

## EFICIÊNCIA DE ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CULTIVO DO TOMATEIRO

**VICTOR ROCHA ARAÚJO<sup>1</sup>; ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS<sup>2</sup>; CAMILA PAULA ROSSETTO PESCATORI JACON<sup>3</sup>; DOUGLAS MARCELO PINHEIRO DA SILVA<sup>4</sup> E MIKAEL TIMÓTEO RODRIGUES<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> *Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, e-mail: victor\_r.a@hotmail.com*

<sup>2</sup> *Docente na Faculdade de Ciências Agrônomicas, Departamento de Ciências do Solo, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-03, Altos do Paraíso, Botucatu-SP. e-mail: rlvboas@fca.unesp.br*

<sup>3</sup> *Pós-Doutoranda, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, e-mail: capescatori@gmail.com.br*

<sup>4</sup> *Doutorando em Horticultura, Departamento de Horticultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP. e-mail: douglasmarcelo@gmail.com*

<sup>5</sup> *Pós-Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034 Altos do Paraíso, Botucatu-SP. Professor do Curso de Eng. de Pesca na UNESP, Campus Registro-SP, e-mail: mikaelgeo@gmail.com*

### 1 RESUMO

A fertirrigação é uma ferramenta de praticidade e economia na qual se utiliza o sistema de irrigação em determinada cultura para aplicação de adubos de acordo com a necessidade da fase fisiológica da planta. A utilização da adubação fosfatada para o cultivo de tomate italiano possui alguns entraves como a quantidade necessária para o ciclo, uma vez que produtores chegam a aplicar 10 vezes mais a quantidade de fósforo extraída pela planta de tomate nas curvas de acumulo de nutriente, considerando a eficiência desse fósforo menor do que 10%. No entanto, a aplicação desse fósforo de forma integral na base, antes do transplântio da muda ou aplicar parte dele dessa forma e o restante via fertirrigação é algo a ser analisado. O objetivo desse trabalho foi avaliar 5 doses de adubação fosfatada sendo que dois modos de aplicação do fósforo (incorporado ao solo completamente com Super Fosfato Triplo ou metade da necessidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com SFS mais ST e a outra metade com MAP via fertirrigação aplicada ao longo do ciclo). Resultados que foram obtidos observou-se que com 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, independentemente do modo de aplicação, foi possível obter produção ótima com a cultivar de tomate italiano utilizada.

**Palavras-chave:** tomate italiano, fertirrigação, fósforo, produtividade, °Brix.

**ARAÚJO, V. R.; VILLAS BOAS, R. L.; JACON, C. P. R. P.; SILVA, D. M. P.;  
RODRIGUES, M. T.  
EFFICIENCY OF PHOSPHATE FERTILIZATION IN TOMATO  
CULTIVATION**

## 2 ABSTRACT

Fertigation is a tool for practicality and economy in which the irrigation system in a certain crop is used to apply fertilizers according to the need of the physiological phase of the plant. The use of phosphatic fertilization for Italian tomato cultivation presents some obstacles like the quantity required for the cycle, since producers apply up to 10 times more the amount of phosphorus extracted by the tomato plant in the nutrient accumulation curves, considering this phosphorus efficiency as less than 10%. However, applying this phosphorus integrally to the base, before transplanting the seedling or applying part of it in this way, and the rest via fertigation is something to be analyzed. The objective of this work was to evaluate 5 doses of phosphate fertilization, with two modes of application of phosphorus (incorporated to the soil completely with Triple Super Phosphate or half of the need for  $P_2O_5$  with SFS plus ST and the other half with MAP via fertigation applied throughout the cycle). Results obtained showed that with  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  of  $P_2O_5$ , regardless of the mode of application, it was possible to obtain optimum production with the Italian tomato cultivar used.

**Keywords:** Italian tomato, fertigation, phosphorus, productivity, °Brix.

## 3 INTRODUÇÃO

Na cultura do tomateiro a obtenção de produção satisfatória e consequentemente o retorno econômico é conseguido adequando-se os seguintes fatores: adubação e nutrição de plantas, uso eficiente da água, genética e controle fitossanitário. Dentre tantos fatores, a demanda hídrica e nutricional são os limitantes para obtenção de um melhor rendimento do tomateiro, onde se faz necessário um rígido controle da quantidade de água no solo e da nutrição mineral, para atingir uma produção comercial de alta qualidade (MACÊDO; ALVARENGA, 2005).

No Brasil, a cultura de maior relevância dentre hortaliças é a do tomate, devido ao grande volume de produção e geração de empregos, tendo grande destaque no setor socioeconômico. Conforme a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas de Hortaliças (ABCSEM, 2016), a produção de tomate fresco gera em torno de R\$ 10 bilhões no varejo e produz um incremento salarial quase de R\$ 400 milhões no campo.

Para esse produto, observou-se que

é crescente a utilização de cultivo em estufa com uso de irrigação localizada, que proporciona distribuir a produção no ano, em especial no período de inverno, quando sua produção diminui e, consequentemente, aumenta os preços do tomate nesse período (IEA, 2017).

A planta de tomate é bastante sensível à incidência de doenças e com as irrigações convencionais, por exemplo, o excesso de umidade no solo e na parte aérea da planta, favorece a infestação de doenças e exige que o produtor pulverize defensivos constantemente. Devido essa problematização, a fertirrigação via gotejamento disponibiliza água e nutrientes próximos ao sistema radicular das plantas, na quantidade recomendada de acordo com a fase fenológica, evitando contato nas partes aéreas, reduzindo encharcamento do solo, diminuindo a proliferação de doenças e a necessidade de aplicações de agroquímicos frequentemente.

O uso da irrigação por gotejamento vem aumentando mundialmente, em destaque para áreas que anteriormente era utilizado sistema de irrigação por superfície. A tecnologia de irrigação localizada exerce um importante papel na

produção agrícola, em virtude do aumento da demanda de produção, competitividade entre os setores produtivos, escassez de recursos hídricos e o dever de mitigar os impactos ambientais. Além dos benefícios agrônômicos quanto ao incremento na produção agrícola e diminuição na demanda de água, permitindo a adesão de tecnologias recentes.

Mesmo com a quantidade de adubação fosfatada necessária para o ciclo, os produtores chegam a aplicar 10 vezes mais a quantidade de fósforo extraída pela planta de tomate nas curvas de acúmulo de nutriente (com base em que a planta necessita de 200 a 250 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), considerando a eficiência desse fósforo disponível para planta menor do que 10%, havendo necessidades de estudos para obter quantidades específicas para determinadas condições e cultivares.

Outro quesito importante é a aplicação desse fósforo de forma integral no plantio antes do transplantio da muda ou aplicar parte dele dessa forma e o restante via fertirrigação, pois não se sabe em qual modo haverá melhor aproveitamento para planta e economia de adubo aplicado.

Com essas informações relevantes, neste estudo, objetivou-se examinar eficiências de adubação fosfatada na cultura do tomate, sendo disponibilizado fracionado na fertirrigação ou incorporado no solo.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida com início do plantio em vaso no dia 15 de dezembro de 2016, em estufa agrícola (7 m de largura por 24 m de comprimento, coberta por filme plástico de 150 micras, com janelas superiores e cortinas laterais, laterais da estufa revestida de tela antiafídica, tela de aluminet com roldanas na parte superior, sistema de nebulização por foggers para aumento da umidade relativa, localizada no

Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Botucatu (São Paulo – Brasil), sob coordenadas geográficas 22°50'51.6" de latitude sul e 48°26'06.0" de longitude Oeste de Greenwich, com altitude de 830m.

A classificação climática segundo Köppen, é temperado quente (mesotérmico) úmido, do tipo Cwa, com chuvas no verão e seca no inverno, possui precipitação média anual de 1358,6 mm e temperatura média anual de 20,7°C (CEPAGRI, 2016).

A fim de caracterizar o ambiente protegido, os dados de temperatura e de umidade relativa do ar foram obtidos a partir de leituras realizadas por um termohigrômetro modelo HT-500, localizado à posição central ao experimento, sendo manejado conforme o crescimento das plantas.

Os valores internos de umidade relativa do ar e das temperaturas máximas e mínimas da estufa agrícola, foram armazenados diariamente através de um termohigrômetro digital, localizado no centro da estufa a uma altura de 1,5 m do solo, programado para realizar leituras a cada 30 minutos.

O solo utilizado para o ensaio foi proveniente da Fazenda Experimental São Manuel, classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura média (EMBRAPA, 2013). Para a análise de caracterização química do solo, foram coletadas amostras compostas na camada de 0 – 0,20 m de profundidade (Tabela 1). Em seguida, as amostras de solo foram analisadas no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP – Botucatu, SP. Com base no resultado e na necessidade da cultura do tomate, foi realizada adubação de base para o experimento, na qual foi inserido em vasos de 35 litros de solo: 7,8 gramas de nitrato de cálcio, 10,2 gramas de super fosfato triplo, 7,1 gramas de cloreto de potássio e 24,6 gramas de termofosfato.

**Tabela 1.** Caracterização química do solo no início do ensaio, após calagem e adubação.

Camada (cm)	pH CaCl <sub>2</sub>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		-----mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						%
(0 - 20)	5,5	1	0,7	16	8	24	42	67
Camada (cm)	M.O. g/dm <sup>3</sup>	P <sub>resina</sub> mg/dm <sup>3</sup>	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
			-----mg/dm <sup>3</sup> -----					
(0 - 20)	7	8	0,12	2,3	12	9,6	0,2	

Para a realização da caracterização química durante o pico de produção, foram coletadas amostras compostas na camada de 0 – 0,20 m de profundidade. E em seguida, as amostras foram analisadas no Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP – Botucatu, SP.

Para a determinação da curva de retenção de água, coletou-se duas amostras de solo na profundidade de 0,20 m, as

mesmas foram analisadas no Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP.

Foi utilizando o método da câmara de pressão de Richards, sendo determinados o conteúdo de água no solo para as tensões 10, 30, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa. Os pontos, foram modelados no software SWRC versão 3.0 de Dourado Neto et al. (1995) para gerar os parâmetros de  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_s$  (Tabela 2).

**Tabela 2.** Parâmetros do modelo de Van Genuchten para camada 0 a 0,20 m de solo.

Camada (cm)	$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$m$	$n$	$\rho$ (g cm <sup>-3</sup> )
0 - 20	0,085	0,202	0,307	0,095	4,314	1,82

Para o ajuste da curva de retenção, aplicou-se o modelo proposto por Van Genuchten (1980), equação (1).

$$\theta = \theta_r \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

Onde:

$\theta$  - Teor de água atual à base de volume (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\theta_r$  - Teor de água residual (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\theta_s$  - Teor de água de saturação (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\Psi_m$  - Potencial de água no solo (kPa);

$\alpha$  - Parâmetro de ajuste (cm<sup>-1</sup>);

$m$  e  $n$  - Parâmetros empíricos do modelo matemático;

$\rho$  - Densidade do solo.

Depois de obter a curva de retenção de água do solo, estabeleceu-se o ponto de capacidade de campo. Então, o solo foi saturado e esperou-se o excedente parar de drenar. Após 48 h, coletou-se três amostras e determinou o conteúdo de água no solo

presente para a situação. Logo em seguida, correlacionou com a curva de retenção.

Foram utilizadas mudas de Tomate Híbrido HS 1188, uma cultivar muito produtiva com hábito de crescimento indeterminado, porte alto e médio

enfolhamento, indicado para cultivo em campo aberto e estufa. Frutos do tipo italiano, de formato alongado, firmes, de coloração vermelho intenso e excelente sabor. Resistente a Murcha de Fusarium raças-1,2,3, ToMV, Murcha-Verticiliar do Tomate e Nematoides. Tolerante a TYLCV e TSWV. Ciclo variando de 100 a 120 dias (HORTICERES, 2016).

O sistema de irrigação foi por gotejamento. Utilizou-se um reservatório de água de 500 L, o bombeamento da água foi realizado por uma bomba periférica IDB-35, ¼ cv. Já a linha principal foi constituída de tubulação PVC de 32 mm, registro esfera em cada derivação, linha lateral de tubo PVC de 25 mm, manômetro para monitoramento da pressão do sistema (15 PSI) e filtro de disco de 120 mesh para filtragem de água.

Nas linhas secundárias, foram utilizadas mangueiras cegas de polietileno

com diâmetro de 16 mm. Em cada linha haviam 10 gotejadores PCJ com vazão 4 L h<sup>-1</sup> autocompensante com um conector mmoutlet de 4 saídas, sendo que cada saída era constituída de microtubo de 3 mm interligado a um gotejador do tipo flecha (para melhor distribuição da água e adubo para próximo da raiz) de 1 L h<sup>-1</sup>, espaçados a 0,07 m do centro do vaso, sendo colocada duas flechas por vaso, totalizando 2 L h<sup>-1</sup> por vaso.

Depois da instalação do sistema de irrigação, foi realizado o teste de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para verificar a uniformidade da distribuição de água no sistema a uma pressão de serviço de 15 mca. Após o teste, o CUC (equação 2) foi calculado e constatou um coeficiente de uniformidade de 92%. A classificação da uniformidade de distribuição de água segundo Mantovani (2001), é excelente.

$$CUC = \left[ \frac{\sum_{i=L}^N X_i - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right] \quad (2)$$

Onde:

N: número de coletores;

X<sub>i</sub>: lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

$\bar{X}$ : lâmina média aplicada.

O manejo da irrigação visou manter o teor de umidade do solo em níveis iguais para todo experimento, levando em consideração a necessidade de água da

cultura. Para a estimação da lâmina de irrigação, utilizou-se o conceito da capacidade de água disponível (CAD), apresentado pela equação (3).

$$CAD = (CC - PM) * Z * d \quad (3)$$

Onde:

CAD - Capacidade de água disponível (mm);

CC - Teor de água volumétrico na capacidade de campo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

PM - Teor de água volumétrico atual no momento da leitura (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

Z - Profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

d - Densidade do solo.

Dessa forma, a lâmina de irrigação a ser aplicada (mm), foi determinada de acordo com equação (4). E para estimar o

tempo de irrigação de cada tratamento, em minutos, utilizou-se a equação (5).

$$Li = CAD / Ef \quad (4)$$

Onde:

Li - Lâmina de irrigação aplicada (mm);

CAD - Capacidade de água disponível (mm);

Ef - Eficiência do sistema de irrigação (0,92).

$$Ti = (Li * A / n * q) * 60 \quad (5)$$

Onde:

Ti - Tempo de irrigação (minuto);

Li - Lâmina de irrigação aplicada (mm);

A - Área ocupada por planta (0,34 m<sup>2</sup>);

n - Número de emissores por planta (2);

q - Vazão do gotejador ( 4,0 L h<sup>-1</sup>).

Para o acompanhamento do teor de água no solo, foi utilizada a tensiometria. Onde foram instalados 4 tensiômetros por tratamento, distribuídos em cada parcela do bloco equidistantes do centro do vaso, com profundidade de 0,15 m.

As leituras eram realizadas diariamente no período da manhã (entre 9 e 11 h), antes da aplicação da lâmina de água. A partir da leitura obtinha a média da tensão e a lâmina a ser aplicada para todo o

experimento. As tensões foram mantidas para o controle entre 4 –12 KPa.

A adubação foi realizada nos vasos baseando-se na curva de absorção de nutrientes utilizada para a cultura do tomateiro em estufa (Tabela 3), recomendada de acordo com boletim do IAC – Calagem e adubação do tomate de mesa, para ambiente protegido, página 23, ano 2015.

**Tabela 1.** Fertirrigação<sup>(1)</sup> em quantidades de nutrientes para tomateiro sob cultivo protegido<sup>(2)</sup> (estufa agrícola), nos diferentes períodos de desenvolvimento da cultura.

<b>Período</b>	<b>Quantidade de macronutrientes, em gramas por período, para 1.000 plantas de tomate</b>						
<b>DAT<sub>(3)</sub></b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	
10 a 35 dias	1800	2571	3568	428	204	353	
36 a 60 dias	3478	3086	5238	1850	640	895	
61 a 90 dias	4065	2237	8427	2238	1299	2311	
91 a 150 dias	10398	4551	22332	6068	2162	5007	
<b>Total</b>	<b>19741</b>	<b>12445</b>	<b>39565</b>	<b>10584</b>	<b>4305</b>	<b>8566</b>	
<b>Período</b>	<b>Quantidade de micronutrientes, em gramas por período, para 1.000 plantas de tomate</b>						
<b>DAT<sub>(3)</sub></b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>
10 a 35 dias	6	6	23	6	1	2	1
36 a 60 dias	7	7	26	7	1	3	1
61 a 90 dias	9	9	36	9	2	4	2
91 a 150 dias	18	18	73	18	4	7	4
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>158</b>	<b>40</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>8</b>

(1) Realizar a fertirrigação três vezes por semana, observando a compatibilidade entre os fertilizantes utilizados.

(2) Considerando 20000 plantas de tomate em um hectare de cultivo protegido (2 plantas por m<sup>2</sup>) o total acima

corresponde às seguintes quantidades de nutrientes, fornecidas no período de 150 dias: macronutrientes (em kg ha<sup>-1</sup>): N=395; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=249; K<sub>2</sub>O=791; Ca=212; Mg=86; S=171; micronutrientes (em g ha<sup>-1</sup>) B=800; Cu=800; Fe=3160; Mn=800; Mo=160; Zn=320; Ni=160.

(3) DAT = dias após transplante das mudas na estufa agrícola.

**Fonte:** Boletim IAC, 215. (2015)

Os adubos aplicados via fertirrigação foram pesados e colocados nos recipientes para serem diluídos e injetados no sistema durante um intervalo de 14 dias, sendo alternado com a irrigação em conformidade com os valores de umidade do solo obtidos pela tensiometria. Foi realizado teste de compatibilidade dos adubos e não houve incompatibilidade, pois, os mesmos não provocaram precipitado no recipiente, mesmo no tratamento com maior quantidade de MAP.

Em intervalos de 14 dias, foram realizadas pulverizações de sulfato de magnésio a 1% e Trazex Multi (6% de ferro, 6% de magnésio, 6% de zinco, 2% de boro, 3% de cobre, 3% de L-aminoácidos e 2% de extrato de origem orgânica) para suprir as necessidades de micronutrientes via foliar.

O ensaio foi organizado em delineamento em blocos casualizados (DBC), constituídos por 10 tratamentos com 4 blocos e 2 plantas por parcela, totalizando 80 plantas. As plantas foram espaçadas 0,50 m entre plantas e 1,20 m entre blocos, obtendo densidade de 20000 plantas por hectare, onde cada linha foi composta por 10 vasos de 35 L, sendo dividida em 5 vasos com o fósforo já incorporado e 5 vasos com a metade do fósforo a ser injetado via fertirrigação com MAP.

Os tratamentos propostos foram: dois modos de aplicação do fósforo (Incorporado ao vaso completamente com Super Fosfato Simples mais Super Triplo ou Metade da necessidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com SFS mais ST e a outra metade com MAP via Fertirrigação). Nos modos de aplicação, foram atribuídas 5 doses de fósforo em cada modo: 310, 330, 350, 370 e 390 kg ha<sup>-1</sup>.

O transplante das mudas para os vasos foi realizado dia 15/12/2016, sendo

que a primeira avaliação e o início da diferenciação dos tratamentos foram dia 30/12/2016.

O período do transplante até a primeira avaliação foi de adaptação das mudas nos vasos, onde as mudas foram fertirrigadas igualmente sem adubação fosfatada.

Para as análises foram utilizadas as plantas que estavam com extratores de solução instaladas em cada tratamento, totalizando 40 plantas por avaliação.

Para a determinação desse parâmetro, as amostras de solos foram coletadas uma única vez, no mesmo período da análise foliar 75 DAT. Foram coletadas amostras de solo em dois pontos de cada vaso, na interseção entre os quadrantes das flechas de gotejo, simulando a mesma posição da planta e extrator de solução em relação as demais flechas, em profundidade de 0-20 cm. Após secas e peneiradas, as amostras seguiram para a avaliação em laboratório.

Além disso, foi coletado semanalmente através dos extratores a solução do solo para verificar quão estava oscilando os teores de Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, condutividade elétrica e pH, após as fertirrigações. Nos extratores foram inseridas seringas de 60 mL e realizado vacuômetro com as mesmas 3 horas antes da última irrigação do dia e em seguida uma seringa de 10 mL para retirada da solução do solo na manhã do dia seguinte.

No período entre o aparecimento da inflorescência até a emissão dos primeiros frutos maduros, a quarta folha a partir do ápice (folha diagnose) da planta foi coletada, totalizando quatro folhas por tratamento. Estas foram lavadas, secadas em estufa à 65°C e moídas em moinho tipo Wiley, para realizar avaliações dos teores

de macronutrientes, B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).


Foi realizada a análise da seiva através de leitura em equipamento por absorção atômica, obtendo-se valores dos nutrientes totais. Para essa avaliação os pecíolos das folhas diagnose foram cortados em pedaços menores, macerados e depois colocados em *ependorfs*, sendo a solução obtida analisada por equipamento no laboratório de absorção atômica, obtendo

assim, a leitura em  $\text{mg L}^{-1}$ . A solução extraída do pecíolo foi denominada de seiva neste trabalho.

A produção do tomate foi avaliada durante todas as colheitas, que iniciou no dia 23 de fevereiro de 2017. O parâmetro utilizado foi baseado no boletim CEAGESP para tomate de mesa (Figura 1). A partir do peso, obteve-se a classificação (Extra AA, Extra A, Extra e Extrinha) e a produção média por planta no fim do ciclo.

**Figura 1.** Classificação do tomate italiano de mesa segundo CEAGESP, 2015.

**Tomate Italiano**



Classificação	Extra AA	Extra A	Extra	Extrinha
Massa- gramas	Maior que 142	120 a 142	88 a 119	Menor que 88
Índice de Valoração	2,16	2,00	1,83	1,00

Fonte: CEAGESP (2015)

Além dos tomates comerciais, separou-se por classe tomates que continham defeitos (mau polinizado, rachaduras, podridão apical) e o tornaram um produto não-comercial.

O peso comercial foi obtido através do peso individual de cada tomate que esteja enquadrado com características de um fruto comercial e dentro do padrão de comercialização do CEAGESP. Utilizou-se balança de precisão de carga máxima de 2200 kg, com duas casas decimais a direita da vírgula.

Determinou-se a quantidade de tomates comerciais produzido por planta de acordo com o tratamento.

A produção por classificação consistiu em subdividir os produtos

comerciais em classes de acordo com sua massa em gramas, baseando-se no folheto do CEAGESP.

No experimento foi amostrado 4 frutos por tratamento, do terceiro e quarto cachos, para a determinação da acidez titulável (%), sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) e pH.

A acidez titulável foi expressa em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa processada com mixer, obtida por meio da titulação de 5 g de polpa homogeneizada e diluída para 100 mL de água destilada, com solução padrão de hidróxido de sódio a 0,1 N, tendo como indicador a fenolftaleína, que muda coloração quando o potenciômetro atinge 8,1, conforme recomendação do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).



A avaliação para sólidos solúveis foi determinada por um refratômetro digital tipo Palette PR – 32, marca ATAGO, com compensação de temperatura automática, segundo a AOAC (1992).

Os resultados obtidos pelo refratômetro foram expressos em grau brix, além disso, foi determinada também a relação entre o teor de sólidos solúveis e acidez titulável (TRESSLER; JOSLYN, 1961).

O pH foi obtido por leitura direta em soluções de polpa homogeneizada utilizando-se um pHmetro de bancada, segundo a técnica da AOAC (1992).

Os resultados obtidos das análises tanto de campo como de laboratório, foram submetidos à análise de variância e quando houve significância, foi utilizado o teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, usando o programa estatístico AGROESTAT.

As plantas por terem o hábito de crescimento indeterminado foram conduzidas com a haste principal, fazendo a eliminação das ramificações que apareciam entre a ramificação lateral e a folha. As hastes principais foram alceadas por meio de condução conhecido como carretel, feito de fitilho. Com a remoção das ramificações logo em seguida era pulverizado Cuprocarb 500, um fungicida a base de oxiclreto de cobre, para evitar contaminações até a restituição da parede celular danificada com a remoção.

Além do Cuprocarb, foram

pulverizados defensivos preventivos, escalonados de acordo com período de carência, para oídios e oidiopsis (Cabrio Top, Score, Cernonil, Forum), para ácaros e tripés (Abamectin, Evidence e Oberon) e mosca-branca (Decis). O uso das armadilhas foi para acompanhamento da população de insetos dentro da casa de vegetação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 estão apresentados os teores de características químicas do solo e os macronutrientes. Os resultados de pH indicam haver variação significativa em relação ao modo de aplicação. Esse resultado sugere que a fonte de fósforo utilizada na fertirrigação (MAP) tem um caráter mais ácido do que as fontes de SFS e ST aplicados na base. De fato, além do MAP ser formulado a partir de ácido fosfórico, o nitrogênio amoniacal presente nesse adubo gera acidez no solo, nesse caso diminuindo em 0,2 unidades de pH na determinação realizada aos 75 DAT., mesmo assim os valores são considerados ideais por Raij et al. (2001). Possivelmente, se essa análise tivesse ocorrido ao final do ciclo este efeito de diminuição de pH seria mais intenso para aplicação fertirrigada. Os teores de matéria orgânica (M.O.), enxofre, V% estão na faixa considerada ideal por Raij et al. (2001).

**Tabela 4.** Média das análises de solo na cultura do tomateiro (75 DAT). Botucatu, SP. 2017

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P <sub>resina</sub> mg dm <sup>-3</sup>	H+Al -----	K mmolc dm <sup>-3</sup>	Ca -----
<b>444</b>	5,2	10	76 C	17 B	6,5 B	14 B
<b>571</b>	5,1	10	126 BC	19 B	7,9 AB	21 B
<b>800</b>	5,0	9	127 BC	19 B	6,8 B	15 B
<b>1333</b>	5,1	10	177 AB	22 B	7,3 B	21 B
<b>4000</b>	5,0	10	199 A	27 A	8,8 A	32 A
<b>Modo</b>						
<b>Inc</b>	5,2 a	10	148	20	7,1 b	23 a
<b>Fer</b>	5,0 b	9	133	22	7,8 a	18 b
<b>Doses</b>	ns	ns	*	*	*	*
<b>Modo</b>	*	ns	ns	ns	*	*
<b>DxM</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	3,9	6,8	27,9	17,7	12,9	32,6
Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Mg ----	SB mmolc dm <sup>-3</sup>	CTC ----	V %	S mg dm <sup>-3</sup>	
<b>444</b>	0,9	21 B	38 B	55	6,0 B	
<b>571</b>	1,4	30 B	49 B	60	7,5 AB	
<b>800</b>	0,8	23 B	42 B	54	7,5 AB	
<b>1333</b>	1,1	29 B	51 B	56	7,5 AB	
<b>4000</b>	1,0	41 A	69 A	59	8,0 A	
<b>Modo</b>						
<b>Inc</b>	1,1	31	51	60 a	7 a	
<b>Fer</b>	0,9	27	49	54 b	8 a	
<b>Doses</b>	ns	*	*	ns	*	
<b>Modo</b>	ns	ns	ns	*	*	
<b>DxM</b>	ns	ns	ns	ns	ns	
<b>CV (%)</b>	51,15	26,2	18,9	11,4	21,6	

CV: Coeficiente de Variação. Médias seguidas de mesma letra na coluna ou sem letras não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*: significativo a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 4, não se observa diferença significativa entre doses de fósforo e modo de aplicação para o teor de matéria orgânica (MO) e magnésio (Mg).

No efeito doses de fósforo, houve diferença significativa para os níveis de fósforo, acidez potencial, potássio, cálcio, saturação de bases, CTC e enxofre.

O nível de fósforo teve diferenciação devido as doses terem uma variação de 5% a 45% da adubação recomendada de fósforo para o ciclo da cultura, ocorrendo aumento do teor de fósforo, no entanto não foi observado

diferença significativa com relação ao modo de aplicação, mesmo considerando que no tratamento incorporado todo o fósforo já havia sido aplicado. Consequentemente com o aumento de íons do incremento dos adubos fosfatados, houve aumento da acidez potencial, esta aumentou com as doses de fósforo aplicada, sendo esse resultado justificado pela mudança de pH já discutida anteriormente.

Com relação ao potássio, apesar das diferenças estatísticas para doses e modo de aplicação essa variação para doses não tem um comportamento uniforme, mesmo em

relação ao modo de aplicação, para ambos os tratamentos o potássio foi aplicado via gotejamento, portanto as diferenças observadas podem estar ligadas a amostragem do solo e caminhamento preferencial desse nutriente no solo gerando resultados de concentração distintos.

O teor de cálcio foi crescente em função das doses aplicadas, o que pode ser justificado pela maior quantidade de Ca proveniente das fontes SFS e ST, onde quanto maior a dose de fósforo aplicado, maior a quantidade de cálcio. A diferença observada para modo de aplicação pode ser explicada do mesmo modo considerando que na fertirrigação metade do fósforo foi aplicado via MAP, um fertilizante que não contém cálcio.

Para Saturação de Bases (SB) e enxofre o comportamento dos resultados de soma de base refletem a variação ocorrida no teor de Ca.

Quanto a interação dose x modo, não houve diferença significativa em todas as características avaliadas.

Em relação aos teores de micronutrientes obtidos através da amostragem de solo, estão na faixa considerada ideal por Raij et al. (2001), exceto zinco que está pouco abaixo do ideal.

De acordo com Machado (2000) quando o fósforo e o zinco estão presentes na planta em teores máximos, o fósforo adicionado dilui a quantidade de zinco induzindo deficiência deste elemento.

Não houve diferença significativa entre os micronutrientes na amostragem de solo, exceto o ferro que houve ligeiro aumento com o aumento das doses de fósforo, resultado de prováveis impurezas provenientes do processo de fabricação do adubo, através da desmagnetização.

Os resultados de estudos com extratores de Fe ainda não são consistentes. Os valores de correlação entre os teores no solo e na planta variam desde baixos e não significativos até altos e significativos para diversas culturas (Camargo et al., 1982;

Amaral Sobrinho et al., 1993; Rodrigues et al., 2001; Abreu et al., 2004; Moreira et al., 2009).

Para teor de nutrientes nas folhas não apresentaram diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ), exceto no efeito doses para fósforo e magnésio e para o efeito modo de aplicação e a interação dos efeitos doses x modo para cálcio.

Observa-se que os maiores teores foram alcançados com os valores maiores de doses de fósforo, e que as doses mais baixas ficaram fora do intervalo considerados para Malavolta (2006).

Já o magnésio para Gomes et al. (2008) concentrações elevadas de magnésio disponível podem levar a uma deficiência induzida de potássio. Os autores afirmam, todavia, que concentrações muito baixas de Mg disponível podem sofrer inibição pelo potássio, o que evidencia a existência de uma forte competição iônica entre os dois elementos. Com a análise de solo o teor de magnésio foi crescente com a dose de fósforo, ocorrendo o contrário na parte foliar, afirmando que doses altas de potássio no solo podem ter provocado menor teor de magnésio na folha por competição.

Com relação ao cálcio, houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) quanto ao modo de aplicação. Devido a adubação o fósforo de modo incorporado, o Super Fosfato Simples contém teores de cálcio (18% de Ca) e o Super Fosfato Triplo (8% de Ca) provocaram teores maiores de cálcio quando comparados com o Modo de aplicação fertirrigado. Consequentemente, a interação com o aumento das doses de adubo incorporado e o modo de aplicação teve aumento no teor de cálcio.

Para os teores de micronutrientes foliares, não houve diferença significativa entre os tratamentos, exceto no manganês.

Os teores de manganês oscilam bastante em plantas de crescimento indeterminado e que emitem bastante brotações, pois o mesmo é que garante o crescimento da parte aérea. Além disso o

suprimento do mesmo é feito via foliar, o que torna bastante desuniforme um teor equilibrado até mesmo em plantas do mesmo tratamento.

Com as análises estatísticas a 5% de significância, quanto o peso do tomate

comercializável (Tabela 5) de acordo com boletim do CEAGESP, não houve diferença significativa na produção total por tratamento, independente das doses ou modo de aplicação da adubação fosfatada.

**Tabela 5.** Média da produção comercial por planta

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dias após Transplântio (DAT)					118
	88	94	99	107	113	
	----- grama por planta -----					
<b>444</b>	78	316	796	186 B	465	189 B
<b>571</b>	57	223	692	408 A	517	292 AB
<b>800</b>	66	303	692	357 AB	444	353 A
<b>1333</b>	64	354	658	254 AB	413	339 AB
<b>4000</b>	70	304	796	389 A	327	297 AB
<b>Modo</b>						
<b>Incor</b>	60	272	702	315	440	292
<b>Fertir</b>	74	327	640	323	427	296
<b>Doses</b>	ns	ns	ns	*	ns	*
<b>Modo</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>DxM</b>	ns	ns	ns	ns	ns	*
<b>CV (%)</b>	46,5	64,1	30,1	38,38	38,4	36,4
Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dias após Transplântio (DAT)					Total
	123	129	136	142		
	----- grama por planta -----					
<b>444</b>	508	339	290	100	3270	
<b>571</b>	488	310	384	136	3512	
<b>800</b>	461	368	345	138	3531	
<b>1333</b>	548	345	291	118	3388	
<b>4000</b>	443	276	225	205	3053	
<b>Modo</b>						
<b>Incor</b>	499	266 b	301	122	3272	
<b>Fertir</b>	481	389 a	313	157	3430	
<b>Doses</b>	ns	ns	ns	ns	ns	
<b>Modo</b>	ns	*	ns	ns	ns	
<b>DxM</b>	ns	ns	ns	ns	ns	
<b>CV (%)</b>	36,8	39,8	35,5	36,3	11,9	

CV: Coeficiente de Variação. Médias seguidas de mesma letra na coluna ou sem letras não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*: significativo a 5% de probabilidade.

Na tabela 5, observa-se que 107 DAT há uma diferença significativa em relação a produção com base nas doses, indicando que teores mais elevados de fósforo podem antecipar a produção em

relação a doses mais baixas (444 kg ha<sup>-1</sup>). Esse comportamento se repetiu aos 118 DAT novamente, gerando maior produção comercial a partir da dose 571 kg ha<sup>-1</sup>.

Não foi observado diferença

significativa entre as doses de fósforo e a produção comercial de tomate. O maior valor de produção foi alcançado com a dose de 350 kg ha. Quando essa dosagem de fósforo alcançou o valor de 4000 kg ha<sup>-1</sup> houve uma diminuição de 14% na produtividade, diferença essa não significativa, apesar do valor do coeficiente de variação de 11,9%.

Quanto ao modo de aplicação, não houve efeito significativo, indicando que ambos os métodos geraram resultados semelhantes.

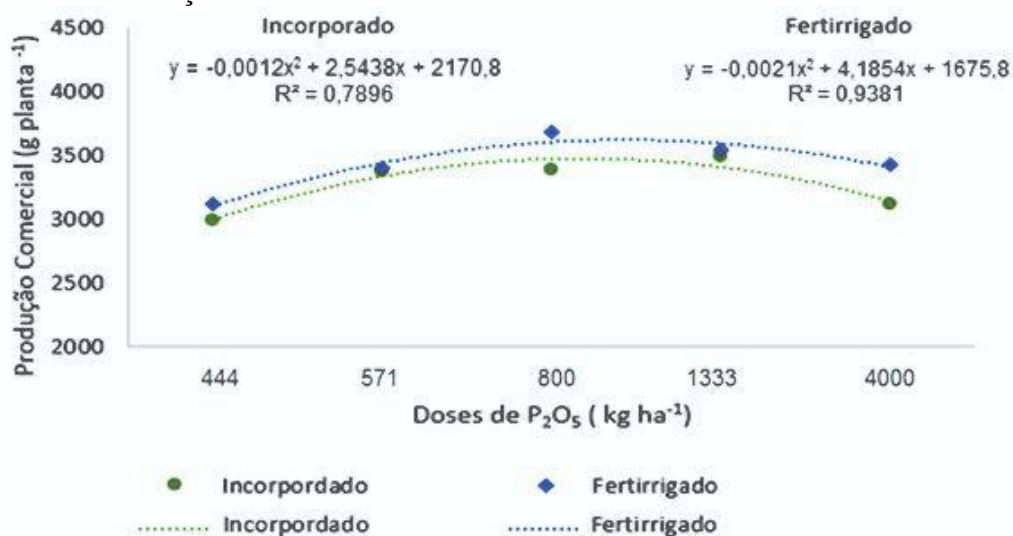
Em algumas colheitas houve diferenciação quanto a dose de fósforo ou modo de aplicação, porém isso ocorreu devido a diferente maturação dos frutos à colher, provocando colheita antecipada em algumas plantas ou acúmulo de frutos em outras de mesmo tratamento, mas que com

somatório ao fim do ciclo acabam produzindo de forma semelhante. Apesar de não ter diferença significativa nos tratamentos, em média os valores da produção do Modo fertirrigado foram maiores do que o Modo de aplicação incorporado, como consta o Gráfico 1.

Em pesquisa realiza por Machado (2002) a produção de frutos por planta, nos híbridos Heinz 9780 e Kátia (tomates italianos) ficou entre 3,0 a 3,34 kg por planta com o espaçamento de 0,50 m, coincidindo dados semelhantes de produtividade.

Quanto aos modos de aplicação, alcançou-se em produção de tomate comercial 3,48 kg por planta com 1333 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> incorporado 3,67kg por planta com 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fertirrigado.

**Gráfico 1.** Produção de frutos comerciais.



Para número de frutos não foram observadas diferenças significativas entre as doses e também em relação ao modo de aplicação. O maior número de frutos foram aos 107 e 118 DAT, houve diferença significativa onde os tratamentos com 800 kg ha<sup>-1</sup> apresentaram maiores resultados, assemelhando com a quantidade de frutos encontrados por MUELLER (2015) com diferentes doses de fósforo e modos de

aplicação.

Quanto a análise estatística da produção por classe, não houve diferença significativa entre tratamentos. Nas classes de tomate comercial os tomates não modificaram a classificação entre si, independente do tratamento.

Quanto a podridão apical, não houve diferença significativa, o mesmo se deu em baixa frequência, pois em geral não houve

déficit de cálcio para cultura, porem devido a estresses hídricos isolados, alguns frutos apresentaram a podridão.

Houve um incremento nos tomates não-comerciais devido à má polinização de alguns frutos e também pelo aspecto de frutos classificados como Extrinha de baixíssimo peso serem comuns com tomates não polinizados.

Os os valores médios, obtidos pelos frutos, das variáveis pH, teor de sólidos solúveis (°Brix) e acidez titulável. Através da análise de variância pode se observar que não houve efeito significativo entre tratamentos. Os valores de acidez titulável oscilaram entre 0,80 a 0,87. Quanto ao °Brix os valores ficaram em torno de 4,41 a 4,75 e por fim pH do fruto entre 4,56 a 4,5, valores próximos aos obtidos por Borguini (2005). Todos esses valores oscilaram da menor dose de fósforo para maior. Quando ao modo de aplicação, a diferença foi irrelevante.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo realizado com as doses apresentou dados nos quais serão possíveis economia em até 45% de fósforo, pois em geral produtores incrementam a mesma de 25% a mais acima da recomendação.

Apesar de não haver diferença significativa em muitas análises quando comparando modos de aplicação, a fertirrigação apresentou produção em média 158 gramas a mais do que o adubo incorporado.

Há possibilidade, dependendo da época do ano e custos do tomate, ganhos de 7% em produção.

Quanto aos modos de aplicação, alcançou-se em produção de tomate comercial 3,48 kg por planta com 1333 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> incorporado 3,67kg por planta com 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fertirrigado.

A aplicação de 800 kg ha<sup>-1</sup> de adubação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para condições de solo arenoso em estufa agrícola alcançou valores ótimos para produção comercial de tomate italiano em ambiente protegido em ambos os modos de aplicação.

## 7 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Comércio de Sementes e Mudas - **ABCSEM**. Tomate lidera crescimento e lucratividade no setor de hortaliças. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/noticia.php?cod=284>> Acesso em 19 out. 2017.

ABREU, C.A.; RAIJ, B. VAN; ABREU, M.F. & PAZ GONZALES, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:579-584, 2004.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, L.E. & BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **R. Bras. Ci. Solo**, 17:299-304, 1993.

AOAC - Association Of Oficial Analytical Chemistral. **Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 11. ed. Washington: AOAC, 1992. 1115 p.

BORGUINI, R. G.; SILVA, M. V. Características físico-químicas e sensoriais do tomate (*Lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional.

**Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 16, n. 4, p. 355–361, 2005.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. Efeito do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 6:83-88, 1982.

CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS DE CAMPINAS – **CEPAGRI**. Clima dos municípios paulistas. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPANS, J.W.; PARLANGE, M.B. Programa SWRC (Version 1.00): **Soil-Water Retention Curve (Software)**. Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 2013. 353p.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, 2008. 62 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 66).

HORTICERES. **Hortíceres Sementes**. Tomate Híbrido Tipo Saladete HS 1188. Disponível em <<http://www.horticeres.com.br/produtos/solanaceas/tomate/tomate-hs1188>> Acesso em: 20 ago. 2016.

IEA - **INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA**, Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2016/17, Fevereiro de 2017, v. 12, n. 4, abril 2017. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14284>> Acesso em 19 out. 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físicos e químicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo, 533 p, 1985.

KÖPPEN, W., 1936: Das geographische System der Klimate. – KÖPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**. – Gebrüder Bornträger, Berlin, 1, 1–44, part C.

MACÊDO, L. S.; ALVARENGA, M. A. R. Efeito de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produção e qualidade de frutos de tomateiro em ambiente protegido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 1, p. 296-304, 2005.

MACHADO, A. Q. **Produção de tomate italiano (saladete) sob diferentes densidades de plantio e sistemas de poda visando ao consumo in natura**. Universidade Federal de Lavras, 90p, 2002. (Dissertação de Mestrado).

MACHADO, C.T.T. **Caracterização de genótipos de milho quanto a parâmetros morfológicos fisiológicos e microbiológicos associados á eficiência de absorção e uso de fósforo**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 365p 2000. (Tese de Doutorado).

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. **Editora Ceres**, São Paulo, 638p, 2006.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: **Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MUELLER, S.; SUZUKI, A.; WAMSER, A. F.; et al. Modos de aplicação de fósforo para duas cultivares de tomate. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 356–381, 2015.

MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W.G. & MARTINS, G.C. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em Terra Preta de Índio da Amazônia Central. **Cienc. Solo**, 27:127-134, 2009.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. **Campinas: Instituto Agrônomo**, 343p., 1991.

RODRIGUES, M.R.L; MALAVOLTA, E. & MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. **Pesq. Agropec. Bras.**, 36:143-149, 2001.

TRANI, P. E.; KARIYA, E. A.; HANAI, S. M.; ET AL. Calagem e adubação do tomate de mesa. Boletim Técnico IAC, 215. **Campinas: Instituto Agrônomo**, 2015. 35 p. online. (Série Tecnologia Apta.)

TRESSLER, D.K.; JOSLYN, M.A. Fruits and vegetables juice processing technology. **Westport: Conn. Avi**. 1961, 1028p.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:892-898, 1980.