

SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

DOSES DE FÓSFORO E ZINCO NA CULTURA DO ALHO EM CONDIÇÕES DE CASA DE VEGETAÇÃO ⁽¹⁾

LEONARDO THEODORO BÜLL ^(2*); ALINE NOVELLO ⁽³⁾; JULIANO CORULLI CORRÊA ⁽⁴⁾;
ROBERTO LYRA VILLAS BOAS ⁽²⁾

RESUMO

A adubação fosfatada promove o aumento de produtividade na cultura do alho, mas doses de fósforo (P) podem proporcionar a deficiência de zinco (Zn) na planta, sobretudo em solos com baixos teores deste micronutriente. O objetivo do trabalho foi verificar o efeito da interação entre P e Zn no solo sobre o desenvolvimento e produção de plantas de alho. Foram instalados três experimentos, cada um com um tipo de solo, em vasos com 17 kg de solo, em casa de vegetação telada. Empregou-se delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial com 4 doses de P (0, 100, 200 e 400 mg dm⁻³) utilizando-se superfosfato triplo e 4 doses de Zn (0, 2,5, 5,0 e 10 mg dm⁻³) aplicados na forma de ZnSO₄.7H₂O, ambos incorporados ao solo, com três repetições. A produtividade e o desenvolvimento de plantas de alho foram influenciados, isoladamente, pelas doses de P e Zn, não havendo a interação entre esses nutrientes. Para os solos Neossolo Quartzarênico (NQ) textura arenosa, Latossolo Vermelho Distrófico (LE) textura média e Latossolo Vermelho Distroférico (LR), textura argilosa, as melhores doses de P para a produção de alho foram de 190, 400 e 400 mg dm⁻³ e para o Zn de 2,2; 6,5 e 5,1 mg dm⁻³ respectivamente.

Palavras-chave: Nutrientes, adubação, *Allium sativum* L.

ABSTRACT

DOSES OF PHOSPHORUS AND ZINC ON GARLIC CROP IN GREENHOUSE

Phosphate fertilization increases garlic yield, but high doses of phosphorus (P) may cause zinc deficiency (Zn) in plants, mainly when the soil presents low contents of this micronutrient. This paper aimed to verify the effect of P and Zn interaction in the soil on the development and yield of garlic bulbs ("Roxo Pérola de Caçador" cultivar). Three experiments were carried out under screened greenhouse conditions, using three soils of different texture and 17 kg pots. They had a randomized factorial block design, 4 doses of P (0, 100, 200 and 400 mg dm⁻³), 4 doses of Zn (0, 2,5, 5,0 and 10 mg dm⁻³), both applied as ZnSO₄.7H₂O, and three replications. Garlic bulb development and yield were influenced by doses of P and Zn; there was no interaction between these nutrients. For sand, loamy and clayey soils, the best doses of P were 190, 400 and 400 mg dm⁻³ whereas for Zn, they were 2.2, 6.5 and 5.1 mg dm⁻³, respectively.

Key words: Nutrients, fertilization, *Allium sativum* L.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 14 de agosto de 2006 e aceito em 18 de abril de 2008.

⁽²⁾ Departamento de Recursos Naturais, Área Ciência do Solo, UNESP/FCA, Caixa Postal 237, 18603-970 Botucatu (SP). E-mail: bull@fca.unesp.br. (*) Autor correspondente; rlvboas@fca.unesp.br.

⁽³⁾ Ex-aluna de graduação do Departamento de Recursos Naturais, Área Ciência do Solo, UNESP/FCA, Caixa Postal 237, 18603-970 Botucatu (SP).

⁽⁴⁾ Universidades EDUVALE, em Avaré e FIO em Ourinhos. Rua Frederico Petri, 673/23, 18611-347 Botucatu (SP). E-mail: correajc@superig.com.br

1. INTRODUÇÃO

É comum ocorrer deficiência de Zn na cultura de alho em condições de altos teores de P no solo ou devido a adubações fosfatadas com doses elevadas. Uma das razões para a deficiência de Zn é a interação P x Zn na raiz e/ou vasos condutores, o que reduz a translocação de Zn para a parte aérea da planta (STUKENHOLTZ et al., 1966) ou ainda, esta interação pode causar desordem metabólica pelo desbalanceamento entre os dois nutrientes (BOAWN e BROWN, 1968;), uma vez que o excesso de P aumenta o requerimento fisiológico de Zn na planta (WEBB e LONERAGAN, 1988), principalmente, em razão de estar ocorrendo o favorecimento do crescimento radicular pela maior disponibilidade de P no solo. No entanto, há relatos que o aumento de doses de P no solo não resultou em diferença na absorção de Zn pelo alho, em condição de casa de vegetação (BÜLL et al., 1998 e 2004).

Adubações com doses elevadas de P são utilizadas na cultura do alho em razão da maior fixação desse elemento no solo, principalmente em relação à presença de sesquióxidos de Fe e Al, o que condiciona, também, maior adsorção de Zn, o qual se liga às superfícies dos sesquióxidos através da molécula de fosfato (Shuman, 1988, citado por SOUZA e FERREIRA, 1991); portanto, a manifestação desse fenômeno é dependente das concentrações de Zn e P no solo. Pode-se inferir que o efeito da adsorção é pequeno em condição de baixos teores de Zn no solo, e significativo em situações nas quais os teores são mais elevados (BARROW, 1987)

Os poucos trabalhos com P e Zn na cultura do alho se limitaram a aplicações isoladas desses dois nutrientes e, de modo geral, não houve respostas ao Zn no solo quando se aplicou 10 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco na cultivar Roxo Pérola de Caçador (NAKAGAWA et al., 1986), 20 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco na cultivar Amarante (NOVAIS e MENEZES SOBRINHO, 1972) e 35 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco nas cultivares Juréia e Centenário (SOUZA et al., 1982), sendo estes trabalhos desenvolvidos em campo. No entanto, vários estudos atestam a viabilidade técnica da

utilização da adubação fosfatada no aumento da produção na cultura do alho (BÜLL et al., 1998 e 2004).

Diante do exposto realizou-se o presente trabalho de pesquisa com o objetivo de verificar efeitos da interação de P e Zn no desenvolvimento e na produção de bulbos na cultura do alho cv. Roxo Pérola de Caçador.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados três experimentos em casa de vegetação telada do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas do "Câmpus" de Botucatu/UNESP, em vasos de cimento amianto, contendo 17 kg de terra, sendo utilizadas amostras da camada superficial (profundidade de 0-20 cm) de três solos, com diferentes classes texturais: Neossolo Quartzarênico (NQ), textura arenosa Latossolo Vermelho Distrófico (LE), textura média e Latossolo Vermelho Distroférico (LR), e textura argilosa, classificados de acordo com EMBRAPA (1999). Os experimentos foram desenvolvidos simultaneamente, um com cada tipo de solo.

As características químicas e granulométricas dos solos utilizados estão relacionadas na tabela 1. As determinações de rotina para análise química do solo seguiram métodos descritos por RAIJ et al. (1987); na determinação de zinco empregou-se a extração com DTPA, de acordo com método de CAMARGO et al. (1986); os teores de fósforo remanescente, que estimam a capacidade de fixação de P pelo solo (P-rm) foram determinados segundo a técnica de ALVAREZ et al. (s.d.); e as análises granulométricas foram feitas de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (1999).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, sendo 4 doses de fósforo (0, 100, 200 e 400 mg dm⁻³ de P) utilizando-se superfosfato triplo (42% P₂O₅) e 4 doses de zinco (0, 2,5, 5,0 e 10,0 mg dm⁻³ de Zn) aplicados na forma de ZnSO₄.7H₂O. As doses de fósforo seguiram a proposta de adubação para alho cultivado em vasos, segundo BÜLL et al. (1998 e 2004).

Tabela 1. Análises química e granulométrica dos solos Neossolo Quartzarênico (NQ), no Latossolo Vermelho Distrófico (LE) e no Latossolo Vermelho Distroférico (LR)

Solo	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	CTC	M.O.	V	P-res	P-rm	Mn	Zn	Argila
NQ	4,5	0,6	5	2	22	8	36	3	53	6,7	0,3	20
LE	4,0	0,5	1	1	74	23	3	2	22	1,6	0,4	170
LR	4,0	0,7	2	2	98	31	5	3	6	6,1	0,3	490

A primeira etapa dos experimentos consistiu da aplicação de quantidades adequadas de calcário a cada solo, visando atingir saturação por bases de 70% da CTC, calculadas com base em *TRANI et al.* (1996), adicionando-se para NQ, LE e LR, quantidades respectivas de 9; 51 e 65 g por vaso de calcário dolomítico (PRNT = 90%). Em seguida, os solos foram umedecidos a 50% da capacidade máxima de retenção de água e mantidos em incubação por 30 dias.

Após a incubação, foram aplicados os tratamentos com P e Zn, incorporando-se os adubos ao solo. A adubação complementar de plantio foi idêntica para todos os tratamentos, sendo a adubação nitrogenada de plantio feita com sulfato de amônio, na dose correspondente a 35 mg kg⁻¹ de N, enquanto a cobertura foi feita aos 30 e 50 dias após a emergência, aplicando-se 26 mg kg⁻¹ de N, na forma de solução aquosa de nitrato de amônio com base em *BÜLL et al.* (1996). Para adubação potássica, aplicaram-se 212 mg kg⁻¹ de K, na forma de solução de aquosa de cloreto de potássio. Os micronutrientes foram aplicados na forma de solução aquosa, nas quantidades: 1,4 mg kg⁻¹ de B (H₃BO₃), 0,59 mg kg⁻¹ de Cu (CuSO₄ · 5H₂O), 4,1 mg kg⁻¹ de Fe (FeSO₄ · 7H₂O), 2,3 mg kg⁻¹ de Mn (MnSO₄ · H₂O) e 0,07 mg kg⁻¹ de Mo (Na₂MoO₄ · 2H₂O).

Dez dias após a adubação de plantio, foi feita o plantio do alho em 12 de maio de 1998, com a cultivar Roxo Pérola de Caçador, utilizando-se de dez bulbilhos sementes vernalizados a 4 °C por 45 dias, com peso entre 3 e 4 g, e aos 15 dias após a emergência foi realizado o desbaste deixando-se seis plantas por vaso.

Foram coletadas amostras de solo aos 30 dias após o plantio, com trados do tipo sonda (específicos para vaso) para determinação de pH e P, segundo método de *RAIJ et al.* (1987) e Zn, de acordo com *CAMARGO et al.* (1986).

Por ocasião da diferenciação em bulbilhos, com 70 dias após a emergência, foram coletadas amostras de folhas para análise química de acordo com *BATAGLIA et al.* (1983). Para as amostras de folha foram coletadas duas plantas, deixando-se quatro plantas no vaso, sendo estas conduzidas até a produção. Quinzenalmente foram obtidas médias do comprimento da maior folha. A colheita foi realizada aos 120 dias após a germinação, amostrando-se os quatro bulbos remanescentes. A produção de bulbos foi determinada após um período de cura de 30 dias.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio do programa de análise

estatística Sigmaplot 8.0. Os resultados foram submetidos à análise de regressão, ajustando-se as equações aos dados obtidos, a partir das doses de fósforo e zinco, adotando-se como critério para escolha do modelo a interação através do teste F significativo a 5% e a magnitude dos coeficientes de determinação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH no solo, 30 dias após o plantio, estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura do alho, de acordo com *FILGUEIRA* (2006) (Tabela 2). No solo NQ observou-se redução nos valores de pH com a elevação da dose de P aplicada, com valores de 5,7 na dose 0 e 5,3 na dose 400 mg dm⁻³, semelhante a resultados obtidos por *CRUZ* (1994), *BÜLL et al.* (1998 e 2004), o que pode estar relacionado à acidificação provocada pelos resíduos ácidos do superfosfato triplo em razão do baixo poder tampão desse solo (NQ).

Nos teores de P extraídos pela resina ocorreu elevação proporcional às doses de fertilizante fosfatado aplicado nos três solos (Tabela 2). Para a mesma dose de P, observa-se redução nas médias com a elevação nos teores de argila, compatível com a capacidade de adsorção de P de cada solo. A capacidade máxima de adsorção do P pelo solo pode ser estimada por meio da determinação do P-rm (*ALVAREZ*, 1996), e esses índices se correlacionam negativamente (*BÜLL et al.*, 1998).

O incremento das doses de Zn proporcionou aumento nos teores do nutriente disponível nos três tipos de solo, mas a recuperação pelo DTPA foi menor que 50% do total aplicado (Tabela 2). Essa baixa extração do Zn disponível no solo pelo DTPA possivelmente esteja relacionada à maior adsorção desse micronutriente aos colóides de carga variável, como consequência da ligação do zinco às superfícies dos sesquióxidos de Fe e Al através das moléculas de fosfato adsorvidas (*SOUZA et al.*, 1982 e *BARROW*, 1987) como é o caso dos solos utilizados no presente trabalho. Vale ressaltar que em NQ constataram-se as menores concentrações de argila (Tabela 1) e os maiores teores de Zn disponível no solo (Tabela 2). Os teores de Mn no solo NQ são sensivelmente maiores com a elevação das doses de P, o que pode estar relacionado à variação nos valores de pH desse solo (Tabela 2), conforme anteriormente mencionado, confirmando resultados observados por *BÜLL et al.* (1998).

A absorção de N, P e Mn na cultura do alho foi favorecida em razão do aumento das doses de P nos três solos (Tabelas 3 e 4), exceção apenas para o Mn no LR.

Tabela 2. Valores de pH em CaCl₂, P resina, Zn e Mn disponíveis no Neossolo Quartzarênico (NQ), no Latossolo Vermelho Distrófico (LE) e no Latossolo Vermelho Distroférrico (LR) em função das doses de P e Zn aplicadas

Doses		NQ				LE				LR			
P	Zn	pH	P	Zn	Mn	pH	P	Zn	Mn	pH	P	Zn	Mn
—mg dm ⁻³		—mg dm ⁻³				—mg dm ⁻³				—mg dm ⁻³			
0	0	5,8	4	0,3	4,7	5,4	3	0,2	2,8	5,5	6	0,1	4,6
	2,5	5,8	4	1,5	4,6	5,6	3	0,8	2,7	5,5	6	0,9	3,9
	5,0	5,7	3	2,9	5,3	5,6	3	1,6	2,5	5,6	6	2,0	3,7
	10,0	5,7	3	5,1	5,3	5,7	3	3,5	2,3	5,5	6	4,1	3,9
	Média	5,7	3	2,5	5,0	5,5	3	1,5	2,6	5,5	6	1,8	4,0
100	0	5,6	65	0,4	4,4	5,5	55	0,1	3,4	5,3	31	0,2	5,5
	2,5	5,5	61	1,8	5,0	5,6	58	0,9	2,7	5,7	54	0,9	4,1
	5,0	5,5	64	3,3	4,9	5,5	62	2,2	3,1	5,6	53	1,8	3,7
	10,0	5,4	57	5,5	4,6	5,5	51	3,8	3,4	5,5	58	3,9	4,1
	Média	5,5	62	2,7	4,7	5,5	56	1,8	3,2	5,5	49	1,7	4,4
200	0	5,5	137	0,3	7,2	5,5	96	0,1	3,2	5,8	110	0,2	4,4
	2,5	5,4	110	1,5	6,5	5,5	97	1,0	3,1	5,5	103	0,9	4,0
	5,0	5,4	122	3,2	7,0	5,6	128	2,1	3,1	5,6	105	2,1	3,9
	10,0	5,3	118	5,3	8,0	5,5	130	4,0	3,6	5,6	82	4,1	3,9
	Média	5,4	122	2,6	7,2	5,5	112	1,8	3,3	5,6	99	1,8	4,1
400	0	5,4	275	0,4	12,6	5,4	217	0,2	3,6	5,6	216	0,2	4,9
	2,5	5,4	252	1,4	12,7	5,5	247	1,3	3,9	5,4	207	1,0	4,7
	5,0	5,3	246	2,6	12,8	5,6	235	2,5	3,5	5,6	230	1,9	4,7
	10,0	5,3	257	4,4	13,1	5,3	233	4,3	4,3	5,6	195	4,3	4,8
	Média	5,3	258	2,2	12,8	5,5	233	2,1	3,8	5,6	212	1,9	4,8
Médias de Zn	0	5,7	120	0,4	7,2	5,4	93	0,1	3,3	5,5	91	0,2	4,9
	2,5	5,5	106	1,6	7,2	5,5	101	1,0	3,1	5,5	92	0,9	4,2
	5,0	5,5	109	3,0	7,5	5,6	107	2,1	3,1	5,6	98	2,0	4,0
	10,0	5,4	109	5,1	7,8	5,5	104	3,9	3,4	5,6	85	4,1	4,2

NQ: Neossolo Quartzarênico. LE: Latossolo Vermelho Distrófico. LR: Latossolo Vermelho

Com relação à absorção do Mn, apenas as variações ocorridas no solo NQ estão condizentes com os resultados da análise do solo (Tabela 2), verificando-se acentuado paralelismo entre esses índices analíticos; estes resultados são idênticos aos obtidos por BÜLL et al. (1998) e sugerem estarem associados, também, à maior liberação desse micronutriente em função da redução dos valores de pH com a elevação da dose de P ocorrida nesse solo. Ressalte-se que, embora com significância estatística, as variações observadas para os teores de Mn na planta (Tabelas 3 e 4) dentro do solo LE, ao contrário do ocorrido com o solo NQ, não são expressivas.

As doses de Zn no solo não afetaram os teores de N, P e Mn nas plantas, não existindo interação de sinergismo ou antagonismo do Zn como esses

nutrientes (Tabelas 3 e 4). O aumento nos teores de nitrogênio nas folhas do alho, em função das doses de fósforo no solo, confirma os resultados de BÜLL et al. (1998) e SUMNER e FARINA (1986), permitindo inferir que existe interação sinérgica entre os dois nutrientes nessa cultura, em especial para solos com menores teores de argila (NQ), nos quais o fósforo torna-se ainda mais disponível.

Os teores de fósforo na planta cresceram proporcionalmente às doses aplicadas do nutriente em todos os solos (Tabelas 3 e 4). Verificaram-se teores médios substancialmente mais elevados no NQ, indicando maior disponibilidade de P para a planta, sendo condizente com os teores de P resina (Tabela 2) e, principalmente, com os valores de P-rm (Tabela 1), estes resultados confirmam aqueles obtidos por BÜLL et al. (1998).

Tabela 3. Concentração de nutrientes na parte aérea de plantas de alho aos 70 DAE, submetidas a diferentes níveis de P e Zn em três solos

Tratamentos	N			P			Mn			Zn		
	NQ	LE	LR	NQ	LE	LR	NQ	LE	LR	NQ	LE	LR
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
P, mg dm ⁻³												
0	28	27	27	1,8	1,8	1,4	51	67	39	20,7	15,2	13,1
100	33	29	27	4,3	1,9	1,6	59	68	43	23,9	15,7	13,8
200	33	28	28	4,9	2,0	1,8	125	68	30	23,2	14,2	12,4
400	37	30	30	5,8	2,5	2,4	302	77	42	22,8	15,8	13,0
Significância	*	*	**	**	**	**	*	**	ns	ns	ns	ns
Zn, mg dm ⁻³												
0	32	28	29	4,4	2,2	1,9	137	74	44	15,3	12,2	11,0
2,5	34	28	27	4,4	2,0	1,7	139	66	42	21,3	13,8	12,7
5,0	32	28	28	4,1	2,0	1,8	130	68	34	23,4	16,0	13,4
10,0	33	29	28	4,0	2,0	1,9	132	71	33	30,5	18,8	15,2
Significância	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**

ns., * e ** representam quando não houve diferença estatística, efeito significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F da regressão.

Tabela 4. Equações das variáveis que apresentaram diferença significativa na tabela 3 em função da aplicação de doses crescentes de P ou Zn no solo

Tratamento	Variável	Solo	Equação	R ²
P	N	NQ	$Y = (1-0,006x)/(0,036+0,0001x)$	0,85*
P	N	LE	$Y = (27,1+2,69x)/(84,3+x)$	0,88*
P	N	LR	$Y = 26,7+0,005x+0,000009x^2$	0,99**
P	P	NQ	$Y = (1+0,035x)/(0,55+0,052x)$	0,98**
P	P	LE	$Y = 1,67+0,14^{0,0045x}$	0,99**
P	P	LR	$Y = 0,54+0,86^{0,0019x}$	0,99**
P	Mn	NQ	$Y = -3,55+48,15^{0,0046x}$	0,62*
P	Mn	LE	$Y = 66-0,028x+0,00014x^2$	0,80**
Zn	Zn	NQ	$Y = 15,9+1,53x$	0,97**
Zn	Zn	LE	$Y = 12,2+0,67x$	0,99**
Zn	Zn	LR	$Y = 11,2+0,41x$	0,97**

Os símbolos * e ** representam quando houve efeito significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F da regressão.

A elevação nas doses de fósforo aumentou as concentrações de manganês nas folhas de alho cultivado nos solos NQ e LE (Tabelas 3 e 4), revelando, provavelmente, que exista acentuado paralelismo entre esses índices analíticos (P x Mn), principalmente em solos com menor teor de argila. Vale destacar que a maior absorção de Mn pelo alho pode ter ocorrido em razão da redução dos valores de pH com o aumento da dose de fósforo (Tabela 2) ocorrida no solo NQ. Esses resultados corroboram os de BÜLL et al. (1998).

As variações observadas para a concentração foliar de Zn (Tabelas 3 e 4) estão coerentes com as

doses aplicadas desse micronutriente nos três solos e acompanham, de forma bastante estreita, aquelas variações ocorridas nos teores de zinco no solo (Tabela 2). Vale destacar que o aumento do teor de argila no solo promoveu maior adsorção do micronutriente no solo e, conseqüentemente, menor absorção pela planta, como no caso do solo NQ, em que ocorreu maior concentração foliar de zinco. Nota-se ainda que o valor da média obtida sem aplicação de Zn no NQ é o mesmo daquele referente à dose mais elevada aplicada no LR, refletindo claramente a influência da textura argilosa do solo na redução da disponibilidade de Zn às plantas.

Não foram observados efeitos antagônicos do P na absorção do Zn (Tabelas 3 e 4), resposta comum em solos que receberam altas doses de fertilizantes fosfatados (STUKENHOLTZ et al., 1966; BOAWN e BROWN, 1968; EDWARDS e KAMPATH, 1974). A não interação do P na absorção de Zn deve estar relacionada às altas temperaturas médias (25 °C) ocorridas durante o período de cultivo no inverno, o que favorece a absorção de zinco (EDWARDS e KAMPATH, 1974).

Houve aumento do comprimento da maior folha das plantas de alho com o aumento das doses de P nas avaliações aos 30, 60 e 90 dag, nos solos LE e LR (Tabelas 5 e 6), confirmando os resultados constatados por BÜLL et al. (1998; 2002). Para o NQ

houve redução significativa no comprimento das folhas na maior dose de P em relação aos demais, em todas as épocas de avaliação. Essa redução pode ser atribuída aos altos teores de Mn, que proporcionaram efeito tóxico ao desenvolvimento da cultura, para este solo (Tabelas 3 e 4).

Os tratamentos com Zn não influenciaram o desenvolvimento da cultura, de modo geral, exceção feita ao LE, no qual foi observado aumento de comprimento da maior folha do alho, com efeito quadrático, nas avaliações aos 30 e 60 dag (Tabelas 5 e 6). Não se observou qualquer efeito da relação P e Zn no solo com relação ao desenvolvimento da cultura.

Tabela 5. Comprimento (cm) da maior folha de plantas de alho, submetidas a diferentes níveis de fósforo e zinco em três solos avaliados em seis épocas

Tratamentos	30 dias			60 dias			90 dias		
	NQ	LE	LR	NQ	LE	LR	NQ	LE	LR
P, mg dm ⁻³	cm								
0	39,8	41,0	47,3	62,0	57,8	63,1	66,7	56,3	63,4
100	41,2	42,2	47,7	64,3	59,4	64,0	70,5	58,9	65,0
200	40,9	42,4	48,1	65,3	59,5	67,1	68,0	64,4	72,2
400	36,6	43,2	49,4	60,9	63,1	71,5	63,4	69,3	80,2
Significância	**	*	**	**	*	**	*	**	**
Zn, mg dm ⁻³									
0	39,1	39,8	48,5	61,8	57,6	66,7	64,8	60,2	70,8
2,5	39,9	42,2	48,7	65,7	60,2	66,2	70,8	61,9	69,2
5,0	39,9	43,3	47,5	62,1	61,2	66,0	67,6	63,8	70,7
10,0	39,6	43,5	48,0	62,9	60,8	66,9	65,3	62,9	70,0
Significância	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Os símbolos n.s., * e ** representam quando não houve diferença estatística, efeito significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F da regressão.

Tabela 6. Equações das variáveis que apresentaram diferença significativa na Tabela 5 em função da aplicação de doses crescentes de P ou Zn no solo

Tratamento	Variável	Solo	Equação	R ²
P	30 dias	NQ	$Y = 39,8 + 0,019x + 0,00007x^2$	0,99**
P	30 dias	LE	$Y = 41,3 + 0,005x$	0,89*
P	30 dias	LR	$Y = 45,9 + 1,38^{0,0023x}$	0,99**
P	60 dias	NQ	$Y = 61,9 + 0,035x - 0,00009x^2$	0,99**
P	60 dias	LE	$Y = 57,7 + 0,013x$	0,94**
P	60 dias	LR	$Y = 62,6 + 0,022x$	0,98**
P	90 dias	NQ	$Y = 67,2 + 0,028x - 0,00009x^2$	0,96**
P	90 dias	LE	$Y = 62,4 + 0,044x$	0,97**
P	90 dias	LR	$Y = 56,3 + 0,34x$	0,96**
Zn	30 dias	LE	$Y = 40 + 1,05x - 0,069x^2$	0,99**
Zn	60 dias	LE	$Y = 58 + 1,15x - 0,084x^2$	0,99**

Os símbolos * e ** representam quando houve efeito significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F da regressão.

De acordo com NAKAGAWA (1993), o encurtamento dos internódios, está associado à deficiência de Zn em culturas de alho em condições de campo. No presente experimento, no entanto, existem tendências de redução nos valores do comprimento de internódio em razão do aumento das doses de Zn (Tabelas 7 e 8), para o solo NQ, o que pode estar relacionado a um efeito fitotóxico em função de altas concentrações de Zn no tecido foliar (Tabelas 3 e 4).

Para o solo com maior teor de argila (LR), verificou-se aumento da distância de internódios

(Tabelas 7 e 8), corroborando os relatos de NAKAGAWA (1993), o que está condizente com as menores concentrações de Zn no tecido foliar (Tabela 3). Para as doses de P, houve diferenças apenas para as plantas cultivadas no LR, verificando-se comportamento crescente para esta variável.

Não houve interação entre os fatores P e Zn para a produção de bulbos de alho. Entretanto, os fatores P e Zn, isolados, favoreceram a produção de bulbos (Tabelas 7 e 8), modelos quadráticos e lineares, para todos os solos analisados.

Tabela 7. Distância média de internódios e produção de bulbos de plantas de alho submetidas a diferentes níveis de fósforo e zinco em três solos

Tratamentos	Internódios			Produção de Bulbos		
	NQ	LE	LR	NQ	LE	LR
P, mg dm ⁻³	cm			g / 4 plantas		
0	2,2	2,0	1,6	59,8	37,0	43,1
100	2,5	2,0	1,9	85,2	49,0	66,7
200	2,2	1,8	1,9	77,5	61,1	69,9
400	2,3	2,0	2,1	67,1	73,9	95,3
Significância	n.s.	n.s.	*	*	**	**
Zn, mg dm ⁻³						
0	2,4	2,1	1,8	66,4	48,8	66,6
2,5	2,3	2,1	1,8	81,1	54,3	66,3
5,0	2,2	1,8	1,8	72,0	61,1	69,1
10,0	2,2	1,8	2,0	69,8	56,8	72,9
Significância	*	n.s.	*	*	*	*

Os símbolos n.s., * e ** representam quando não houve diferença estatística, efeito significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F da regressão.

Tabela 8. Equações das variáveis que apresentaram diferença significativa na Tabela 7 em função da aplicação de doses crescentes de P ou Zn no solo

Tratamento	Variável	Solo	Equação	R ²
P	Internódios	LR	$Y = 1,66 + 0,0012x$	0,86*
P	Produção	NQ	$Y = 62,6 + 0,19x - 0,0005x^2$	0,75*
P	Produção	LE	$Y = 38,1 + 0,097x$	0,97**
P	Produção	LR	$Y = 45,3 + 0,13x$	0,94**
Zn	Internódios	NQ	$Y = 2,4 - 0,057x + 0,0036x^2$	0,98*
Zn	Internódios	LR	$Y = 1,8 - 0,017x + 0,0036x^2$	0,98*
Zn	Produção	NQ	$Y = 66,3 + 0,20x - 0,046x^2$	0,76*
Zn	Produção	LE	$Y = 48,2 + 3,8x - 0,29x^2$	0,94*
Zn	Produção	LR	$Y = 68,7 + 3,17x - 0,31x^2$	0,96*

Os símbolos * e ** representam quando houve efeito significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F da regressão.

A produção de bulbos foi positivamente influenciada pela adubação fosfatada (Tabelas 7 e 8), confirmando as observações de BIASI et al. (1982) e BÜLL et al. (1998), mostrando aumentos proporcionais em razão dos teores de P extraído por resina no solo (Tabela 2), e das concentrações de P nas folhas das plantas de alho (Tabela 3), sobretudo no LE e no LR, nos quais as maiores produções foram obtidas com a dose mais elevada de P.

No solo arenoso (NQ) observou-se maior produção com a primeira dose de P aplicada, ou seja, 100 mg dm⁻³ (Tabelas 7 e 8), sendo superior às demais tanto nos tratamentos com P como nos de Zn. Já a maior dose de P prejudicou a produção de bulbos no solo NQ, em razão também do elevado teor de Mn na planta, sugerindo possível efeito fitotóxico à cultura nesta dose, para este solo. Para o solo LE, as melhores doses de P e Zn foram respectivamente, de 400 mg dm⁻³ e 5,0 mg dm⁻³, estimadas pelas equações. Para o solo LR, as maiores produções foram alcançadas com as maiores doses, tanto de P como de Zn. A dose necessária para atingir a maior produção foi diferente em cada solo, em razão do poder tampão de cada solo ser diferente.

As doses de Zn também influenciaram a produção de bulbos (Tabelas 7 e 8), nos três solos estudados, contrariando os relatos de NOVAIS e MENEZES SOBRINHO (1972), SOUZA et al. (1982) e NAKAGAWA et al. (1986), que não verificaram respostas desta espécie à Zn. Deve ser observado que os efeitos da aplicação de Zn diferiram entre os solos, aumentando-se a dose necessária para atingir produção máxima dos bulbos com o teor de argila. A resposta do alho à aplicação de zinco deve-se, também, aos baixos níveis de Zn nos três solos estudados. Estes resultados, a exemplo do ocorrido com as respostas ao P, vêm confirmar a importância de se considerar a textura dos solos na recomendação de Zn para esta cultura, sobretudo pela forma como normalmente é feita a adubação nesta hortaliça, ou seja, em área total e incorporada ao solo, facilitando dessa forma, os processos de adsorção desse micronutriente, sobretudo em solos argilosos com predominância de sesquióxidos na composição mineral coloidal.

4. CONCLUSÕES

1. A produtividade e o desenvolvimento de plantas de alho foram influenciados, isoladamente, pelas doses de P e Zn, não havendo a interação entre esses nutrientes.

2. A aplicação de P no solo elevou os teores de N e P na planta de alho e de Mn apenas nos solos NQ e LE. Com incremento das doses de Zn ocorreu maior concentração deste nutriente na planta, nos três solos.

3. O crescimento da cultura foi influenciado pelo fósforo durante todo o período de avaliação, nos três solos, enquanto os efeitos da aplicação de zinco foram observados apenas no solo de textura média e até 60 dias após a emergência das plantas.

4. Para os solos NQ, LE e LR, as melhores doses de P para a produção do alho foram de 190, 400 e 400 mg dm⁻³ e para o Zn de 2,2; 6,5 e 5,1 mg dm⁻³ respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V.H.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. **Determinação do fósforo remanescente (Prm)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (s.d.). 11p. (mimeo)
- ALVAREZ, V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 615-646 p.
- BARROW, N.J. Testing a mechanistic model. VI Molecular modeling of the effects of pH on phosphate and on zinc retention by soils. **Journal of Soil Science**, Madison, v.37, p.311-318, 1987.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALO, J.R. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo. 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 48)
- BIASI, J.; MACHADO, M.O.; VIZZOTTO, V.J. Adubação do alho: doses de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 22., Vitória, 1982. **Anais...** Vitória: Sociedade de Olericultura do Brasil, 1982. 300 p.
- BOAWN, L.C.; BROWN, J.C. Further evidences for a P x Zn imbalance in plants. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.32, p.94-97, 1968.
- BÜLL, L.T.; FORLI, F.; TECCHIO, M.A.; CORRÊA, J.C. Relações entre fósforo extraído por resina e respostas da cultura do alho vernalizado a adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.458-470, 1998.
- BÜLL, L.T.; NAKAGAWA, J.; VILLAS BÔAS, R.L. Produção de bulbos e incidência de pseudo-perfilhamento na cultura do alho vernalizado em função de adubações potássica e nitrogenada. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Resumos expandidos...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD-ROM)
- BÜLL, L.T.; COSTA, M.C.G.; NOVELLO, A.; FERNANDES, D.M.; VILLAS BOAS, R.L. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, p.516-521, 2004.

- BÜLL, L.T.; BERTANI, R.M.A.; VILASBOAS, R.L.; FERNANDES, D.M. Produção de bulbos e incidência de pseudoperfilhamento na cultura do alho vernalizado em função da adubação potássica e nitrogenada. **Bragantia**, Campinas, v.61, p.247-255, 2002.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106)
- CRUZ, L.A.A. Desenvolvimento inicial do mamoeiro relacionado à disponibilidade de fósforo no solo, 1994. 96f. Dissertação (Mestrado em Fruticultura) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- EDWARDS, J.H.; KAMPRATH, E.J. Zinc accumulation by corn seedlings as influenced by phosphorus, temperature and light intensity. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.479-482, 1974.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FILGUEIRA, F. **Manual técnico da cultura do alho**. Disponível em: <<http://doc.agronegocio.goias.gov.br/document/?code=256>>. Acesso em 2 de agosto de 2006.
- NAKAGAWA, J. Nutrição e adubação da cultura do alho. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. (Ed.) **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.341-380.
- NAKAGAWA, J.; ROSA, J.C.; KIMOTO, T.; KUROSZAWA, C. Efeitos de micronutrientes na cultura do alho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.4, p.62-68, 1986.
- NOVAIS, R.F.; MENEZES SOBRINHO, J. A. Efeito da aplicação de boro, molibdênio e zinco no solo sobre a produção e conservação do alho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.19, p.1-6, 1972.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 107 p. (Boletim Técnico, 100)
- SOUZA, A.F.; MENEZES SOBRINHO, J.A.; LIMA, J.A.; CASTOR, O.S.; FERREIRA, P. Efeito de cobre e zinco no rendimento de alho (*Allium sativum* L.) em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 22., Vitória, 1982. **Anais...** Vitória, Sociedade de Olericultura do Brasil/Secretaria do Estado da Agricultura do Espírito Santo, 1982. p.302.
- SOUZA, E.C.A.; FERREIRA, M.E. Zinco. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p.219-242.
- STUKENHOLTZ, D.P.; OLSEN, R.J.; GOGAN, G.; OLSON, R.A. On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, v.30, p.759-763, 1966.
- SUMNER, M.E.; FARINA, M.W. Phosphorus interaction with other nutrients and lime in field cropping systems. **Advances in Soil Science**, Chistchurch – New Zealand, v.5, p.201-236, 1986.
- TRANI, P.E.; TAVARES, P.E.T.; SIQUEIRA, W.J. Hortaliças – alho. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 107 p. (Boletim Técnico, 100).
- WEBB, M.J.; LONERAGAN, J.F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.1676-1680, 1988.