

## Absorção de nutrientes e resposta à adubação em linhagens de tomateiro

Antônio Régis de Oliveira<sup>1</sup>; Sebastião A de Oliveira<sup>1</sup>; Leonardo de B Giordano<sup>2</sup>; Wenceslau J Goedert<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UnB-FAMV, C. Postal 04508, 70910-970 Brasília-DF; <sup>2</sup>Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70359-970 Brasília-DF; antonio@cnpq.embrapa.br; oliveira@unb.br; giordano@cnpq.embrapa.br; goedert@unb.br

### RESUMO

Vinte e nove linhagens de tomateiro rasteiro foram avaliadas quanto à eficiência de absorção de nutrientes e resposta à adubação, em dois ensaios, no ano de 2006, na Embrapa Hortaliças. No primeiro ensaio aplicou-se 1/3 da dosagem de fertilizante utilizada no segundo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. As linhagens foram classificadas quanto à eficiência na absorção de nutrientes e resposta à adubação baseando-se nos incrementos de índice DRIS e nos incrementos de produtividade. Os valores críticos para eficiência na absorção e resposta à adubação foram as médias de incremento de índice DRIS e produtividade, respectivamente. As linhagens diferenciaram-se quanto à eficiência na absorção dos nutrientes e quanto à resposta à adubação. Foram consideradas responsivas à adubação e eficientes na absorção de nutrientes as linhagens 03, 04, 05, 09 e 22, para o N; 03, 04, 09, 13, 15 e 29, para o P; 03, 05, 10, 21, 22, 25 e 27, para o K; 05, 10, 21, 22, 25, 27 e 29, para o Ca; 04, 13, 15, 27 e 29, para o S e B; e 03, 05, 09, 10 e 27, para o Cu. As linhagens com os melhores desempenhos foram a 27, na absorção dos nutrientes, e 03, 04, 05 e 29, na responsividade à adubação.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*, DRIS, nutrição de plantas, melhoramento genético.

### ABSTRACT

#### Nutrient uptake and response to fertilization of tomato inbred lines

Twenty nine processing tomato inbred lines were evaluated for their efficiency in nutrient uptake and in their response to fertilization. Two field assays were carried out at Embrapa Hortaliças, Brazil, with distinct fertilization dosages in 2006. In the first assay 1/3 of the total fertilization was applied when compared with the second assay. The experiments were conducted using a completely randomized design with three replications. The criteria to rank the inbred lines in both assays were the DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) index value and fruit yield. The critical values in order to distinguish efficient *versus* non-efficient as well as responsive *versus* non-responsive inbred lines were the average increase in both DRIS index value and fruit yield. Differences were detected among inbred lines for the uptake efficiency for all nutrients and for response to fertilization. The inbred lines 03, 04, 09 and 22 were classified as responsive to fertilization and efficient in N uptake; the lines 03, 04, 09, 13, 15 and 29 were for P; 03, 05, 10, 21, 22, 25 and 27 for K, 05, 10, 21, 22, 25, 27 and 29 for Ca; 04, 13, 15, 27 and 29 for S and B; 03, 05, 09, 10 and 27 for Cu. The inbred lines with the best performance were 27 in relation to nutrient absorption, and the lines 03, 04, 05 and 29 in relation to fertilization response.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*, DRIS, plant nutrition, breeding.

(Recebido para publicação em 16 de julho de 2008; aceito em 18 de junho de 2009)

(Received in July 16, 2008; accepted in June 18, 2009)

A baixa eficiência de algumas culturas em absorver nutrientes no solo gera a necessidade da aplicação de doses altas de fertilizantes nos sistemas de cultivos (Malavolta, 1987).

O tomateiro cultivado (*Solanum lycopersicum* Mill.) é um exemplo dessas culturas, onde altas doses de fertilizantes utilizadas em seu cultivo contrastam com as quantidades relativamente baixas de nutrientes exportadas pela cultura (Embrapa, 1994).

A aplicação de grande quantidade de adubos solúveis no solo é uma prática potencialmente poluidora do meio-ambiente, principalmente da água, seja ela subterrânea ou superficial. Não bastasse o custo ambiental, os fertilizantes são adquiridos a um custo cada vez mais alto

pelos produtores, onerando a produção de alimentos.

A variabilidade genética das espécies vegetais normalmente proporciona diferenças nas capacidades de absorção de nutrientes. Tal fato tem sido relatado, quanto à tolerância ao baixo teor de fósforo, em culturas de interesse econômico (Silva & Gabelman, 1992; Horts & Wiesler, 1996), inclusive olerícolas como alface (Cock *et al.*, 2002) e tomate (Coltman *et al.*, 1985).

No Brasil, vários trabalhos foram conduzidos para avaliar as características morfológicas, agronômicas, qualidade de frutos e adaptação edafoclimática de cultivares de tomate, das quais as variedades Santa Cruz e Santa Clara configuram como genitoras de im-

portantes materiais (Leal, 1973; Silva, 1996; Peixoto *et al.*, 1999). Entretanto, essas informações ainda se mostram escassas para subsidiar trabalhos de melhoramento genético em tomateiro visando a seleção de cultivares mais eficientes na absorção dos nutrientes no solo.

Portanto, trabalhos científicos buscando viabilizar a obtenção de cultivares eficientes na absorção de nutrientes são promissores para a sustentabilidade da atividade e, por conseguinte, de grande interesse à sociedade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência na absorção de nutrientes e a resposta à adubação em vinte e nove linhagens de tomateiro rasteiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado de 22 de março a 15 de julho de 2006, em campo experimental da Embrapa Hortaliças, à altitude média de 996 metros e coordenadas geográficas de 15°56'00" de latitude Sul e 48°08'00" de longitude a Oeste.

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) (Embrapa, 2006), fase cerrado, relevo suave ondulado. A análise das propriedades químicas, realizada em amostra de solo na camada de 0-20 cm, revelou: pH em água (1:2,5)= 4,80; MO= 36,20 g dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich 1)= 12,50 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>= 172 mg dm<sup>-3</sup>; Na<sup>+</sup>= 58 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>= 2,80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>= 0,80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al<sup>3+</sup>= 8,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>= 0,70 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; B (água quente)= 0,40 mg dm<sup>-3</sup>; Cu (DTPA)= 1,00 mg dm<sup>-3</sup>; Fe (DTPA)= 25,10 mg dm<sup>-3</sup>; Mn (DTPA)= 30,80 mg dm<sup>-3</sup>; e Zn (DTPA)= 6,80 mg dm<sup>-3</sup>.

Foram instalados dois ensaios com vinte e nove linhagens de tomateiro rasteiro do Programa de Melhoramento Genético da Embrapa Hortaliças, codificadas por números de 01 a 29, em ambientes com distintas dosagens de fertilizantes. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições. A parcela experimental foi constituída por 12 plantas dispostas em fileira única e espaçadas 0,30 m entre si. O espaçamento entre fileiras foi de 1,50 m.

Ao longo do experimento foram realizados o controle de ervas daninhas, de pragas e doenças, adubação de cobertura e irrigação por aspersão convencional.

Avaliou-se as linhagens quanto à absorção de nutrientes e resposta à adubação, pela metodologia idealizada por Oliveira *et al.* (2001), a qual fundamenta-se na quantificação de incrementos de produtividade e de índice DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) em diferentes níveis de adubação.

Em ambos os ensaios o solo foi preparado convencionalmente e corrigido com calcário dolomítico *filler* (PRNT= 95%), com uma dosagem de 5 t ha<sup>-1</sup>, estabelecida pelo critério de saturação

por bases, suficiente para elevar a saturação para 70%, conforme recomendação para a cultura do tomate (Filgueira *et al.*, 1999).

A adubação do ensaio 02 foi estabelecida com base nos resultados da análise de solo e na Recomendação para Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação (Filgueira *et al.*, 1999) e constou de 60 kg de N, 600 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 kg de K<sub>2</sub>O, 3 kg de B e 1,3 kg de Cu por hectare, aplicados imediatamente antes do transplantio, além de 60 kg de N ha<sup>-1</sup> em cobertura. As fontes de nutrientes utilizadas foram superfosfato simples, cloreto de potássio, sulfato de amônio, bórax e sulfato de cobre, contemplando também a adição de 600 kg de Ca e 394 kg de S por hectare, no transplantio, e 60 kg ha<sup>-1</sup> de S, em cobertura, no ensaio 02. No ensaio 01, aplicou-se 1/3 da dosagem dos fertilizantes empregados no ensaio 02, inclusive na adubação de cobertura.

A adubação de cobertura foi realizada aos 25 dias após o transplante, utilizando sulfato de amônio como fonte de nitrogênio. O adubo foi aplicado manualmente ao lado da linha de plantas e incorporado ao solo com uma leve irrigação.

Avaliou-se no experimento o índice DRIS dos nutrientes N, P, K, Ca, S, B e Cu, e a produtividade de cada linhagem. O índice DRIS foi calculado com base nos resultados da análise de folhas, conforme método descrito por Malavolta *et al.* (1997). Para tanto, a amostragem das folhas foi realizada no ato do florescimento pleno do tomateiro, coletando-se a quarta folha da haste contada do ápice para a base (Passos, 1999). As amostras foram compostas por duas folhas por planta, totalizando 24 folhas por parcela.

Na obtenção dos valores de referência para os cálculos dos índices DRIS, utilizou-se a própria população de plantas do experimento para a coleta de dados, considerando parcelas de alta produtividade as que produziram acima de 70 t ha<sup>-1</sup>.

A colheita foi realizada aos 113 dias após o transplantio, manualmente e em operação única, quando as linhagens

apresentavam aproximadamente 80% dos frutos já maduros.

Os valores médios de produtividade e de índice DRIS de cada linhagem obtidos no ensaio 01 foram comparados com aqueles obtidos no ensaio 02. Estimaram-se, então, as ocorrências de incrementos nas produtividades e no índice DRIS de cada nutriente considerado (Incremento de índice DRIS ou de Produtividade = índice DRIS ou Produtividade do ensaio 02 – índice DRIS ou Produtividade do ensaio 01).

Com base nesses resultados e considerando a média de incremento de índice DRIS por nutriente e de produtividade de todas as linhagens como valores críticos para eficiência na absorção de nutrientes e resposta à adubação, respectivamente, estabeleceram-se quatro grupos: i) eficiente na absorção do nutriente e responsiva à adubação; ii) eficiente na absorção do nutriente e não responsiva à adubação; iii) não eficiente na absorção do nutriente e responsiva à adubação; e iv) não eficiente na absorção do nutriente e não responsiva à adubação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produtividades das linhagens avaliadas ocorreram dentro do esperado (Tabela 1), sem a obtenção de valores que discrepam muito dos que são conseguidos em plantios comerciais de tomate para industrialização. A produtividade média variou de 66 a 115 t ha<sup>-1</sup>, no ensaio 01, e de 57 a 118 t ha<sup>-1</sup>, no ensaio 02. O incremento médio de produtividade foi de 7,4 t ha<sup>-1</sup>.

Observou-se que das 29 linhagens, 19 tiveram ganhos em produtividade em reposta ao aumento da adubação, gerando incrementos de produtividade (Tabela 1). As linhagens 01, 06, 07, 08, 14, 16, 17, 18, 26 e 28 detiveram produções no ensaio 02 inferiores às obtidas no ensaio 01, resultando em decrementos de produtividade, evidenciando que esses materiais não responderam à adubação.

Dentre as linhagens que tiveram decrementos de produtividade, notou-se que as linhas 16, 17 e 18 apresentaram aumento na ocorrência e severidade de doenças foliares, principalmente pinta-

**Tabela 1.** Produtividade média, em t ha<sup>-1</sup> (Prod) e incremento de produtividade (IP) em 29 linhagens (L) de tomateiro rasteiro (average yield in t ha<sup>-1</sup> and yield increase in 29 processing tomato lines). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.

<b>Linhagens e respectivas produtividades no ensaio 01</b>									
<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>
1	84,63	7	78,50	13	82,90	19	95,97	25	74,10
2	65,67	8	91,40	14	83,00	20	75,73	26	74,73
3	79,73	9	85,73	15	76,13	21	72,93	27	76,83
4	84,03	10	69,50	16	91,30	22	75,53	28	83,77
5	87,63	11	88,30	17	92,33	23	78,37	29	82,77
6	115,27	12	73,80	18	111,87	24	80,07		
<b>Linhagens e respectivas produtividades no ensaio 02</b>									
<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>	<b>L</b>	<b>Prod</b>
1	59,63	7	64,97	13	105,40	19	102,83	25	88,60
2	73,03	8	87,50	14	71,70	20	78,50	26	56,80
3	93,10	9	104,33	15	94,63	21	88,60	27	85,47
4	111,33	10	83,70	16	87,20	22	92,13	28	80,03
5	111,90	11	89,67	17	79,87	23	81,63	29	117,57
6	88,20	12	78,23	18	87,13	24	86,80		
<b>Linhagens e respectivos incrementos de produtividade</b>									
<b>L</b>	<b>IP</b>	<b>L</b>	<b>IP</b>	<b>L</b>	<b>IP</b>	<b>L</b>	<b>IP</b>	<b>L</b>	<b>IP</b>
1	-25	7	-14	13	23	19	7	25	15
2	7	8	-4	14	-11	20	3	26	-18
3	13	9	19	15	19	21	16	27	9
4	27	10	14	16	-4	22	17	28	-4
5	24	11	1	17	-12	23	3	29	35
6	-27	12	4	18	-25	24	7		

preta (*Alternaria solani*) e septoriose (*Septoria lycopersici*) com a elevação do teor de nutrientes no solo. As linhagens 02, 04, 21 e 22 também tiveram problemas com agravamento da incidência de doenças e, apesar de apresentarem maiores produtividades no ensaio 02, é possível que parte do potencial produtivo tenha sido comprometido.

De uma forma geral, os dados permitem afirmar que as linhagens analisadas responderam de forma diferenciada ao aumento da adubação, denotando as distintas composições genéticas desses materiais, o que é de interesse para o melhoramento.

As linhagens avaliadas revelaram incrementos de índice DRIS em quatro dos sete nutrientes considerados (Tabela 2), em função do aumento da adubação. Os incrementos de índice DRIS ocorreram nos seguintes elementos: N, P, S e B.

Aumento na adubação tende a ocasionar maior absorção pelas plantas dos

nutrientes aplicados, com reflexos nos respectivos valores de índice DRIS. Entretanto, nem sempre isso ocorre. A presença de nutrientes essenciais em quantidades adequadas em um solo não assegura a sua disponibilidade para as culturas, pois outros fatores como deficiência hídrica, temperatura, pH, presença de nutrientes tóxicos ou sais podem limitar essa disponibilidade (Fageria *et al.*, 1999). Várias interações também podem ocorrer entre os nutrientes na solução do solo, afetando a disponibilidade, quais sejam: antagonismo, inibição competitiva e inibição não competitiva (interações negativas), além de sinergismo (interação positiva) (Malavolta, 1987).

A adubação pode alterar a disponibilidade dos nutrientes por duas formas: adicionando o nutriente à solução do solo ou intensificando as interações entre os nutrientes.

A variação de adubação do ensaio

01 para o ensaio 02 alterou diretamente, por adição ao solo, os nutrientes N, P, K, Ca, S, B e Cu e, portanto, a classificação das linhagens foi realizada apenas para esses elementos. Os incrementos médios de Índice DRIS de N, P, K, Ca, S, B e Cu foram 100,8; 307,0; -326,0; -203,1; 356,3; 310,3; e -230,0; respectivamente. A ocorrência de valores positivos no incremento de índice DRIS de N, P, S e B pode estar relacionada ao aumento da disponibilidade desses nutrientes em função da adubação.

A menor absorção, no ensaio 2, de K, Ca e Cu nas linhagens avaliadas pode ter refletido diretamente na produção de frutos, dada a importância metabólica desses nutrientes nas plantas. O K e Ca estão entre os nutrientes mais exportados nos frutos de tomate (Espinoza, 1991; Embrapa, 1994).

Para o nitrogênio houve a seguinte classificação das linhagens: i) 03, 04, 05, 09 e 22 foram eficientes na absorção de

**Tabela 2.** Incremento de índice DRIS em 29 linhagens de tomateiro rasteiro (increase in the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) of 29 processing tomato inbred lines). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.

Linhagem	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
1	132	259	-245	-193	-98	252	230	-187	241	-155
2	159	299	-264	-215	-120	271	274	-190	283	-118
3	130	320	-317	-209	-60	319	288	-207	301	-123
4	113	409	-456	-263	2	534	459	-259	423	-163
5	126	235	-236	-164	-71	200	180	-115	200	-105
6	138	333	-336	-221	-64	359	302	-187	338	-141
7	123	242	-226	-177	-73	230	222	-131	231	-81
8	61	171	-198	-110	-6	192	175	-78	199	-54
9	173	324	-332	-224	-94	335	283	-141	320	-153
10	87	267	-288	-166	-19	285	279	-172	292	-81
11	86	331	-365	-205	3	433	367	-194	383	-129
12	11	569	-694	-323	194	937	753	-395	697	-194
13	100	333	-348	-215	-24	384	349	-248	379	-106
14	234	485	-452	-356	-180	475	478	-373	463	-256
15	59	357	-377	-208	14	444	384	-333	383	-162
16	107	347	-358	-217	-40	387	322	-283	347	-172
17	110	403	-417	-241	-17	430	404	-338	428	-98
18	156	393	-387	-254	-82	377	325	-312	369	-165
19	71	281	-307	-180	-9	339	305	-252	310	-107
20	112	395	-395	-253	-70	463	424	-385	394	-246
21	49	275	-295	-162	-28	336	299	-320	312	-195
22	106	285	-269	-193	-71	306	287	-234	308	-133
23	103	331	-327	-222	-57	370	323	-311	304	-213
24	68	272	-286	-179	-4	350	319	-203	302	-101
25	98	297	-297	-183	-65	326	290	-254	324	-164
26	60	289	-293	-175	-1	364	314	-259	304	-110
27	64	290	-326	-181	34	383	337	-181	306	-74
28	121	325	-332	-220	-39	368	340	-199	325	-104
29	81	324	-346	-200	2	397	350	-239	326	-119
Média	104,76	325,55	-336,86	-211,34	-35,97	374,00	333,17	-240,69	337,66	-138,69

N e responsivas à adubação (EA e RA); ii) 01, 02, 06, 07, 14, 16, 17, 18, 20, 23 e 28 destacaram-se como eficientes na absorção e não responsivas à adubação (EA e NRA); iii) 10, 13, 15, 21, 25, 27 e 29 mostraram-se não eficientes na absorção de N e responsivas à adubação (NEA e RA); e iv) por sua vez, 08, 11, 12, 19, 24 e 26 foram não eficientes na absorção e não responsivas à adubação (NEA e NRA).

Para o N, constatou-se, assim, que apenas cinco linhagens compuseram o grupo das eficientes e responsivas à adubação.

Quanto ao fósforo, teve-se que: i)

as linhagens 03, 04, 09, 13, 15 e 29 revelaram-se eficientes na absorção e responsivas à adubação (EA e RA); ii) 06, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 20, 23 e 28 apresentaram-se eficientes na absorção de P, porém não responsivas à adubação (EA e NRA); iii) as linhagens não eficientes na absorção e responsivas à adubação (NEA e RA) foram 05, 10, 21, 22, 25 e 27; e iv) as linhagens 01, 02, 07, 08, 19, 24 e 26 destacaram-se por seus comportamentos não desejáveis, uma vez que foram não eficientes na absorção e não responsivas à adubação de P (NEA e NRA).

Similarmente ao que ocorreu com o

N, também para o P, a classe que conteve o maior número de linhagens foi EA e NRA, com um total de nove; ademais, as classes com menor número de linhagens foram as EA e RA, e NEA e RA, com seis linhagens cada.

Diferentes capacidades de absorção de fósforo entre genótipos de tomateiro têm sido relatadas em pesquisas com esse nutriente. Como exemplo, Alvarez *et al.* (2002), trabalhando com as cultivares comerciais Santa Cruz e Santa Clara, observaram superioridade da primeira quanto à eficiência na utilização do fósforo acumulado na planta e quanto à eficiência na absorção desse nutriente

**Tabela 3.** Estimativas de correlação de Pearson entre índices DRIS em 29 linhagens de tomateiro rasteiro (Pearson's correlation matrix among DRIS indexes in 29 processing tomato inbred lines). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
<b>N</b>	1,000	0,842	-0,783	-0,896	0,647	0,716	0,751	-0,775	0,783	-0,781
<b>P</b>		1,000	-0,992	-0,992	-0,223	0,976	0,983	-0,949	0,993	-0,828
<b>K</b>			1,000	0,974	0,100	-0,992	-0,994	0,924	-0,995	0,776
<b>Ca</b>				1,000	0,303	-0,950	-0,964	0,928	-0,973	0,826
<b>Mg</b>					1,000	-0,022	-0,067	0,311	-0,137	0,553
<b>S</b>						1,000	0,997	-0,913	0,989	-0,756
<b>B</b>							1,000	-0,919	0,992	-0,762
<b>Cu</b>								1,000	-0,943	0,917
<b>Mn</b>									1,000	-0,804
<b>Zn</b>										1,000

Valores de  $R \geq 0,459$  foram significativos em 1% de probabilidade pelo teste "t" de Student; enquanto valores de  $R \geq 0,356$  foram significativos em 5% de probabilidade pelo teste "t" de Student (values of  $R \geq 0,459$  were significant at 1% probability by "t" test of Student; while values of  $R \geq 0,35$  were significant at 5% probability by "t" test of Student).

proveniente do fertilizante aplicado. Concluíram, também, que as cultivares responderam de forma diferente à adubação com fósforo, enfatizando a importância desse tipo de trabalho nos programas de melhoramento genético de tomateiro.

Hocking *et al.* (1997) atribuem às diferenças morfológicas e densidade de pêlos no sistema radicular a capacidade diferenciada das plantas em absorver fósforo no solo. A excreção de ácidos orgânicos pelas raízes é tida como um mecanismo de liberação do P "fixado" a minerais de Fe e Al no solo. O feijão guandu (*Cajanus cajan*) é um exemplo típico de plantas que possuem esse mecanismo (Otani *et al.*, 1996).

A classificação das linhagens quanto à eficiência na absorção de potássio e resposta à adubação, distribuiu-se da seguinte forma: i) 03, 05, 10, 21, 22 e 25 expressaram-se eficientes na absorção de K e responsivas à adubação (EA e RA); ii) 01, 02, 07, 08, 19, 24 e 26 foram eficientes na absorção, porém não responsivas à adubação (EA e NRA); iii) 04, 09, 13, 15, 27 e 29 apresentaram-se não eficientes na absorção de K e responsivas à adubação (NEA e RA); e iv) 06, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 20, 23 e 28 foram não eficientes na absorção e não responsivas à adubação (NEA e NRA).

Por esses resultados, houve menor desempenho das linhagens quanto à eficiência e responsividade ao K em comparação ao N e P, uma vez que

para aquele, dez linhagens foram não eficientes e não responsivas.

No que se refere ao cálcio, as linhagens foram classificadas como segue: i) 05, 10, 21, 22, 25, 27 e 29 foram eficientes na absorção de Ca e responsivas à adubação (EA e RA); ii) 01, 07, 08, 19, 24 e 26 mostraram-se eficientes na absorção, porém não responsivas à adubação (EA e NRA); iii) 03, 04, 09, 13 e 15 expressaram-se como não eficientes na absorção mas responsivas à adubação (NEA e RA); e iv) 02, 06, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 20, 23 e 28 foram não eficientes na absorção de Ca e não responsivas à adubação (NEA e NRA).

Assim, apesar de onze linhagens serem não eficientes e não responsivas ao Ca, sete foram eficientes e responsivas, cuja magnitude é superior ao *quantum* de linhagens com essa mesma classificação para N e P.

Não foi observado qualquer sintoma visual nítido de deficiência de cálcio, como a podridão estilar dos frutos, apesar da ocorrência de decrementos de índice DRIS. Esse fato demonstra que, mesmo apresentando menores teores nas folhas com o aumento da adubação, é pouco provável a possibilidade do Ca ter sido limitante para a expressão do potencial produtivo das linhagens.

Pouca importância é dispensada ao enxofre nos programas de adubação e trabalhos com eficiência de absorção e resposta ao fornecimento desse nutriente são raros. O fato do enxofre acompanhar

outros nutrientes na adubação devido às fontes empregadas (sulfato de amônio, sulfato de magnésio, superfosfato simples, dentre outros) ameniza os problemas de carência nas lavouras, levando, muitas vezes, a uma equivocada conclusão de ausência de resposta das culturas à adubação com S.

A ocorrência de baixos teores de enxofre no solo pode ser suficiente para inibir o aparecimento de sintomas visuais de deficiência, porém, pode não ser o bastante para evitar a ocorrência da chamada "fome oculta" que compromete a produtividade das culturas de forma imperceptível. A resposta à aplicação de gesso em função da melhoria do ambiente radicular e do fornecimento de enxofre (Raij, 1991), reflete o quanto podem ser importantes trabalhos com esse nutriente.

Assim como para os outros nutrientes considerados, a capacidade de absorção de enxofre foi bastante diferenciada entre as linhagens.

O enxofre, de forma análoga ao nitrogênio, o boro e o cobre, conteve o menor número de linhagens EA e RA. A classificação das linhagens quanto à eficiência e responsividade ao S resumiu-se em: i) 04, 13, 15, 27 e 29, eficientes na absorção de S e responsivas à adubação (EA e RA); ii) 06, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 20, 23, 24, 26 e 28, eficientes na absorção de S e não responsivas à adubação (EA e NRA); iii) 03, 05, 09, 10, 21, 22 e 25, não eficientes na absorção de S e

responsivas à adubação (NEA e RA); e iv) 01, 02, 07, 08, 19 e 24, as quais foram não eficientes na absorção de S e não responsivas à adubação (NEA e NRA).

Observou-se que os teores foliares de enxofre aumentaram com a adubação, gerando incrementos de índice DRIS.

Holanda Filho *et al.* (2006), avaliando o efeito da fertirrigação de N e K<sub>2</sub>O na absorção de macronutrientes da gravioleira, não observaram em nenhum tratamento deficiência de enxofre, evidenciando que o N e o K não interferem negativamente na absorção desse nutriente pela cultura.

A avaliação das linhagens quanto à absorção de boro e resposta à adubação gerou resultados bastante semelhantes aos do enxofre. Houve uma semelhança de comportamento dos genótipos de tomate, onde até mesmo os valores de incrementos de índice DRIS foram próximos. É possível, portanto, que além das interações com os demais nutrientes (Tabela 3) tenha ocorrido uma gama de fatores, comuns ao B e ao S, que interferiu na absorção desses nutrientes pelo tomateiro, inclusive aqueles morfológicos e fisiológicos inerentes ao genótipo.

A classificação quanto à eficiência na absorção de boro e resposta à adubação coincidiu com a classificação para o enxofre, com exceção do comportamento das linhagens 06 e 24. Para o boro, a linhagem 06 mostrou-se eficiente na absorção e a 24, não eficiente. Para o enxofre, o comportamento foi o inverso.

O boro é um regulador de metabolismo necessário à translocação de açúcares nas plantas. O principal sintoma de carência desse nutriente em tomateiro é a má formação do fruto, causando o que se conhece como lóculo aberto (Melo *et al.*, 2005). Em cultivos na região dos cerrados a adubação com boro passa a ser relevante devido à baixa fertilidade natural desses solos e da estreita relação do boro com a absorção de cálcio (Fumes, 1986).

Malavolta (1987) ressalta a interferência da relação Ca:Mg no solo na absorção de alguns nutrientes, dentre eles o boro, por meio de processos de antagonismo, inibição competitiva e não competitiva e sinergismo. De fato,

Moreira *et al.* (2000) relataram a diminuição da absorção de boro quando aplicado 7.800 kg.ha<sup>-1</sup> de calcário na proporção de Ca:Mg de 3:1.

No presente trabalho, o aumento da dosagem de adubo no ensaio 02 alterou também a relação Ca:Mg, uma vez que as fontes de nutrientes aplicadas continham Ca e não continham Mg. Dessa forma, a absorção diferenciada de boro pode ser resultante da reação de cada linhagem em face à nova relação entre nutrientes estabelecida no ensaio 02.

No que se refere ao cobre, as linhagens foram assim classificadas: i) 03, 05, 09, 10 e 27, como eficientes na absorção e responsivas à adubação (EA e RA); ii) 01, 02, 06, 07, 08, 11, 24 e 28 foram eficientes na absorção de Cu e não responsivas à adubação (EA e NRA); iii) 04, 13, 15, 21, 22, 25 e 29 apresentaram-se não eficientes na absorção, porém responsivas à adubação (NEA e RA); e iv) 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 23 e 26, como não eficientes na absorção de Cu e não responsivas à adubação (NEA e NRA).

Segundo Malavolta (1987), o cobre estabelece interação de antagonismo com o cálcio e de inibição competitiva com o zinco. Entretanto, não se observou no presente trabalho correlação negativa entre o índice DRIS desses três nutrientes (Tabela 3), descartando a possibilidade de que uma interação antagônica entre eles tenha sido responsável pela geração de decrementos de índice DRIS de cobre.

Soares *et al.* (2000) constataram diferença na sensibilidade à toxidez por cobre entre duas espécies de eucalipto, possivelmente devido a uma absorção diferenciada do nutriente pelos genótipos.

Os dados de incrementos de índice DRIS (Tabela 2) demonstram que houve diferenciação na eficiência de absorção de todos os nutrientes avaliados, evidenciando, por outro lado, reações similares para alguns nutrientes, como o K, S e B.

Dentre os genótipos eficientes na absorção de nutrientes e responsivos à adubação, a linhagem 27 foi a de melhor desempenho, por sua eficiência e responsividade na absorção de 71,43%

dos nutrientes considerados, seguida pelas linhagens 03, 04, 05 e 29, todas com frequência de 57,14%.

A linhagem 28 mostrou-se, também, bastante promissora, sendo eficiente na absorção de 71,43% dos nutrientes considerados. Porém, foi considerada não responsiva à adubação. Situação semelhante à última condição ocorreu com as linhagens 01, 06, 07, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 23, 24 e 26, com uma frequência de 57,14%.

Os resultados obtidos revelam que há potencial das linhagens avaliadas para eficiência na absorção de nutrientes e resposta à adubação, o que é de fundamental importância para ações relacionadas ao melhoramento de plantas, aí incluídas ações de equipe entre melhoristas e fitotecnistas, com vantagens para o produtor e consumidor. Estudos de herança tornam-se, a partir de então, de absoluta necessidade para a definição dos procedimentos de melhoramento para obtenção de ganhos superiores com a seleção, com foco principal para produto destinado à industrialização.

De forma sucinta, conclui-se que: i) houve variabilidade entre as linhagens avaliadas de tomate para uso em indústria quanto à eficiência na absorção e resposta à adubação de N, P, K, Ca, S, B e Cu; ii) eficiência e responsividade para o nitrogênio ocorreram com as linhagens 03, 04, 05, 09 e 22; quanto ao fósforo, para as linhas 03, 04, 09, 13, 15 e 29; em relação ao potássio, para 03, 05, 10, 21, 22, 25 e 27; para o cálcio, por 05, 10, 21, 22, 25, 27 e 29; ao enxofre e boro, pelas linhas 04, 13, 15, 27 e 29; e para o cobre, pelas linhas 03, 05, 09, 10 e 27; e iii) a linhagem 27 prevaleceu dentre as demais pelo maior percentual de absorção e responsividade (71,43%) dos nutrientes avaliados, seguida por 03, 04, 05 e 29, essas com frequência de 57,14%.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ VFC; DUETE RRC; MURAOKA T; DUETE WLC; ABREU JÚNIOR CH. 2002. Utilização de fósforo do solo e do fertilizante por tomateiro. *Scientia Agricola* 59: 167-172.
- COCK WRS; AMARAL JUNIOR AT; BRESSAN-SMITH RE; MONNERAT PH. 2002. Biometrical analysis of phosphorus use

- efficiency in lettuce cultivars adapted to high temperatures. *Euphytica* 126: 299-308.
- COLTMAN RR; GERLOFF GC; GABELMAN WH. 1985. Differential tolerance of tomato strains to maintained and deficient levels of phosphorus. *The Journal of the American Society for Horticultural Science* 110: 140-144.
- COSTA PC. 1999. *Relações N:K:Ca na qualidade de frutos de tomateiro (Lycopersicon esculentum, Mill.) híbrido Momotaro, em cultivo hidropônico*. Botucatu: UNESP-FCA. 73p (Tese mestrado).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1994. *Cultivo do tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) para industrialização*. Brasília: EMBRAPA-CNPq. 36p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2 ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306 p.
- ESPINOZA W. 1991. *Manual de produção de tomate industrial no Vale do São Francisco*. Brasília: IICA, CODEVASF. 301 p.
- FAGERIA NK; STONE LF; SANTOS AB. 1999. *Maximização da eficiência de produção das culturas*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 294 p.
- FERNANDES AA; MARTINEZ HEP; FONTES PCR. 2002. Produtividade, qualidade dos frutos e estado nutricional do tomateiro tipo longa vida conduzido com um cacho, em cultivo hidropônico, em função das fontes de nutrientes. *Horticultura Brasileira* 20: 564-570.
- FILGUEIRA FAR; OBEID PC; MORAIS HJ; SANTOS WV; BARBOSA V. 1999. Sugestões de adubação para hortaliças – tomate rasteiro. In: RIBEIRO AC; GUIMARÃES PTG; ALVAREZ VH. *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação*. Viçosa. p. 205-206.
- HOLANDAFILHORSF; SOUSA VF; AZEVEDO BM. 2006. Efeitos da fertirrigação de N e K<sub>2</sub>O na absorção de macronutrientes pela grão-de-leiteira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10: 43-49.
- FUMES ME. 1986. *Estudo de ocorrência da podridão interna em frutos de tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill): efeitos de doses de nitrogênio, potássio e boro e fontes de cálcio*. Botucatu: UNESP. 84p (Tese mestrado).
- HAAG PH; OLIVEIRA GD; BARBOSA V; SILVA NETO JM. 1981. Marcha de absorção dos nutrientes pelo tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) destinado ao processamento industrial. In: HAAG HP; MINAMI K. *Nutrição mineral de hortaliças*. Campinas: Fundação Cargill. p.447-474.
- HOCKING PJ; KEERTHISINGHE G; SMITH FW; RANDALL PJ. 1997. Comparison of the ability of different crop species to access poorly-available soil phosphorus. In: ANDOT; FUGITAK; MAE T; MATSUMOTO H; MORI S; SEKIYA J. *Plant nutrition – for sustainable food production and environment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p.305-308.
- HORTS WJ; WIESLER F. 1996. Genotypic differences in acquisition and utilization of phosphorus in wheat. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Isotope studies on plant productivity*. Vienna: IAEA. p.73-87.
- LEAL NR. 1973. Comparação da produtividade do cultivar de tomate Alcobaça com três cultivares do tipo Santa Cruz, na Baixada Fluminense. *Revista Ceres* 20: 65-67.
- MALAVOLTA E. 1987. Nutrição mineral das plantas. In: *Curso de Atualização em Fertilidade do Solo*. Campinas: Fundação Cargill. p.33-101.
- MALAVOLTA E; VITTI GC; OLIVEIRA SA. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 319p.
- MELO PCT; LOPES CA; GIORDANO LB. 2005. Distúrbios fisiológicos. In: LOPES CA; ÁVILA CA. *Doenças do tomateiro*. Brasília: Embrapa Hortaliças. p.101-132.
- MOREIRA A; CARVALHO JG; MORAES LAC. 2000. Efeito da relação cálcio e magnésio do corretivo sobre micronutrientes na alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 2051-2056.
- OLIVEIRA SA; GAVA JL; ODA S; MELLO EJ. 2001. Seleção de progênies de eucalipto quanto à eficiência na absorção de fósforo e potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. *Anais...* Londrina. p.203.
- OTANI TAEN; TANAKA M. 1996. Phosphorus uptake mechanisms of crop growth in soil with low P status. *Soil Science and Plant Nutrition* 42: 553-560.
- PASSOS RF. 1999. *Efeito da adubação nitrogenada e da calagem no balanço nutricional e na produtividade do tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill. Cv. Andino)*. Brasília: UnB. 123p (Tese mestrado).
- PEIXOTO JR; OLIVEIRA CM; SILVA RP; ANGELIS B; CECÍLIO FILHO BA. 1999. Avaliação de genótipos de tomateiro tipo santa cruz no período de inverno, em Araguari, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 2247-2251.
- RAIJ BV. 1991. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Potafos. 343 p.
- RODRIGUES DS; PONTES AL; MINAMI K. 2002. Quantidade absorvida e concentrações de micronutrientes em tomateiro sob cultivo protegido. *Scientia Agrícola* 59: 137-144.
- SILVA AE; GABELMAN WH. 1992. Screening maize inbred lines for tolerance to low-P stress condition. *Plant and Soil* 146: 181-187.
- SILVARP. 1996. *Avaliação de genótipos de tomate tipo Santa Cruz, no período de verão em Araguari-MG*. Uberlândia: UFU. 31p.
- SOARES CRFS; SIQUEIRA JO; CARVALHO JG. 2000. Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12: 213-225.
- STRIPARI PC. 1999. *Vibração e fitorregulador na frutificação do tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill.) Híbrido House Momotaro em ambiente protegido*. Botucatu: UNESP - FCA 60p (Tese mestrado).
- THEODORO GF; MARINGONI AC. 2006. Efeito de doses de potássio na severidade da murcha-de-curtobacterium em cultivares de feijoeiro comum. *Summa Phytopathol* 32: 139-146.