----- mg L ⁻¹ -----		
Fosfato de Amônio	NH ₄ H ₂ PO ₄	132,1	115,0	115,0	132,1
Nitrato de Potássio	KNO ₃	101,1	347,3	347,3	347,3
Cloreto de Potássio	KCl	74,5	191,1	191,1	191,1
Sulfato de Magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	246,4	283,6	-	182,1
Nitrato de Magnésio	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	256,4	68,2	138,8	128,2
Cloreto de Magnésio	MgCl ₂	203,3	-	177,8	118,5
Nitrato de Cálcio	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236,1	63,2	354,2	661,2
Cloreto de Cálcio	CaCl ₂	147,0	405,4	183,7	152,3
Sulfato de Cálcio	CaSO ₄ .H ₂ O	172,1	167,7	215,1	28,1
Sulfato de Amônio	(NH ₄) ₂ SO ₄	132,1	64,3	99,1	198,2
Nitrato de Amônio	NH ₄ NO ₃	80,0	-	-	40,0
Hidróxido de Amônio	NH ₄ OH	35,0	299,3	175,2	-
			----- mL L ⁻¹ -----		
Solução 'a'			1	1	1
Solução de Fe-EDTA			1	1	1

Solução 'a' (micronutrientes): 2,86g de ácido bórico (H₂BO₃); 2,43g de sulfato de manganês (MnSO₄.H₂O); 0,22g de sulfato de zinco (ZnSO₄.7H₂O); 0,08g sulfato de cobre (CuSO₄.5H₂O); 0,02 g de molibdato de amônio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O).

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 vasos plásticos, mantendo-se duas plantas por vaso, onde se acondicionou 1,7 kg de substrato arenoso, sendo o estudo, assim, composto por 90 parcelas experimentais. Em sequência, as mudas foram transferidas para os vasos com areia lavada com solução nutritiva adaptada de Hoagland e Arnon (1950), com 50 % da sua força iônica (período de adaptação), pelo período de uma semana. Posteriormente, as soluções nutritivas foram trocadas a cada 10 dias de cultivo, com aumento da força iônica para 50% e, depois, para 100 %.

A irrigação foi feita diariamente e a reposição de água foi ajustada de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura e as condições climáticas; nesse manejo, utilizou-se água deionizada, visando manter o teor de água do meio de cultivo próximo de 70% da capacidade de campo.

Após 35 dias de cultivo, as plantas foram colhidas, lavadas em água destilada e subdivididas em parte aérea (PA) e raízes (R); posteriormente, foram acondicionadas em sacos de papel do tipo *Kraft* e colocadas em estufa com circulação forçada de ar, a 65-70 °C, até peso constante, conforme descrito por Jones Junior et al. (1991). Foi analisada a MS da PA, das R e total (PA+R) do tomateiro. Após a determinação dos pesos de MS, foi realizada a moagem do material vegetal em moinho Willey, com peneira de 20 mesh. As amostras moídas foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados, para análise posterior dos teores de nutrientes nos tecidos vegetais, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). O acúmulo de nutrientes na parte aérea foi feito relacionando a MS de cada tratamento com a respectiva concentração do nutriente nesse tecido vegetal do tomateiro.

Os efeitos dos diferentes tratamentos sobre os atributos analisados foram verificados a partir da análise de variância e, quando foram observadas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, os dados foram submetidos à análise de regressão, associando-se, para cada proporção de N mineral, as concentrações de C-AH e C-AF com o atributo do meio de cultivo ou da planta avaliado. Adotou-se o nível de significância de 5 % de probabilidade e as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Atributos da solução do meio de cultivo

Foram avaliados vários atributos da solução do meio de cultivo, por ocasião do plantio das mudas de tomateiro, visando avaliar a influência dos tratamentos sobre a concentração de macronutrientes, pH e CE da solução nutritiva adaptada de Hoagland & Arnon (1950). A CE e o pH da solução, em função das concentrações crescentes de C-AH e C-AF, combinadas com as proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , são apresentadas na Figura 1. O pH e CE variaram em função da aplicação das proporções de N mineral e de SHs. Com a utilização das proporções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ e de C-AH e C-AF, observa-se que o aumento das concentrações dessas substâncias eleva significativamente a CE, o que pode estar associado às características químicas e a bioatividade das SHs, das frações iônicas dissolvidas presentes na solução e da composição química da areia lavada. Sabidamente os materiais húmicos utilizados possuem CE maior do que a da areia lavada, daí ser esperada a elevação da CE do meio de cultivo. Quando se utilizou o C-AH, a CE, em média, foi 10 % maior em relação à determinada no substrato com C-AF. Em relação ao pH, na proporção

de N mineral ($\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$, de 30:70), quando se adiciona C-AH, há aumento do pH até uma concentração ótima (54 mg kg^{-1} de C-AH), com posterior declínio dos valores de pH; quando a fonte foi o C-AF, para essa mesma proporção de formas de N, o pH se ajustou a uma curva de padrão linear crescente, à medida que se aumentavam as concentrações de C-AF. A proporção de N mineral, $\text{N-NO}_3^-:\text{N-NH}_4^+$, de 50:50, quando adicionado ambas fontes de material húmico, reduziu os valores de pH da solução. Quando o N-NO_3^- prevaleceu no meio de cultivo em relação ao N-NH_4^+ (70:30), os valores de pH não apresentaram diferenças significativas entre os materiais húmicos testados. O aumento do pH, assim, foi influenciado pelas proporções de N no meio, e foi notado padrão de aumento do pH no meio de cultivo à medida que foram aumentadas as concentrações das SHs. Resta saber se esses efeitos de mudanças na CE e pH do meio de cultivo se manifestariam em solos mais tamponados, como não é o caso do material testado. Assim, em meio pouco tamponados, os materiais húmicos regulam o pH e CE do meio de cultivo, tendo em vista que, à medida que se acrescem as concentrações de C-AH e C-AF, há aumento linear da CE, e acréscimo variável e dependente da concentração e tipo de SH, para o pH. As proporções de N mineral também afetam o pH e o C-AF proporciona acréscimos de menor magnitude no pH e CE do que o C-AH.

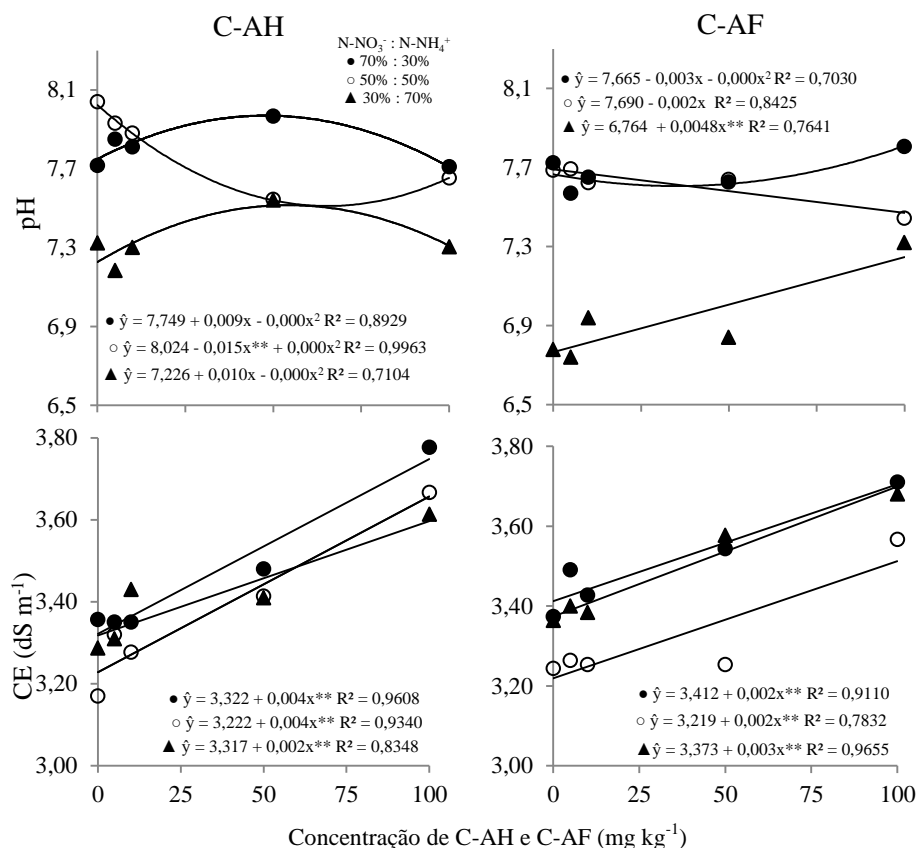


Figura 1 – Valores de pH e condutividade elétrica (CE) da solução de meio de cultivo do tomateiro, para diferentes proporções de N mineral, combinadas com concentrações de C-ácido húmico (C-AH) e de C-ácido fúlvico (C-AF).

Os teores de nutrientes presentes na solução do solo, em função das concentrações crescentes de C-AH e C-AF, combinadas com as proporções de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, são apresentadas nas Figuras 2 e 3. Os teores de nutrientes variam em função da aplicação das proporções de N mineral e do material húmico. O teor de P foi superior onde o N-NH₄⁺ prevaleceu sobre a forma nítrica de N; as concentrações de C-AF tem efeito positivo sobre os teores de P em solução, com maior magnitude que o C-AH, contudo ambas as frações húmicas

regulam os teores de P prontamente disponível às plantas. Para as outras proporções de N mineral a disponibilidade foi menor e a adição de SHs não alterou os teores de P na solução do meio de cultivo. A adição de C-AH, em todas as proporções de N mineral testadas, proporcionou aumentos significativos nos teores de K^+ na solução, em função do aumento das concentrações, quando comparado com o C-AF, de modo que o K^+ não é regulado pelas concentrações de C-AF, ou, por outro lado, não forma complexos solúveis com essa fração húmica. Essa sinergia entre K^+ e AH já foi observada em outros estudos, sendo exemplos os resultados apresentados em Ortega & Fernández (2007) e Vaughan & McDonald (1971).

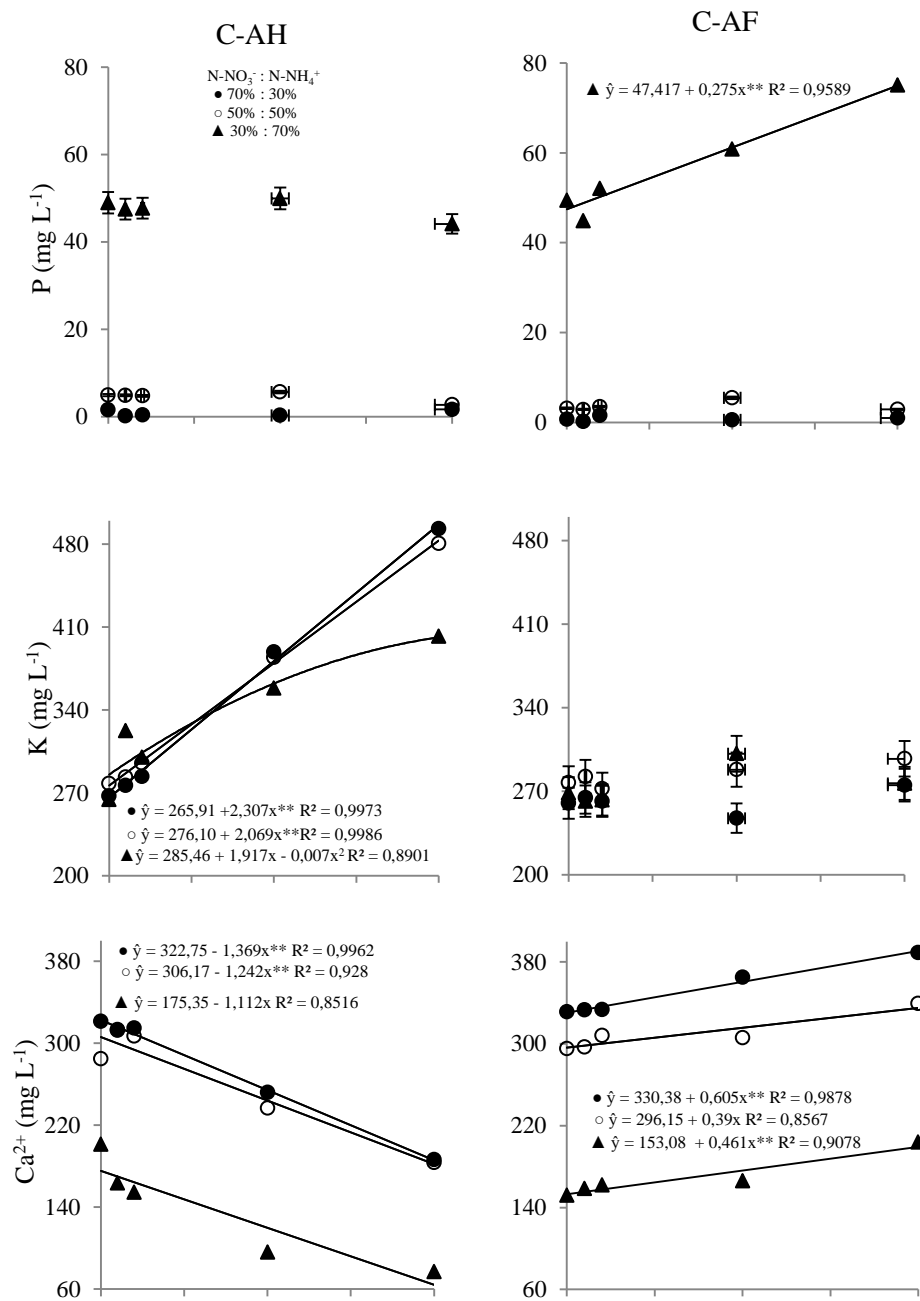


Figura 2 – Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca²⁺) da solução da solução de cultivo do tomateiro, para diferentes proporções de N mineral combinadas com concentrações crescentes de C-ácido húmico (C-AH) e C-ácido fúlvico (C-AF).

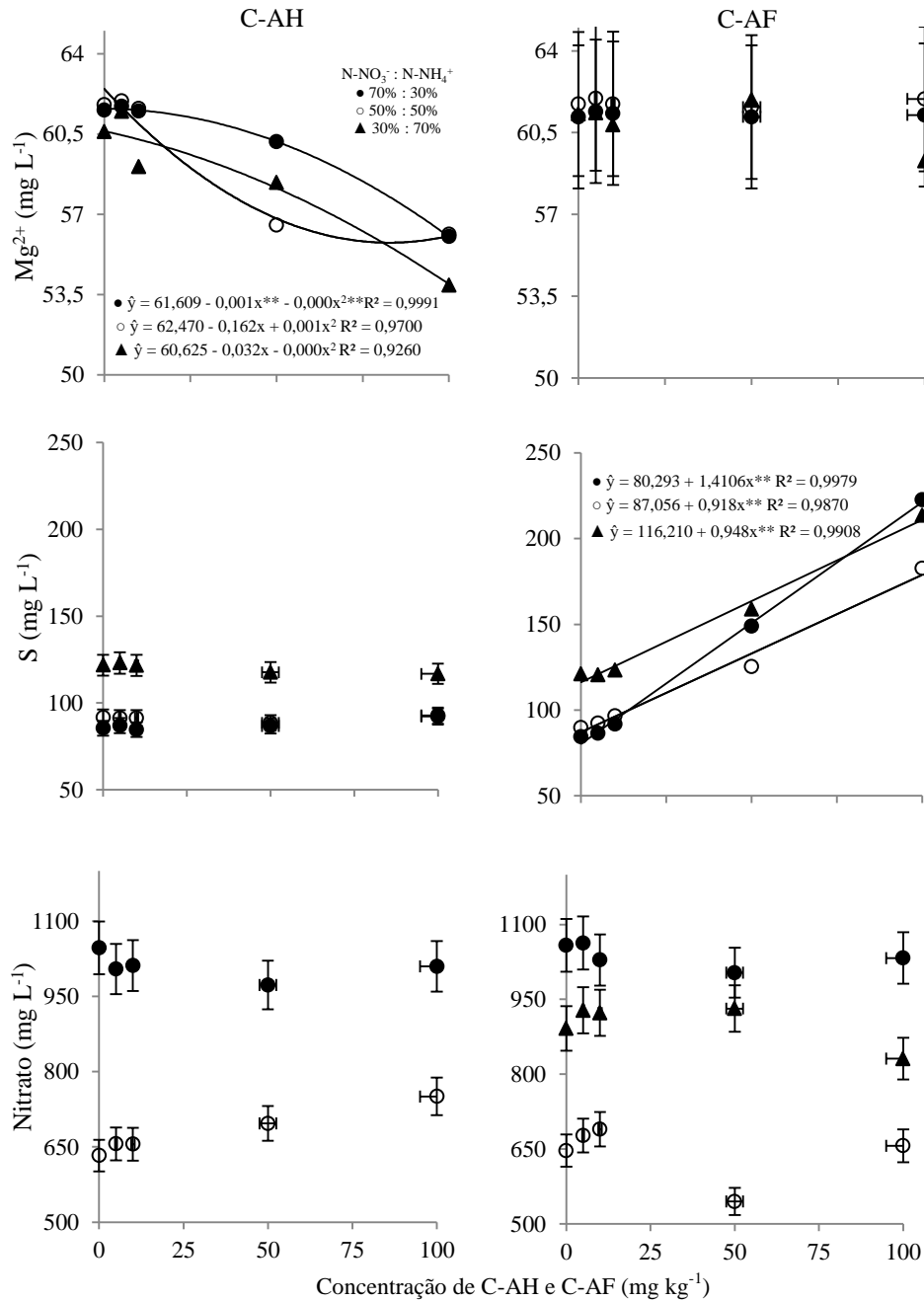


Figura 3 – Teores de magnésio (Mg²⁺), enxofre (S) e nitrato da solução da solução de cultivo do tomateiro, para diferentes proporções de N mineral combinadas com concentrações crescentes de C-ácido húmico (C-AH) e C-ácido fúlvico (C-AF).

Em relação aos teores de Ca^{2+} , os valores decresceram quando há menos N-NO_3^- no meio de cultivo, proporcionalmente ao N-NH_4^+ , com adição conjunta de C-AH. Quando a oferta de N-NO_3^- foi aumentada e se utilizou o C-AF, foi verificada sinergia do material húmico com o Ca^{2+} , em função do aumento das concentrações, com os teores de Ca^{2+} se ajustando a equação linear. Em contrapartida, a adição de C-AF com as proporções de N mineral não afetam o Mg^{2+} na solução de areia lavada; a adição de C-AH diminui a disponibilidade desse nutriente, em função do aumento das concentrações da fração húmica. Quando há, proporcionalmente, mais N-NH_4^+ que N-NO_3^- o acréscimo na concentração de C-AF aumenta a disponibilidade de S-sulfato na solução. O C-AH não influencia o S em solução, independentemente da proporção de N mineral. Contudo, há mais S disponível quando o N-NH_4^+ predomina sobre o N-NO_3^- . Em relação à disponibilidade de nitrato, após 24 horas de incubação, é possível observar que os teores são maiores quando se tem no meio de cultivo maiores proporções de N-NO_3^- , mas diferem em função da adição de material húmico; tem-se um concentração ótima (37 mg kg^{-1} de C-AF) que aumenta a disponibilidade de nitrato, quando se adiciona N na proporção de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ na proporção de 70:30. O fornecimento de N mineral em proporções iguais, em conjunto com C-AH, aumenta de forma linear os teores de N-nítrico, com ajuste dos dados a equação linear, em função do aumento das concentrações de C-AH. É possível notar que há um maior efeito positivo do C-AF quando comparada com o C-AH, sendo uma possível explicação para isso o fato de que essa fração húmica aumenta a disponibilidade de nutrientes na solução (SIRBU et al., 2009; MOHAMED, 2012), quando há maior oferta de N-NH_4^+ . Um fato relevante é o de que essa forma de N não é a preferencial para o tomateiro, para se obter máximo crescimento, como foi demonstrado por Porto (2013), que avaliou fontes e doses de N na produção e qualidade de tomate e concluiu que a fonte

nítrica possibilitou maior acúmulo de MS na maior dose estudada, 420 kg ha⁻¹, em relação ao uso de sulfato de amônio e de ureia.

4.5.2 Produção de Biomassa

Os dados de produção de MS total, parte aérea e raízes cultivadas com as diferentes proporções de N mineral, em função da combinação das concentrações de C-AH e C-AF, são apresentados na Figura 4. Há maior produção de MS total, da parte aérea e de raízes com o acréscimo das concentrações de C-AF, na proporção de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ de 70:30, até uma concentração ótima de 56 mg kg⁻¹ de C-AF. Avaliando o uso de AF na cultura do tomateiro, Suh et al. (2014) concluíram que a aplicação foliar de 0,8 g L⁻¹ de AF elevou a altura e propiciou acréscimo no peso fresco e MS do tomateiro, o que atesta o efeito positivo que essa fração húmica exerce sobre a cultura. Nas proporções de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ de 30:70 e 50:50, quando se adiciona o C-AF, há uma interação negativa das formas de N com o material húmico, resultando em menor crescimento e produção de MS do tomateiro. A menor produção de MS foi notada quando há no meio de cultivo mais N-NH₄⁺ proporcionalmente ao N-NO₃⁻.

O aumento das concentrações de C-AH reduz as produções de MS total, parte aérea e raízes pelo tomateiro. Em geral, o acréscimo da produção de MS é pouco influenciado pelas SHs, mas, independentemente das proporções de N mineral testadas, há maior produção de MS do tomateiro quando a fonte de material húmico é o C-AH, em comparação ao C-AF, e quando se cultiva na proporção de N-NO₃⁻:N-NH₄⁺ de 70:30 (Figura 4). A concentração ótima de 56 mg kg⁻¹ de C-AF que causa maior produção de MS do tomateiro é suficiente para igualar as condições de acúmulo de MS quando se utiliza o C-AH em menores concentrações. Avaliando a modulação de absorção de nitrato por

substâncias húmicas extraídas de água e o envolvimento da atividade da H^+ ATPase da membrana plasmática do sistema radicular de milho, Pinton et al. (1999) observaram que as SHs, quando adicionadas com o nitrato, resultaram em uma interação positiva, com a maior atividade enzimática e, por conseguinte, maior absorção de nitrato. No presente estudo, não observou-se uma interação sinérgica do uso conjunto de material húmico para o tomateiro com diferentes proporções de N mineral, à exceção da aplicação de C-AF, na proporção de $N-NO_3^-:N-NH_4^+$ de 70:30. Essa conclusão decorre do fato de que a maior produção de MS total do tomateiro é alcançada quando o $N-NO_3^-$ predomina sobre o $N-NH_4^+$ e quando não se utiliza SHs no meio de cultivo. Esses resultados não estão de acordo com aqueles apresentados por Panuccio et al. (2001), que verificaram sinergia entre AH e amônio no cultivo de pinus. Independentemente da fonte de SH, há maior crescimento do tomateiro quando o $N-NO_3^-$ predomina sobre o $N-NH_4^+$, para MS total, da parte aérea e de raízes. Essa última, para a maioria dos tratamentos testados.

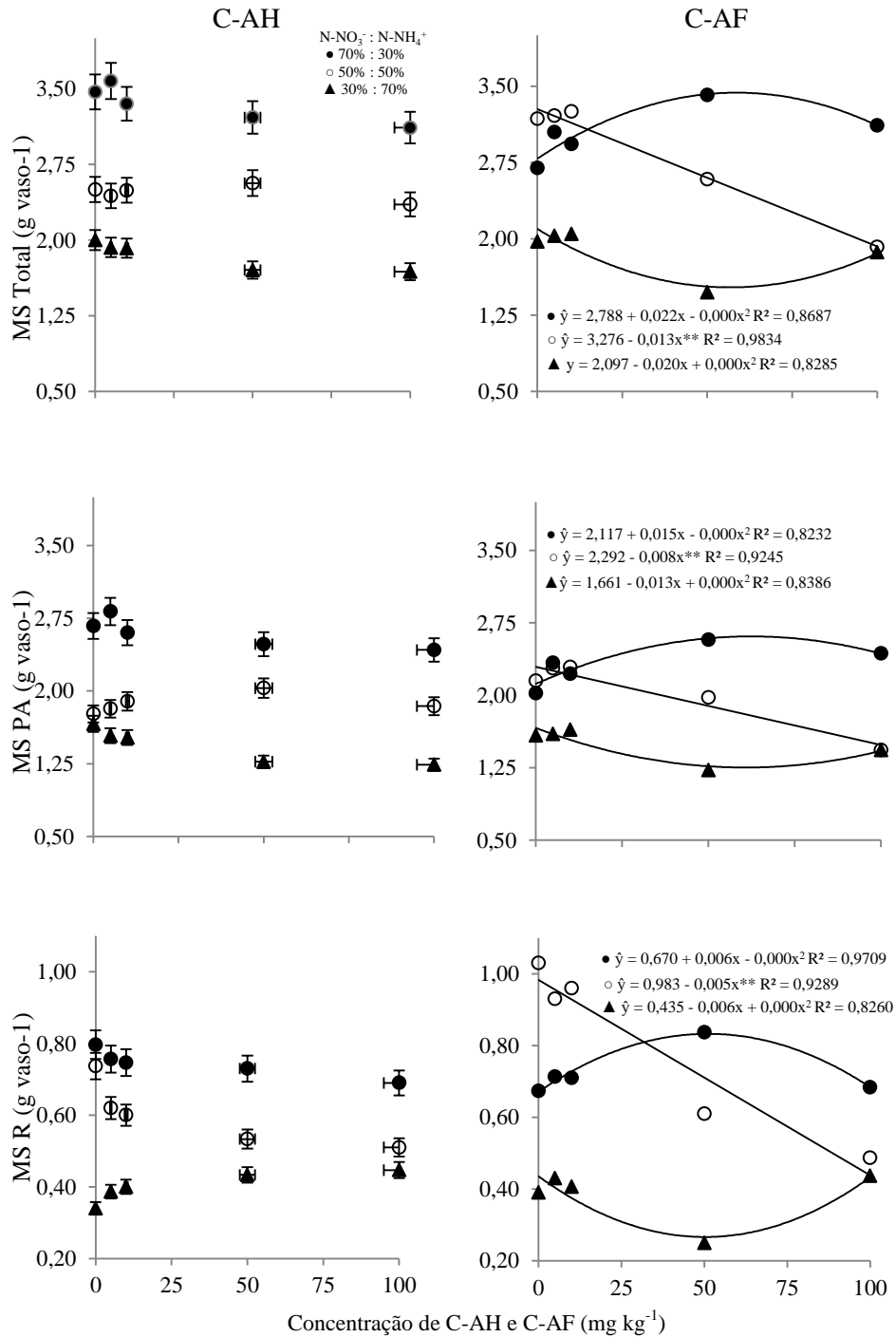


Figura 4 – Acúmulo de massa seca (MS) total, parte aérea (PA) e raízes (R) do tomateiro cultivado e suprido com nutrientes via solução nutritiva, para diferentes proporções de N mineral combinadas com concentrações de C-ácido húmico (C-AH) e C-ácido fúlvico (C-AF).

A relação da MS de raízes e da PA (relação R/PA) são apresentados na Figura 5. Não há diferenças significativas da aplicação de SHs combinadas com as proporções de N mineral para a relação R/PA.

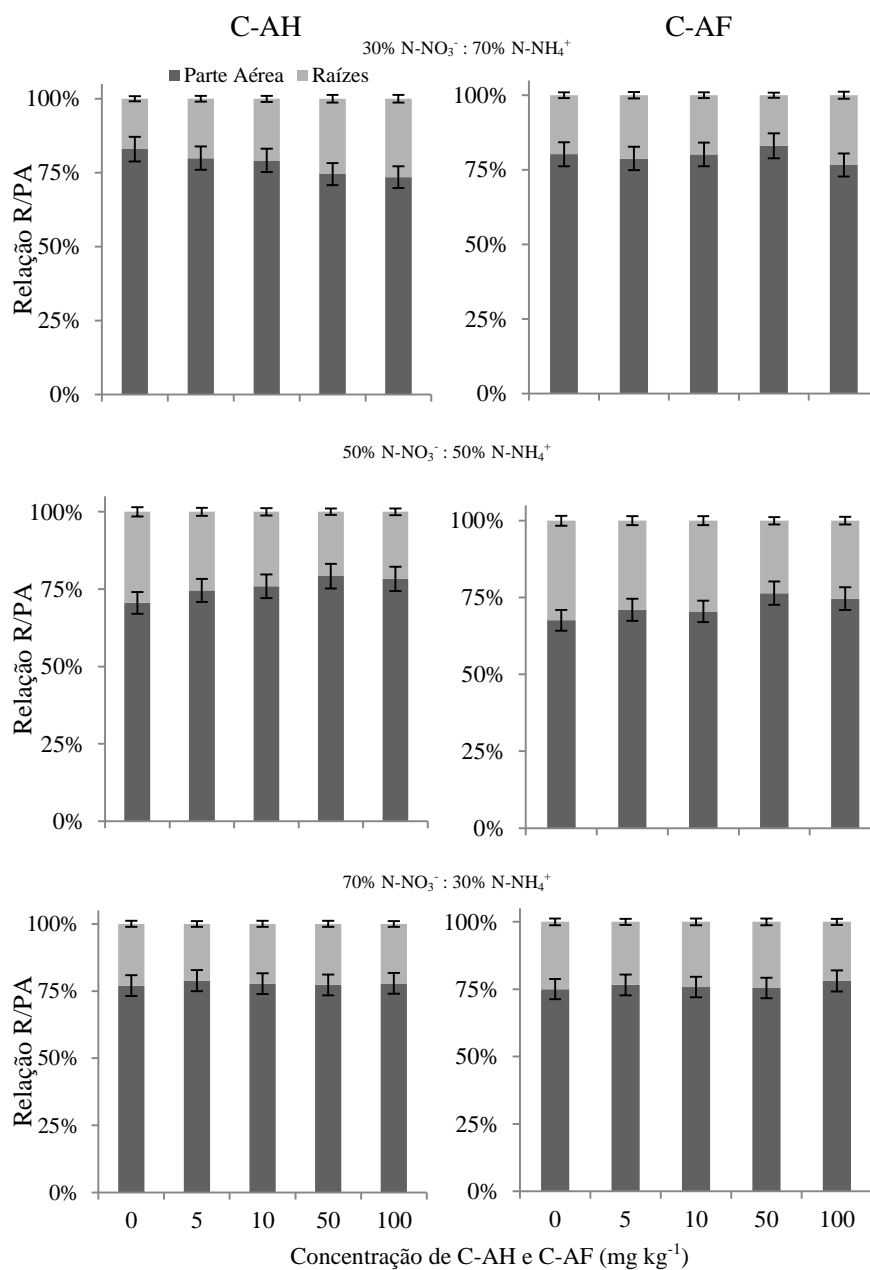


Figura 5 – Relação Raízes (R) e parte aérea (PA) do tomateiro cultivado e suprido com nutrientes via solução nutritiva, para diferentes proporções de N mineral combinadas com concentrações de C-ácido húmico (C-AH) e C-ácido fúlvico (C-AF).

Com o uso de C-AF foi notado padrão de maior efeito dessa substância sobre a produção de MS do tomateiro, em razão do aumento das concentrações, e quando combinada com $N-NO_3^-:N-NH_4^+$ de 70:30 (Figura 4), ou seja, parece que o C-AF cria um ambiente mais propício para o tomateiro, a despeito que o material húmico pode causar maior eficiência de absorção de N mineral nessa proporção. Por outro lado, também é possível que haja uma sinergia entre o C-AF com maiores teores de $N-NO_3^-$ no meio de cultivo, devido à sua possível maior bioatividade. Ao desenvolver fertilizantes organo-minerais para o uso em agricultura sustentável, Sirbu et al. (2009) constataram que a aplicação de SHs apresentaram respostas positivas sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal e que os AF, por possuírem moléculas e massa molar menor, em comparação com os AH, foi facilmente assimilado pelas raízes, demonstrando a maior bioatividade dessa fração orgânica.

Em relação à dinâmica do N mineral, Piccolo et al. (1992) avaliaram as características estruturais de substâncias húmicas relacionadas à absorção de nitrato e regulação do crescimento em sistemas vegetais. Os autores concluíram que, dentro de um período de incubação de 16 horas com SHs, as plantas tiveram estímulos positivos e sinérgicos com a adição dos materiais húmicos, resultando em maior absorção de nitrato; segundo os autores, a resposta das plantas está intimamente ligada às concentrações de SHs utilizadas e de grupos carboxílicos presentes na estrutura das moléculas húmicas.

O crescimento do tomateiro foi maior com o cultivo nas proporções de $N-NO_3^-:N-NH_4^+$ de 70:30, o que pode estar associado a uma solução mais equilibrada em formas de N mineral para o desenvolvimento do tomateiro. A maior disponibilidade de $N-NO_3^-$ parece intensificar os efeitos benéficos das respostas do tomateiro para a proporção de N mineral em questão, interferindo positivamente na disponibilidade e uso de nutrientes pelo tomateiro, ou por criar

condições no meio de cultivo ótimas para o maior crescimento das plantas. Há uma maior interação do C-AF com o tomateiro, mostrando que essa sinergia, pode chegar a determinar maior produção de MS. Para concentrações acima da ótima (56 mg kg^{-1} de C-AF), há redução do crescimento das plantas, o que está de acordo com os resultados obtidos por Baldotto & Baldotto (2014).

Foi observado maior crescimento das raízes onde o N-NO_3^- é mais ofertado que o N-NH_4^+ , com a adição conjunta de C-AH, mostrando a capacidade dos AHs em estimular diretamente vários processos fisiológicos que promovem o crescimento vegetal, especialmente do sistema radicular. O efeito dessa substância no crescimento das plantas pode estar relacionado com efeitos diretos e/ou efeitos indiretos (NARDI et al., 2002, MORA et al., 2012).

Nos tratamentos com maior disponibilidade de N-NH_4^+ no meio de cultivo, houve menores produções de MS pelo tomateiro. Com isso, diferentes hipóteses foram elaboradas para explicar as causas do menor crescimento das plantas e possíveis sintomas de toxidez, quando há mais oferta do N-NH_4^+ . Entre as quais, a relação da entrada excessiva de N-NH_4^+ com a despolarização da membrana plasmática e do tonoplasto, a acidificação das organelas celulares, na tentativa de manter o potencial elétrico das membranas, mudanças no status de carboidratos das plantas, desacoplamento da fotofosforilação e, conseqüentemente, distúrbios fisiológicos que levam à morte das células e do tecido (BRITTO & KRONZUCKER, 2002; BRITTO & KRONZUCKER, 2005).

Quando se investigou o grau de associação dos atributos fitotécnicos do tomateiro com o pH e a CE da solução da areia lavada cultivada e com suprimento de nutrientes via solução nutritiva, para as diferentes proporções de N mineral, combinadas com concentrações de C-AH e C-AF, foi verificado que tanto o pH quanto a CE não regulam a MS do tomateiro, dado os baixos coeficientes de correlação obtidos (Tabela 2). Quando se avalia o grau dos

atributos, percebe-se que o pH explica parte da variação na produção de MS, mais até do que a CE. Mas que existem outros fatores mais relevantes que regulam a produção de biomassa.

Tabela 2 – Coeficientes de correlação entre a massa seca (MS) total, parte aérea (PA) e raízes (R) com o pH e condutividade elétrica (CE) da solução do meio de cultivo do tomateiro em função de diferentes proporções de N mineral, dentro da concentração de cada fração húmica investigada, C-ácido húmico (C-AH) e C-ácido fúlvico (C-AF).

Atributos	C-AH		C-AF	
	pH	CE	pH	CE
	Solução do Solo			
	----- 70 % N-NO ₃ ⁻ :30 % N-NH ₄ ⁺ -----			
MS PA	-0,18	-0,14	-0,26	-0,48
MS R	0,12	0,29	0,17	-0,12
MS Total	-0,11	-0,04	-0,13	-0,38
	----- 50 % N-NO ₃ ⁻ :50 % N-NH ₄ ⁺ -----			
MS PA	0,26	0,03	-0,24	-0,43
MS R	0,32	-0,40	-0,05	-0,42
MS Total	0,32	-0,06	-0,18	-0,44
	----- 30 % N-NO ₃ ⁻ :70 % N-NH ₄ ⁺ -----			
MS PA	-0,15	-0,16	-0,10	0,41
MS R	-0,11	-0,23	0,34	0,08
MS Total	-0,16	-0,19	0,01	0,37

4.6 CONCLUSÕES

Há maior produção de MS do tomateiro quando o N-NO₃⁻ predomina em relação ao N-NH₄⁺, tanto para a MS total, da parte aérea e de raízes.

Há interação negativa entre o C-AH e as formas de N mineral, de modo que essa fração húmica não aumenta a MS, ao contrário, a diminui. Há sinergia entre o C-AF e o N-NO₃⁻, mas as produções de MS proporcionadas por cerca de

56 mg kg⁻¹ de C-AF equivalem aquelas produzidas em meio sem uso de AH e com prevalência do N-NO₃⁻ sobre o N-NH₄⁺.

As concentrações de C-AH reduzem os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e aumentam os de K. Os teores de P são muito influenciados pela forma de N mineral no meio de cultivo e positivamente pela presença de mais N-NH₄⁺ e aumento na concentração de C-AF, em relação ao C-AH.

Há sinergia entre as concentrações de C-AF e teores de Ca²⁺ e S disponível no meio de cultivo.

A adição de material húmico aumenta linearmente a CE, para valores além do crítico (3 dS m⁻¹) para o tomateiro; o pH também aumenta com adição de SHs no meio, com efeitos distintos para o C-AH e C-AF. Mesmo havendo variações no pH e CE, em função da combinação dos fatores testados, esses atributos da solução do meio de cultivo não regulam a produção de massa seca do tomateiro.

4.7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 308592/2011-5 e 461935/2014-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por custearem as ações de pesquisa deste estudo e financiarem bolsas de pesquisa aos autores e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por custear parte das ações de pesquisa.

4.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANI, F.; GENEVI, P.; ZACCHEO, P.; ZOCCHI, G. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.21, n.3, p.561-575. 1998.

ALBUZIO, A.; FERRARI, G.; NARDI, S. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. **Canadian Journal Soil Science**, v.66, p.731-736, nov. 1986.

AMAN, S. & RAB, A. Response of tomato to nitrogen levels with or without humic acid. **Sarhad Journal of Agriculture**, v.29, n.2, p.181-186. 2013.

AIKEN, G.R.; MCKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L.; MACCARTHY, P. An introduction to humic substances in soil, sediment and water. In: AIKEN, G.R.; MCKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L., editors. **Humic substances in soil sediment and water: Geochemistry, isolation and characterization**. New York: John Wiley & Sons; 1985.

BALDOTTO, M.A. & BALDOTTO, L.E.B. Ácidos Húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, p.856-881, nov./dez. 2014.

BALDOTTO, M.A.; ROSA, R.C.C.; CANELLAS, L.P.; RANGEL, T.P.; SALOMÃO, M.S.M.B.; REZENDE, C.E. Capacidade de oxidação como índice de estabilidade da matéria orgânica de sedimentos de acordo com gradiente fluvial-estuarino do Rio Paraíba do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v.34, n.6, p.973-978. 2011.

BRITTO, D.T. & KRONZUCKER, H.J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, v.159, n.6, p.567-584. 2002.

BRITTO, D.T. & KRONZUCKER, H.J. Plant nitrogen transport and its regulation in changing soil environments. **Journal of Crop Improvement**, v.15, n.2, p.1-23. 2006.

CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P., editores.

Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre-PR: Metrópole. 2008.

CANELLAS, L.P. & OLIVARES, F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v.1, n.3, p.1-11. 2014.

CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.L.O.; FAÇANHA, F.L. 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.4, p.1951-1957. 2002.

CHEN, Y. & AVAID, T. Effects of humic substances on plant growth. In: MACCARTHY P., ed. **Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings.** Chicago, CAB. 1990. P.161-87.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; ARAÚJO, W.L. Efeito do nitrato e amônio sobre o crescimento e eficiência de utilização do nitrogênio em mandioca. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.467-475. 2006.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1036-1042, nov./dez. 2011.

HOAGLAND, D.D. & ARNON, D.I. **The water culture method for growing plant without soil.** California Agricultural Experimental Station, Berkeley, California, Circ. 1950.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide.** Athens, Micro Macro Publishing. 1991.

JINDO, K.; MARTIM, A.S.; NAVARRO, E.C.; PÉREZ-ALFOCCA, F.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; CANELLAS, L.P. Root growth promotion by

humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. **Plant and Soil**, Crawley, v.353, n.1-2, p.209-220. 2012.

KAZEMI, M. Effect foliar application of humic acid and calcium chloride on tomato growth. **Bulletin of Environmental Pharmacology and Life Science**, India, v.3, n.3, p.41-46. 2014.

LEE, C.H.; SHIN, H.S.; KANG, K.H. Chemical and spectroscopic characterization of peat moss and its different humic fractions. **Journal of soil and Groundwater Environment**, v.9, n.4, p.42-51.2004.

LI, S.X.; WANG, Z.H.; STEWART, B.A. Responses of crop plant to ammonium and nitrate N. In: SPARKS, DL, ed. **Advances in Agronomy**, v.118, p.205-397. 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS; 1997.

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 Applied Science**, v.6, n.8, p.597-604. 2012.

MORA, V.; BACAICOA, E.; ZAMARREÑO, A.M.; AGUIRRE, E.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; GARCÍA-MINA, M. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. **Journal Plant Physiology**, v.167, n.8, p.633-642. 2010.

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.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology Biochemistry**, v.34, p.1527-36. 2002.

ORTEGA, R. & FERNÁNDEZ, M. Agronomic evaluation of liquid humus derived from earthworm humic substances. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.30, n.12, p.2091-2104. 2007.

PANUCCIO, M.R.; MUSCOLO, A.; NARDI, S. Effect of humic substances on nitrogen uptake and assimilation in two species of pinus. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.24, n.4-5, p.693-704. 2001.

PERTRUIT JR, A.J.; DUDLEY, J.B.; TOLER J.E. Leonardite and fertilizer levels influence tomato seedling growth. **HortScience**, v.36, n.5, p.913-915. 2001.

PICCOLO, A.; NARDI, S.; CONCHERI, G. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.24, n.4, p.373-380. 1992.

PINTON, R.; CESCO, S.; IACOLETTIG, G.; ASTOLFI, S.; VARANINI, Z. Modulation of NO_3^- uptake by water-extractable humic substances: involvement of root plasma membrane $\text{H}^+\text{ATP}_{\text{ase}}$. **Plant and Soil**. v.215, n.2, p.155-161. 1999

PORTO, J.S. Fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade de tomate híbrido Silvety [**dissertação**]. Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia; 2013.

SILVA, P.C.C.; COUTO, J.L.; SANTOS, A.R. Absorção dos íons amônio e nitrato e seus efeitos no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Paraíba, v.10, n.2, p.97-104. 2010.

SIRBU, C.; CIOROAIUNU, T.; POHRIB, C.; LAZAR, R.; DOMITRASCU, M. Development of new organo-mineral fertilizer use in sustainable agriculture. **Lucrări Științifice**, v.52, p.467-472. 2009.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, John Wiley & Sons, 1996.

SUH, H.Y.; YOO, K.S.; SUH, S.G. Effect of Foliar Application of Fulvic Acid on Plant Growth and Fruit Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Horticulture Environmental and Biotechnology**, v.55, n.6, p.455-461, dez. 2014.

TAN, K. & LOPEZ-FALCON, A. Effect of fulvic and humic acids on nitrification; Part 1: in vitro production of nitrite and nitrate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.18, n.8, p.835-853. 1987.

VAUGHAN, D. & MCDONALD, E. Effect of humic acid on protein synthesis and ion uptake in beet discs. **Journal of Experimental Botany**, v.22, n.2, p.400-410. 1971.

ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; BUSATO J.; PERES, L.; FAÇANHA, A.R. Plant physiology as affected by humified organic matter. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Campo dos Goytacases, v.25, n.1, p.12-25. 2013.

Obs: Versão preliminar do artigo, considerando que o conselho editorial poderá sugerir alterações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As SHs húmicas atuam tanto no solo quanto em diversos processos e rotas metabólicas das plantas. Em função da fração húmica testada, foi possível observar que o efeito de concentrações de AH e AF sobre o tomateiro é muito diversificado, de modo que há casos em que há efeito positivo, não há efeito ou há efeito negativo, com diminuição da produção de massa seca. Foi verificado neste estudo que as condições de solo (textura, pH, teor de MO e profundidade da camada de solo de cultivo) exercem forte influência e são determinantes da magnitude e tipo de efeito das frações húmicas e de suas concentrações sobre as plantas. Observou-se que o AH interage mais com o B do que com o Ca e que as fontes de Ca são mais determinantes da MS do tomateiro do que as concentrações de AH.

Não foi verificada maior bioatividade do AF em relação ao AH, no estudo em que foram testadas diferentes proporções de N mineral para o tomateiro. Assim, foi verificado que o tomate produz mais MS quando o N-NO_3^- predomina sobre o N-NH_4^+ e que não há necessidade de AH para máxima produção de MS, mas o mesmo não pode ser dito do AF, que deve ser combinado em concentrações em torno de 50 mg kg^{-1} para provocar efeitos positivos, a fim de que a MS se iguale à da proporção de 70:30 de N-NO_3^- : N-NH_4^+ , sem o uso de C-AH. Verificou-se, também, que, quando a disponibilidade de B em solo é baixa, não é aconselhável o uso de AH, mas que essa fração aumenta a biomassa do tomate e interage positivamente com o B quando a disponibilidade do nutriente é adequada em solo para as plantas.

O estudo da interação de concentrações de AH com fontes de Ca mostrou que não basta suprir Ca às plantas, que é preciso que se tenham os efeitos da calagem, também, para que o crescimento das plantas seja pleno. Quando se cultiva em subsolo e se utiliza o CaSO_4 , as produções de MS são

drasticamente reduzidas. A menor aquisição de micronutrientes e de alguns macronutrientes são fatores-chave a serem corrigidos para o pleno crescimento das plantas, quando se utiliza o CaSO_4 ou o CaCO_3 . Assim, não basta tão somente utilizar o CaSO_4 , de modo que é preciso aumentar a eficiência de uso de nutrientes no subsolo. Com esses resultados, um desafio futuro é o de criar em subsolo as condições de disponibilidade de nutrientes e de MO e da fase viva que se tem nas camadas superficiais, para que as plantas tenham crescimento pleno nas camadas mais profundas de solo.

Diversas hipóteses foram testadas e uma combinação elevada de fatores e de fontes de nutrientes foi investigada. Falta ainda averiguar a natureza (estabilidade, solubilidade, reatividade, etc.) dos complexos formados entre as SHs e os nutrientes, principalmente os aqui testados. A análise da solução do solo se provou essencial para averiguar a eficácia dos tratamentos testados sobre o tomateiro, de modo que essa é uma ação que precisa ser implementada em estudos futuros. Diante disso, é bem provável que o efeito das SHs sobre as plantas se manifeste mais no longo prazo, sendo, assim, necessária a condução de experimentos mais duradouros, para verificar o real efeito dos AHs na nutrição, crescimento e produtividade do tomateiro, em função da disponibilidade de B, fontes de Ca e formas de N mineral, especialmente em experimentos que contenham solos, em vez de soluções nutritivas. A condução de experimentos que analisem mais fatores ligados às hipóteses sugeridas, como a adsorção de B pelo AH, a complexação de Ca e as interações das SHs com os íons N-NO_3^- e N-NH_4^+ , são também demandas recorrentes para futuras pesquisas. Um fato relevante é o de que, neste estudo, lançou-se um pouco de luz sobre demandas ainda não tão bem respondidos pela pesquisa, uma vez que, mesmo em solos ricos em MO, há resposta do tomateiro à aplicação de SHs. Para que as respostas às SHs sejam plenas, é preciso combinar em solo fatores que propiciam condições para os materiais húmicos desempenharem suas

funções no solo e nas plantas. Abre-se, assim, a possibilidade de que as bases agronômicas para o uso eficiente de materiais húmicos comerciais nas lavouras sejam estabelecidas.